

Татяна Авджиева

# **МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ НА МАТЕРИАЛИТЕ**

КУРС ЛЕКЦИИ

СОФИЯ - 2009

## **СЪДЪРЖАНИЕ**

### **ЧАСТ I: МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ**

#### **ТЕМА 1**

##### **МАТЕРИАЛ - КАКВО Е ТОВА?**

- 1.1. Въведение
- 1.2. Състояние на веществото

#### **ТЕМА 2**

##### **АТОМНО-КРИСТАЛНА СТРУКТУРА**

- 2.1. Общи сведения
- 2.2. Кристална решетка на метала
  - 2.2.1. Примитивна кубична решетка
  - 2.2.2. Типични кристални решетки
- 2.3. Кристалографски равнини и направления
- 2.4. Дефекти в реалните кристали
  - 2.4.1. Точкови дефекти
  - 2.4.2. Линейни дефекти
  - 2.4.3. Повърхностни дефекти
- 2.5. Анизотропия
- 2.6. Методи за изследване на кристалната структура
  - 2.6.1. Рентгеноструктурен анализ
  - 2.6.2. Металографски анализ
- 2.7. Кристализация на металите
  - 2.7.1. Общи сведения
  - 2.7.2. Механизъм на кристализационния процес
  - 2.7.3. Форма на кристалите
  - 2.7.4. Структура на отливка
  - 2.7.5. Алотропия
- 2.8. Контролни въпроси

#### **ТЕМА 3**

##### **МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА И МЕХАНИЧНИ ИЗПИТВАНИЯ НА МАТЕРИАЛИТЕ**

- 3.1. Общи сведения
- 3.2. Напрежение и деформация
- 3.3. Еластична деформация
- 3.4. Пластична деформация
- 3.5. Разрушаване

- 3.6. Методи за определяне на основните механични характеристики
  - 3.6.1. Изпитване на статичен опън
  - 3.6.2. Определяне твърдостта на материалите
  - 3.6.3. Определяне ударната жилавост на материала
  - 3.6.4. Циклични изпитвания
  - 3.6.5. Изпитване на дълговременна якост
  - 3.6.6. Изпитване на пукнатиноустойчивост
- 3.7. Контролни въпроси

## **ТЕМА 4**

### **МАТЕРИАЛИ В РАВНОВЕСИЕ**

- 4.1. Въведение
  - 4.1.1. Правило на Гибс
- 4.2. Фази в многокомпонентни системи
  - 4.2.1. Течен разтвор
  - 4.2.2. Твърди разтвори
  - 4.2.3. Химични съединения
  - 4.2.4. Фази на вместиане
  - 4.2.5. Механична смес
- 4.3. Диаграми на състоянието на сплавите
  - 4.3.1. Общи понятия за построяване диаграми на състоянието на сплавите
  - 4.3.2. Диаграма на състоянието на сплавите с пълна разтворимост на компонентите в твърдо състояние
  - 4.3.3. Диаграма на състоянието на сплавите с евтектикум
  - 4.3.4. Диаграма на състоянието на сплавите с перитектикум
  - 4.3.5. Диаграма на състоянието на сплавите с евтектоид
  - 4.3.6. Диаграма на състоянието на сплавите с перитектоид
  - 4.3.7. Диаграма на състоянието на сплавите с химично съединение
  - 4.3.8. Двухкомпонентни системи - обобщение
  - 4.3.9. Аномалии при образуването на сплавите
- 4.4. Контролни въпроси

## **ТЕМА 5**

### **СИСТЕМА ЖЕЛЯЗО--ВЪГЛЕРОД**

- 5.1. Въведение
- 5.2. Желязо-въглеродна /цементитна/ диаграма
- 5.3. Аустенит-перлитно превръщане
- 5.4. Аустенит-феритно или аустенит-цементитно превръщане
- 5.5. Аустенит-мартензитно превръщане

- 5.6. Диаграми на изотермично разпадане на аустенита
- 5.6.1. С-криви за евтектоидна стомана
- 5.7. Желязо-въглеродни сплави
- 5.8. Контролни въпроси

## **ТЕМА 6**

### **ВИДОВЕ ВЪГЛЕРОДНИ СТОМАНИ И ЧУГУНИ**

- 6.1. Влияние на въглерода и примесните елементи върху свойствата на желязо-въглеродните сплави
- 6.2. Видове въглеродни стомани
  - 6.2.1. Видове стомани по предназначение
- 6.3. Видове чугуни
- 6.4. Контролни въпроси

## **ТЕМА 7**

### **ТЕРМИЧНО ОБРАБОТВАНЕ НА СТОМАНА**

- 7.1. Основни принципи на термичното обработване
  - 7.1.1. Нагряване за термично обработване
  - 7.1.2. Температура на задържане
  - 7.1.3. Скорост на охлаждане
- 7.2. Видове термично обработване
  - 7.2.1. Закаляване
  - 7.2.2. Отвъръщане
  - 7.2.3. Отгряване
  - 7.2.4. Химико-термично обработване
- 7.3. Термично обработване на чугун и цветни метали
- 7.4. Контролни въпроси

## **ТЕМА 8**

### **ЛЕГИРАНИ СТОМАНИ**

- 8.1. Влияние на легиращите елементи върху свойствата на стоманите
- 8.2. Класификация на легираните стомани
  - 8.2.1. Конструкционни легирани стомани
  - 8.2.2. Инструментални легирани стомани
  - 8.2.3. Легирани стомани със специални свойства
- 8.3. Контролни въпроси

## **ТЕМА 9**

### **НЕЖЕЛЕЗНИ МЕТАЛИ И СПЛАВИ**

- 9.1. Общи понятия
- 9.2. Мед и медни сплави
- 9.3. Алюминий и алуминиеви сплави
- 9.4. Титан и сплавите му
- 9.5. Магнезий и магнезиеви сплави
- 9.6. Метали с висока температура на топене
- 9.7. Метали с ниска температура на топене
- 9.8. Контролни въпроси

## **ТЕМА 10**

### **МАТЕРИАЛИ СЪС СПЕЦИАЛНИ СВОЙСТВА**

- 10.1 Проводникови материали
  - 10.1.1. Материали с висока проводимост
  - 10.1.2. Проводникови сплави с високо съпротивление
  - 10.1.3. Материали за контакти
  - 10.1.4. Припои
- 10.2. Магнитни материали
  - 10.2.1. Магнитномеки материали
  - 10.2.2. Магнитнотвърди материали
- 10.3. Материали с особени топлинни и еластични свойства
  - 10.3.1. Сплави със зададен температурен коефициент на линейно разширение
  - 10.3.2. Сплави с особени еластични свойства
  - 10.3.3. Сплави с памет на формата
- 10.4. Материали за ядрената енергетика
  - 10.4.1. Ядрено гориво
  - 10.4.2. Керамично ядрено гориво
  - 10.4.3. Материали за обвивката на топлоотделящите елементи
  - 10.4.4. Материали за регулиращата система
- 10.5. Контролни въпроси

## **ТЕМА 11**

### **НЕМЕТАЛНИ МАТЕРИАЛИ**

- 11.1. Оптични материали
  - 11.1.1. Стъкло
- 11.2. Ситали
- 11.3. Керамични материали
- 11.4. Полимерни материали
  - 11.4.1. Състав на пластмасата

- 11.4.2. Основни свойства на пластмасите
- 11.4.3. Видове пластмаси
- 11.5. Композиционни материали с метална матрица
- 11.6. Прахово-металургични материали
- 11.7. Контролни въпроси

## ЧАСТ II

### МЕХАНИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ

#### **ТЕМА 12**

##### ЛЕЕНЕ НА МЕТАЛИТЕ

- 12.1. Общи сведения
- 12.2. Класификация на методите на леене
  - 12.2.1. Леене в пясъчна форма
  - 12.2.2. Леене в метални форми /кокилно леене/
  - 12.2.3. Леене под налягане
  - 12.2.4. Леене с противоналягане
  - 12.2.5. Центробежно леене
  - 12.2.6. Прецизно леене
  - 12.2.7. Леене в черупкови форми
- 12.3. Контролни въпроси

#### **ТЕМА 13**

##### ОБРАБОТВАНЕ НА МЕТАЛИТЕ ЧРЕЗ ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ

- 13.1. Общи сведения
- 13.2. Нагряване на метала. Нагревателни устройства
- 13.3. Класификация на методите на пластична деформация
  - 13.3.1. Коване и обемно щамповане
  - 13.3.2. Листово щамповане (щанцоване)
  - 13.3.3. Валцоване
  - 13.3.4. Изтегляне
  - 13.3.5. Пресоване
- 13.4. Контролни въпроси

#### **ТЕМА 14**

##### ЗАВАРЯВАНЕ

- 14.1. Общи сведения
- 14.2. Заваряване на метала чрез стопяване:

- 14.2.1. Електродъгово
- 14.2.2. Електродъгово заваряване в защитна газова среда
- 14.2.3.Електрошлаково
- 14.2.4. Газопламъчно /газо-кислородно/ заваряване
- 14.2.5. Електроннолъчево заваряване
- 14.2.6. Лазерно заваряване
- 14.2.7. Заваряване с плазма
- 14.3. Заваряване без стопяване
- 14.3.1. Заваряване чрез триене
- 14.3.2. Електросъпротивително заваряване
- 14.3.3. Кондензаторно заваряване
- 14.3.4. Газопресово заваряване
- 14.3.5. Дифузионно заваряване
- 14.3.6. Студенопресово заваряване
- 14.4. Газокислородно и електродъгово рязане
- 14.5. Заваряемост на стомана
- 14.6. Спояване
- 14.6.1. Спояване с меки припои
- 14.6.2. Спояване с твърди припои
- 14.7. Контролни въпроси

## **ТЕМА 15**

### **ОБРАБОТВАНЕ НА МЕТАЛИТЕ ЧРЕЗ РЯЗАНЕ**

- 15.1. Общи сведения
- 15.2. Геометрия на режещия инструмент
- 15.3. Режим на рязане
- 15.4. Сили на рязане
- 15.5. Видове металорежещи машини:
  - 15.5.1.Стругове
  - 15.5.2. Фрезови машини
  - 15.5.3. Пробивни машини
  - 15.5.4. Стъргателни машини
  - 15.5.5. Дълбачни и протяжни машини
  - 15.5.6. Шлифовъчни машини
- 15.6. Контролни въпроси

## **ТЕМА 16**

### **ЕЛЕКТРОХИМИЧНИ И ЕЛЕКТРОФИЗИЧНИ МЕТОДИ НА ОБРАБОТВАНЕ**

- 16.1. Общи сведения

## 16.2. Видове обработване

16.2.1. Електрохимично обработване

16.2.2. Електроерозионно обработване

16.2.3. Анодно-механично обработване

16.2.4. Ултразвукови методи за обработване

16.2.5. Електронно-лъчево обработване

## 16.3. Контролни въпроси

### **ТЕМА 17**

#### **ТЕХНОЛОГИЧНИ МЕТОДИ ЗА ПРЕРАБОТВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ**

17.1. Общи сведения

17.2. Преработване на полимерни материали, намиращи се във вискозно-пластично състояние

17.2.1. Формоване

17.2.2. Леене под налягане и екструдиране

17.3. Преработване на полимерни материали, намиращи се във вискоеластично състояние

17.3.1. Пневматично формоване

17.3.2. Заваряване

17.4. Преработване на полимерни материали, намиращи се в твърдо състояние

17.4.1. Рязане

17.4.2. Лепене

17.5. Контролни въпроси



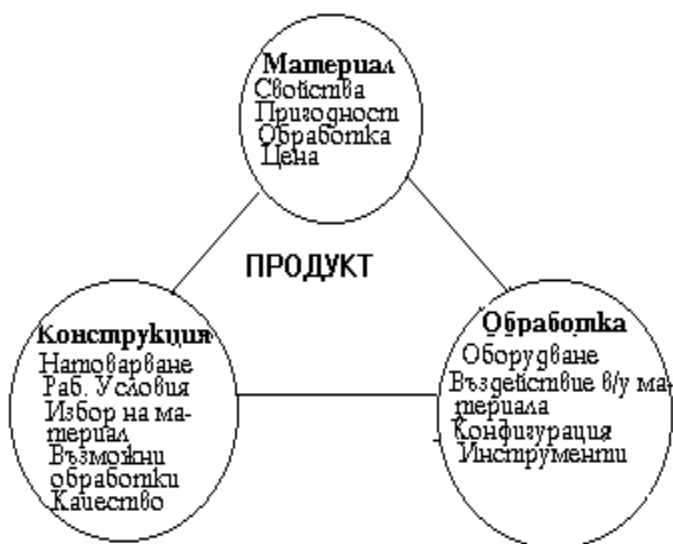
# ЧАСТ I: МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ

## МАТЕРИАЛ - КАКВО Е ТОВА?

### 1.1. ВЪВЕДЕНИЕ

Осъществяването на всеки технически проект е свързано с проблема за избор на достъпен материал, при това с подходящи свойства. В редица случаи именно характеристиките на материала имат ограничаващо значение за многообещаващи физични идеи, така че решаването на въпросите около създаването и изследването на техническите материали има ключово значение за човешкия прогрес.

Материал, човек и оборудване са взаимносвързани фактори в производството, които трябва грижливо да се комбинират, за да се произведе продукт с високо качество и икономическа изгодност. Тази важна концепция е илюстрирана на долната схема.



В последните векове няколко вида метали (такива като желязо, мед, олово, цинк), няколко вида керамики (например порцелан и глина) и някои естествени продукти (вълна, памук, целулоза, коприна) посрещат нуждите на човечеството. Развитието на техниката и транспорта през XIX и XX век довежда до откриването и създаването на нови материали. Стоманата и чугунът стават основни технически материали, алуминият и другите цветни метали намират широко приложение в промишлеността, целулоидът и бакелитът заместват много природни материали.

Разнообразието на съвременните материали е огромно. Понастоящем са известни над 2,5 милиона органични съединения и повече от 50 хиляди

неорганични вещества. От известните досега 107 елемента в Периодичната система **76** са метали. Поради това централно място при изучаването на строежа и свойствата на техническите материали ще заема металознанието.

Още преди 200 г. руският учен М. В. Ломоносов, основавайки се на общия външен вид на **металите**, им дава определение, актуално и до днес: *"Металите са светли тела, които могат да се коват."*

В химията под метали се разбира определена група елементи, заемащи лявата част на Периодичната система на Менделеев. С развитието на науката и техниката се установиха много общи свойства на металите, така че би могло да им се даде следното по-съвременно определение: *"Металите са химични елементи, които имат външен блясък, пластичност и са добри проводници на топлина и електричен ток."*

Следователно основните, характерни особености на металите, които ги различават от неметалите, са: метален блясък и добра отражателна способност; голяма пластичност и заваряемост на по-голяма част от тях; висока топло- и електропроводимост; положителен температурен коефициент на електросъпротивление (при повишаване на температурата електросъпротивлението им нараства); способност за термоелектронна емисия, т. е. способност да изпускат електрони при нагряване.

Отделните метали притежават изброените свойства в различна степен. Някои метали намират приложение в почти чист вид. Например проводниците от мед и алуминий съдържат незначителни количества примеси; от чиста платина се изработват термоелементи за измерване на високи температури, свръхчистият германий намира приложение като полупроводник и т. н. По-широко приложение в техниката обаче намират вещества, които са съчетание на няколко метала или на метали с неметали. Такива вещества носят името метални сплави и също притежават характерните за чистите метали свойства, а в някои случаи и специфични свойства, присъщи на неметалните материали.

Всеки метал се отличава по строежа и свойствата си от другите, но въпреки това металите могат да се обединят по някои общи признаци. Познаваме две основни групи метали: черни и цветни.

**Черните метали** се характеризират с тъмносив цвят, висока относителна плътност, висока температура на топене и сравнително висока твърдост. Типични представители на тази група са железните метали: желязо, кобалт, манган.

**Цветните метали**, наричани още нежелезни, имат характерно оцветяване. Отличават се с по-висока пластичност и относително ниски

температури на топене. Най-известни цветни метали са леките - берилий, магнезий, алуминий; благородните - злато, сребро, платина и близката до тях по свойства мед.

**Керамиките** са неорганични, неметални твърди вещества. Под керамика много често разбираме различни съединения на оксиди, нитриди, карбиди и др., които представляват индустриален интерес. Например ураниевият диоксид ( $UO_2$ ), берилиевият оксид ( $BeO$ ), диалумниевият триоксид ( $Al_2O_3$ ) са от огромно значение в атомните реактори.

**Полимери** (често наричани пластмаси или гуми) са материали изградени от огромен брой мономерни, свързващи се в макромолекули. Естествените полимери като целулоза, вълна, различни протеини вземат основно място в нашето всекидневие. В последните 50 години различни синтетични и органични полимери като пластмаси, гуми, влакна и др. придобиха огромно значение.

**Композитите** са познати като комбинации от два или повече материала. Като пример може да се посочи използването на фибростъкло в полимерна матрица. Така наречените "сандвич" материали, получавани в резултат на високо налягане и висока температура, придобиват изключителни свойства като: отлична пластичност, износоустойчивост, ударна якост и други механични свойства.

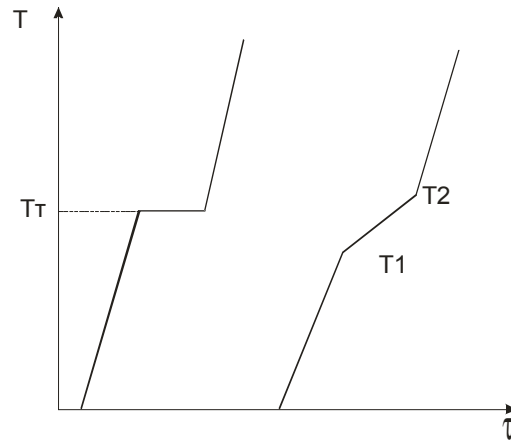
## 1.2. СЪСТОЯНИЕ НА ВЕЩЕСТВОТО

Всяко вещество в зависимост от външните условия (температура и налягане) може да се намира в три агрегатни състояния - твърдо, течно или газообразно. Науката обособява и четвърто агрегатно състояние - плазма, т. е. високотемпературно йонизирано газово състояние, което обаче в този учебник няма подробно да се обсъжда. Преминаването от едно състояние в друго протича при определена температура и налягане, като е съпроводено с промяна на свойствата. При нормални условия - налягане 1 atm и температура 20 °C, твърдите тела имат аморфен или кристален строеж.

В аморфните тела атомите са разположени хаотично, откъдето и идва името им. Те имат две съществени свойства: а/при нагряване тези тела се размекват и постепенно преминават в течно състояние, което означава, че нямат определена температура на топене, както се вижда от време-температурната им крива; б/ свойствата им са еднакви във всички посоки, т. е. те са изотропни.

Кристалните тела, към които се отнасят всички метали без живака, имат правилна геометрична форма, като атомите им образуват

пространствена кристална решетка. Преминаването от течно в твърдо състояние и обратно става при точно определена температура, наречена температура на топене. При някои сплави това преминаване става в температурен интервал ( $T_1-T_2$ ).



Фиг. 1.1. Време температурни криви на метал и на сплав

## ТЕМА 2. СТРУКТУРА НА МАТЕРИАЛИТЕ

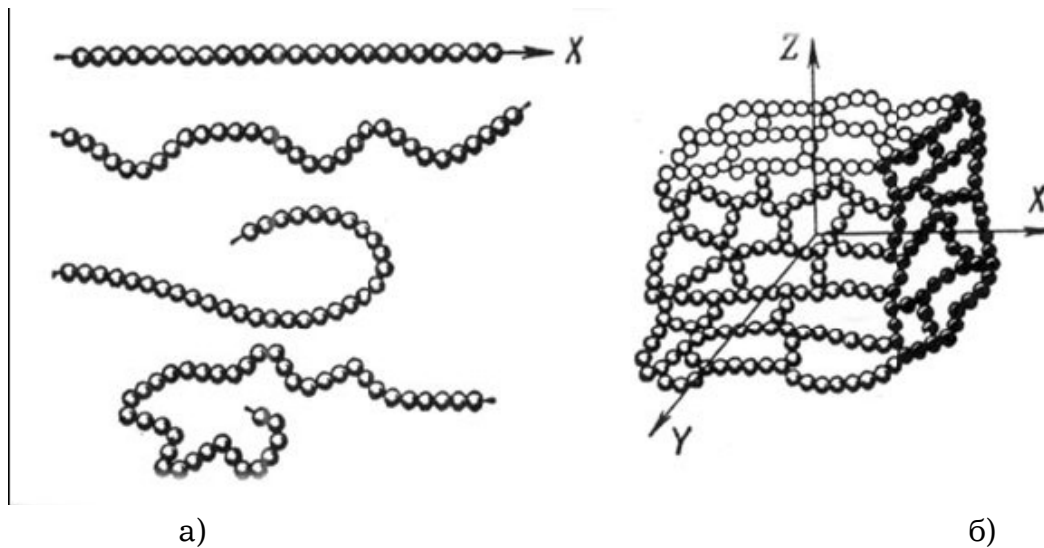
### ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Преминаването от едно състояние в друго протича при определена температура и е съпроводено с промяна на свойствата. "Истински" твърдо състояние на веществата е това състояние, при което атомите и/или молекулите са подредени в пространството в повтарящо се триизмерно състояние.

#### *Молекули. Макромолекули*

Молекулата е най-малката частица на дадено вещество. Тя се състои от еднакви или различни атоми, обединени в едно цяло посредством химични връзки. Броят на атомите в молекулата е различен – от 2 до хиляди. В голямото разнообразие от вещества молекулите могат да запазват или да не запазват своите индивидуални особености. Например газовете при не особено високи температури, много течности, молекулните кристали се състоят от молекули. Напротив, в газовете при достатъчно високи температури, в йонните и в металните кристали, както и в техни стопилки, няма обособени молекули. Всяка молекула съдържа определен брой ядра с общ заряд  $+Q$  и електрони, разпределени и движещи се по сложен начин, с общ заряд  $-Q$ . Молекула, в която центровете на положителния и отрицателния заряд съвпадат, се нарича неполярна. Молекула, в която центровете на положителния и отрицателния заряд са разделени, се нарича полярна или дипол. (Понятието "дипол" е по-общо – диполът е система от 2 еднакви по големина и противоположни по знак заряда, намиращи се на малко разстояние един от друг.). Вещества с неполярни молекули се наричат неполярни, а вещества с полярни молекули – полярни. Полярността на молекулите (диполите) се характеризира с векторната величина електричен диполен момент  $\mathbf{p}$ , равен на произведението от големината на единия от зарядите  $Q$  и разстоянието  $\mathbf{r}$  между тях; насочен е от отрицателния към положителния заряд.

Макромолекула означава голяма молекула. Такива са молекулите на високомолекулните органични съединения (полимерите). Прието е макромолекули да се наричат молекулите, съдържащи повече от 1000 атома. Макромолекулите са линейни (фиг. 2.1.а) и пространствени (съдържащи разклонения и напречни връзки между отделните клонове) (фиг. 2.1.б).



Фиг. 2.1. Макромолекули

Както атомите, възможно е и молекулите да са с излишък или недостиг на електрони; в първия случай те са отрицателни йони, а във втория – положителни йони.

### Особености на газообразното и течно състояние на веществата

Газът е вещество в агрегатно състояние, при което отделните частици (молекули, атоми) са слабо взаимосвързани. Разстоянията между тях са много по-големи от размерите им. Затова газообразното състояние се характеризира със значително по-малка плътност от твърдите тела и течностите. Частиците на газа се движат хаотично, удряйки се помежду си и в стените на съда, в който той е затворен, заемайки целия предоставен им обем. Между 2 стълкновения тяхното движение е равномерно и праволинейно със скорост от порядъка на няколко стотин метра в секунда (m/s). Всеки елемент  $\Delta S$  от вътрешната повърхност на съда непрекъснато е подложен на удари от голям брой частици – върху този елемент действа сила ДФ. Отношението  $ДФ/\Delta S$  е равно на налягането  $P$ . Дименсията за  $p$  е Паскал (Pa).

Течностите са тела, характеризиращи се от една страна с определен обем, а от друга – с липса на определена форма. Първото обстоятелство ги сближава с твърдите тела, а второто – с газовете. Те са трудно свиваеми. В тях се наблюдава близко подреждане на частиците, но липсва далечен порядък. Следователно микростроежът им е близък до микростроежа на аморфните твърди тела. Градивните частици на течностите извършват 2 вида движения:

- а) колебание около равновесно положение (както в твърдите тела);

б) преминаване от време на време в ново равновесно положение (както при газовете, с тази разлика, че преместването е много по-малко – от порядъка на размерите на частиците).

Времето на пребиваване в равновесно положение зависи от природата на течността и много бързо намалява с повишаване на температурата.

## **КРИСТАЛНА РЕШЕТКА НА МЕТАЛА**

Кристалният строеж на металите се характеризира с определено, закономерно разположение на атомите в пространството. Минималният брой атоми, при чието многократно повторение се възпроизвежда пространствената решетка, се нарича *елементарна кристална клетка*.

### **Примитивна кубична решетка**

Най-простата решетка е пространствената кубична решетка, която се вижда на фиг. 1.2. Върховете на осем елементарни клетки лежат в центъра на тежестта на един атом. Този атом е общ и за осемте кубчета. Следователно към една елементарна клетка принадлежи само един атом.

Всяка решетка се характеризира чрез параметъра на решетката (a, b, c), ъглите между отделните стени на решетката и броя атоми, принадлежащи на една клетка. Параметрите на решетката и размерите на атомните радиуси се измерват в ангстрьоми ( $1 \text{ \AA} = 1.10^{-8} \text{ cm}$ ). Плътността на кристалните решетки, т.е. обемът, зает от атоми, се характеризира с т.нар. *координационно число* (K). Под координационно число се разбира броят атоми, намиращи се на еднакво най-близко разстояние до даден атом. Характеристиките на тази решетка са:  $K = 6$ ,  $a=b=c$  и  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ .

### **Типични кристални решетки**

Стремежът на металните атоми да заемат места възможно най-близко един до друг довежда до образуването на няколко типа решетки. Типични метални решетки са обемно (пространствено) центрирана (ОЦК), стенно (равнинно) центрирана (СЦК) кубична и хексагонална решетка. На фиг. 1.2 са показани трите основни типа кристални решетки и разположението на атомите в тях.

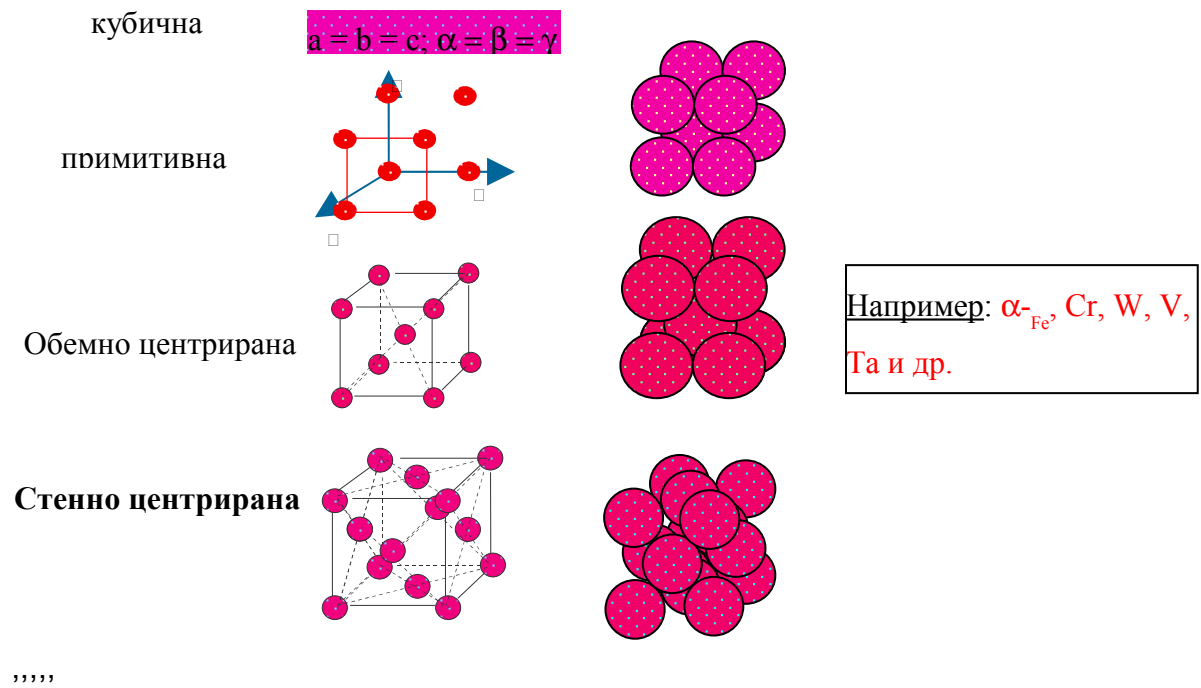
Обемноцентрираната кубична решетка /фиг. 2.2/ е с 9 атома в клетка, като 8 от тях са върхове и 1 лежи в центъра на тежестта на клетката. Следователно към едно елементарно кубче принадлежат:

$$\frac{8}{8} + 1 = 2 \text{ атома.}$$

С такава решетка са металите желязо при температури под 911 °С, хром, волфрам, ванадий, натрий, титан, калий и др.

На фиг. 2.2 е показано разположението на атомите в стенно центрираната кубична решетка. В елементарната си клетка има 14 атома, 8 от които са разположени по върховете на клетката, а 6 - в центровете на тежестта на всяка от стените:

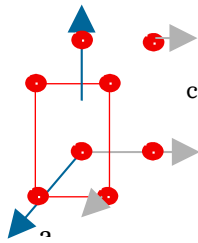
$$\frac{8}{8} + \frac{6}{2} = 4 \text{ атома принадлежат на 1 клетка.}$$



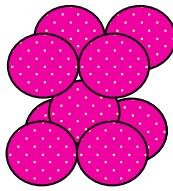
Фиг. 2.2. Видове кристални решетки



тетрагонална



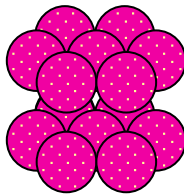
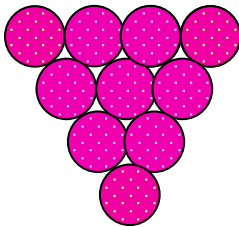
$$A = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Тетрагонална обемно  
центрирана

Например:  $\beta$ -Sn, мартензит при закалени  
стомани

хексагонална

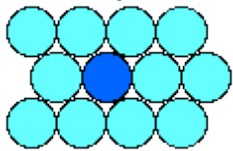


Например: графит, цинк,  
магнезий

Със стенноцентрирана кубична решетка са металите мед, алуминий, злато, желязо (в интервала от 911 до 1399 °C) паладий, платина и др.

Елементарната клетка на хексагоналната плътноопакована решетка е правилна шестоъгълна призма със 17 атома, от които 12 са във върховете на горната и долната основа, 2 в центровете на основите и 3 във вътрешността на призмата. Тук към една клетка принадлежат:

$$\frac{12}{6} + \frac{2}{2} + 3 = 6 \text{ атома.}$$

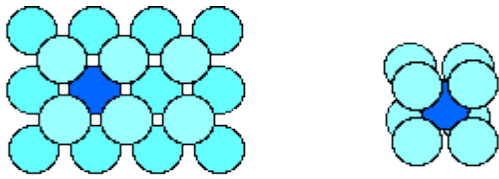


X12 - плътно опакована кристална решетка

Металите цинк, магнезий, рубидий, кобалт и др. са с хексагонална плътноопакована решетка.

Всяка решетка се означава с буква, показваща нейния тип, и с цифра, показваща координационното число:

- проста кубична решетка - K6;
- обемноцентрирана кубична решетка - K8;
- стенно центрирана кубична решетка - K12;
- хексагонална плътно опакована решетка - X12;
- хексагонална неплътно опакована, при която  $c/a = 1,633$  координационното число е X6.



X8 – неплътно опакована кристална структура

## КРИСТАЛОГРАФСКИ РАВНИНИ И НАПРАВЛЕНИЯ

За определяне на равнините, минаващи през атомите на кристалната решетка, се използват индексите на Милер ( $h$ ,  $k$ ,  $l$ ). Тези индекси определят положението на равнината чрез отсечките, които тя отрязва от координатните оси, отчитано от началото на условно приета координационна система.

Кристалнографските направления се определят чрез индексите на перпендикулярните им равнини, поставени в средни скоби, например [122].

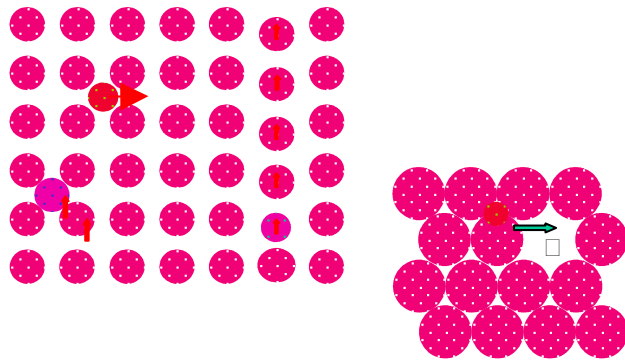
## ДЕФЕКТИ В РЕАЛНИТЕ КРИСТАЛИ

Металите и сплавите имат *поликристална структура*. Тяхната решетка съвсем не представлява идеална конструкция. Те се състоят от голям брой различно ориентирани кристали с малки размери и неправилна форма, наречени кристалити или *зърна*. Реалните кристали не са изградени от идеални елементарни клетки. В тях винаги има дефекти, които могат да се класифицират по геометричен признак като точкови, линейни и пространствени.

### Точкови дефекти

Един вид точков дефект са т. нар. *ваканции* - незаети с атоми възли в решетката (фиг. 2.3). Броят на ваканциите при стайна температура е незначителен - примерно 1 ваканция на  $10^{18}$  атома, но силно нараства с повишаване на температурата - 1 ваканция на  $10^4$  атома. Някои въздействия, например като облъчване с радиоактивни частици, може да доведе до брой на ваканциите 1 - 3 на 100 атома.

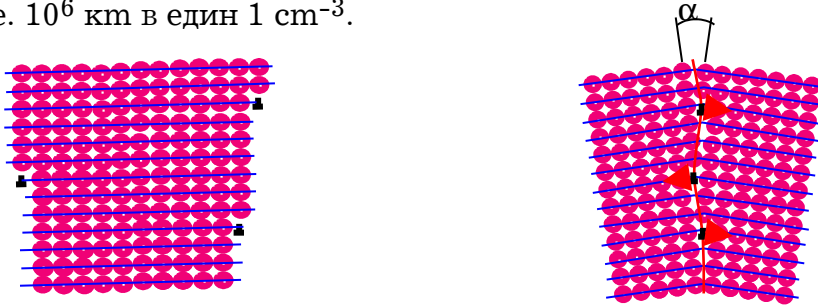
Внедрен чужд атом, дислоциран атом, образуван в резултат на "избиване" от мястото му в решетката и преместване в междувъзлие, са други видове точкови дефекти. Около празнините в атомните възли или около чуждите атоми се получава деформиране на решетката.



Фиг. 2.3. Точкови дефекти в кристалната решетка

### Линейни дефекти

Още при растежа на кристалите се образуват линейни дефекти - *редица от точкови дефекти* или *дислокации* (фиг. 2.4). Дислокациите са места в кристала, където един атомен ред от кристалографската равнина попада между два атомни реда на съседна равнина, което води до деформации и вътрешни напрежения в решетката. Дислокациите биват крайни и винтови. Основна величина е плътността на дислокациите, която е в границите от  $10^8$  до  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$ , т.е.  $10^6 \text{ km}$  в един  $1 \text{ cm}^{-3}$ .

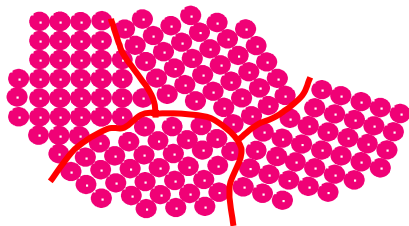


Фиг. 2.4. Линейен дефект в кристалната решетка

### Повърхностни дефекти

Повърхностните дефекти се срещат предимно на границите между кристалните зърна, където се концентрират примеси и атомите са в неравновесно положение, т.е. имат по-голяма потенциална енергия. Те представляват повърхностна граница между отделните зърна или блокчета в зърната. Такъв вид дефект е "мозаичната" структура /фиг. 2.5/. Всяко зърно се състои от отделни бездефектни блокчета или субзърна с размери от порядъка на  $10^{-6}$  до  $10^{-8} \text{ m}$ , които сключват помежду си малки ъгли (малкоъглови граници). Нарушенията от този вид зависят основно от степента на преохлаждане при кристализацията на металите и сплавите. Границите между отделните кристални зърна представлява преходна област, в която решетката на един кристал с определена

кристалографска ориентация, преминава в решетка на друг кристал с друга различна кристалографска ориентация. Този дефект е съпроводен с голямо струпване на дислокации.



Фиг. 2.5. Повърхностен дефект в кристалната решетка

Всички дефекти в реалния кристал определят до голяма степен много от механичните и физичните свойства на метала.

### **АНИЗОТРОПИЯ**

Нееднаквата атомна плътност в различните направления на кристалната решетка обуславят зависимостта между механичните, химичните и физичните свойства на метала от посоката на ориентиране на монокристала. Това качество се нарича *анизотропия*, т.е. свойствата на тялото са различни във всички посоки.

Аморфните метали са изотропни поради относително безредното разположение на атомите им в пространството.

Техническите материали са поликристални тела и са изградени от различно ориентирани анизотропни кристали, така че като цяло са *квазиизотропни*. При определени въздействия /например студена пластична деформация/ възниква преобладаваща ориентация на съставлящите кристални зърна. Тази ориентация се нарича *текстура* и кристалът придобива анизотропни свойства.

### **МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА КРИСТАЛНАТА СТРУКТУРА РЕНТГЕНОСТРУКТУРЕН АНАЛИЗ**

Разположението на атомите в кристалната решетка се изучава чрез рентгеноструктурния анализ, основаващ се на използването на рентгеновите лъчи.

Рентгеновите лъчи са електромагнитни вълни с дължина на вълната ( $\lambda$ ) от порядъка на междуатомните разстояния в кристалите. Това ги прави удобни при измерване параметрите на кристалната решетка.

При този вид анализ се използва дифракцията и интерференцията на проникващите в кристала рентгенови лъчи. Попадналите във фаза, разсеяни от отделните атоми вълни интерферират и получените лъчи се явяват като

отразени от кристалографските равнини на кристала. Ако един кристал се пролъчи със сноп монохромни лъчи, те ще се отразяват от различните равнини така, че ъгълът на плъзгане  $\theta$  да е равен на ъгъла на отражението. При определена стойност на  $\theta$  се изпълнява уравнението на Вулф-Брег, съгласно което се получава отразен лъч. Уравнението има вида:  $2d \sin \theta = n \lambda$ , където  $n$  е цяло число (1, 2, 3,...), а  $d$  е разстоянието между кристалографските равнини в решетката, наречено междуплоскостно разстояние.

То се определя чрез уравнението на Вулф-Брег при известни дължина на вълната и ъгъл на отразяване.

Известни са три основни метода за микроструктурни изследвания: метод на Лауе, метод на Дебай-Шерер и метод на въртящия се кристал.



Фиг. 2. 6. Рентгенов дифрактометър ДРОН 1

### **МЕТАЛОГРАФСКИ АНАЛИЗ**

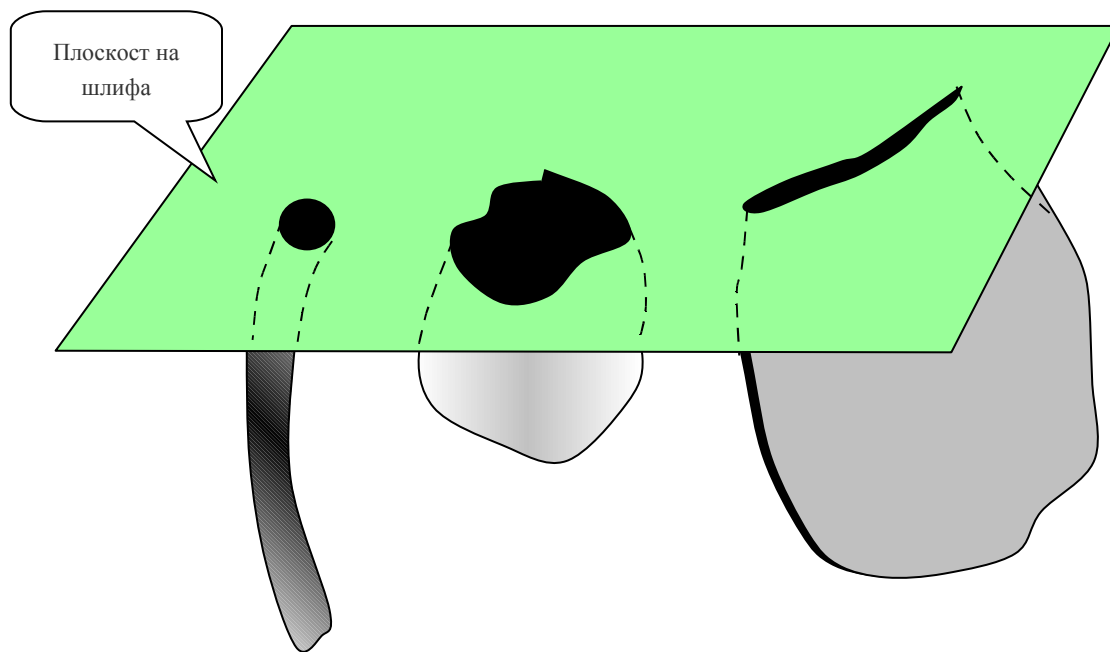
Всяка пространствена микроструктура, на която и да е метална сплав или композиция представлява един конгломерат, състоящ се от множество микроскопични частици (кристалити), запълващи определен обем от пространството и здраво свързани помежду си по контактните си повърхности, наречени граници. Тези микроскопични частици се наричат в структурния анализ структурни единици. Те могат да бъдат метални или неметални в зависимост от техния химически състав, а също така и газови неплътности (пори, пукнатини). Структурни единици с еднакъв състав, структура и свойства се наричат фази. Те могат да бъдат кристалити на чисти метали, твърди разтвори, интерметални съединения, съединения на метали с неметали (карбиди, нитриди, бориди, окиси) и др.

Структурният анализ изисква трансформиране на реалната тримерна в двумерна структура, която се наблюдава, документира и анализира с помощта на металографски инструментариум (фиг. 2.7 и 2.8).

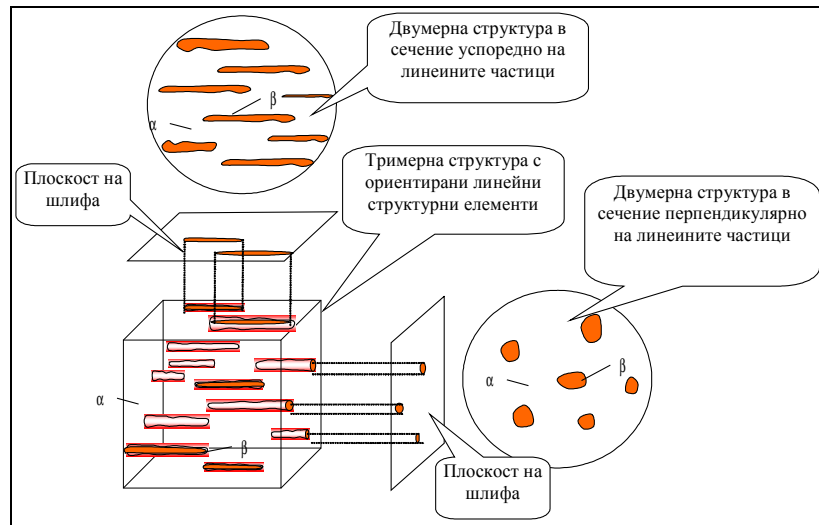
Основната задача на количествената (стереометричната) металография се свежда до разкриване на функционалните връзки между геометричните параметри на двумерната структура и на реалната тримерна структура, която е невъзможно пряко да се наблюдава.

Структурите могат да бъдат:

- според формата на зърната: полиедрични, дендритни, иглести, пластинчати и др.
- според броя на фазите: хомогенни (монофазни) и хетерогенни (многофазни)
- според равноосието: изомерни (равноосни) и неизомерни (ориентирани)
- според разсейването (разпределението) на размерите: еднородни и нееднородни
- според разпределението на фазите: матрични, евтектични, модулни

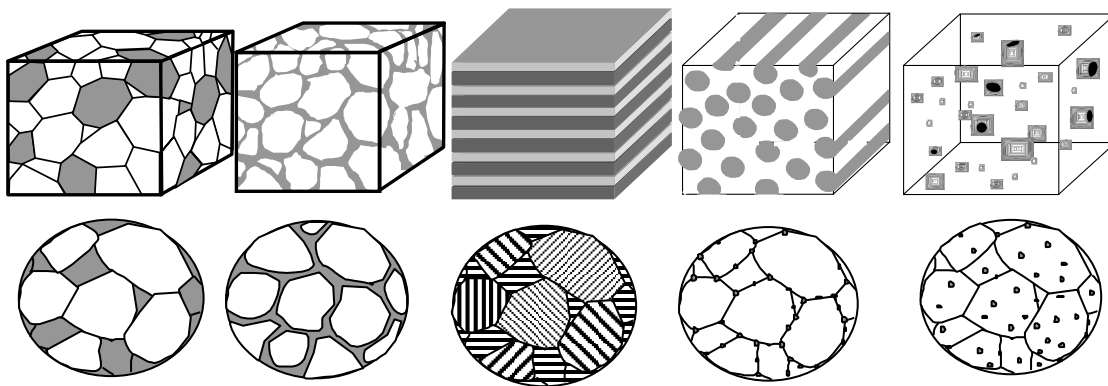


Фиг. 2.7. Формиране на двумерна (плоска) структура от реалната тримерна структура за линейни (а), обемни (б) и плоски (в) структурни елементи



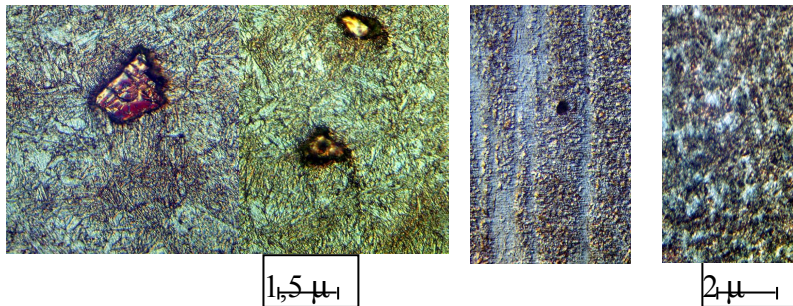
Фиг. 2.8. Трансформация на тримерната в двумерна структура на двуфазна структура с ориентирани линейни структурни елементи

Микроструктурата на метала се изучава при увеличение от 50 до 2000 пъти. Различават се два вида металографски анализи: микроструктурен и макроструктурен. За провеждане на този вид изследване се взема образец от изследвания метал (фиг. 2.9) и се изработва т.нар. микрошлиф (чрез шлифване, полиране и разяждане с реактив от едната му страна).



Фиг. 2. 9. Тримерна и двумерна двуфазна структура:  
 а/ смесена полиедрична; б/ мрежеста; в/ евтектична пластинчата;  
 г/ евтектична пръчковидна; д/ матрична

Микроструктурният анализ позволява с помощта на металографски микроскопи (фиг. 2.10) да се определят големината, формата и разположението на кристалните зърна, да се установява съотношението на структурните компоненти, да се определя видът на структурата и да се откриват малки дефекти - неметални включения, микропори и пукнатини и т.н. (фиг. 2.11).



Фиг. 2.10. Видове микроструктури



Фиг. 2.11. Металографски микроскоп

Макроструктурният анализ се провежда върху макрошлиф (образец от материала, изработен чрез шлифване и полиране) при малко увеличение - до 50 пъти, или чрез наблюдение с просто око. По този начин се изследват метални ломове (разрушени повърхнини), заварени съединения, структури с деформационна текстура (структура, получена в резултат на пластична деформация) и др.

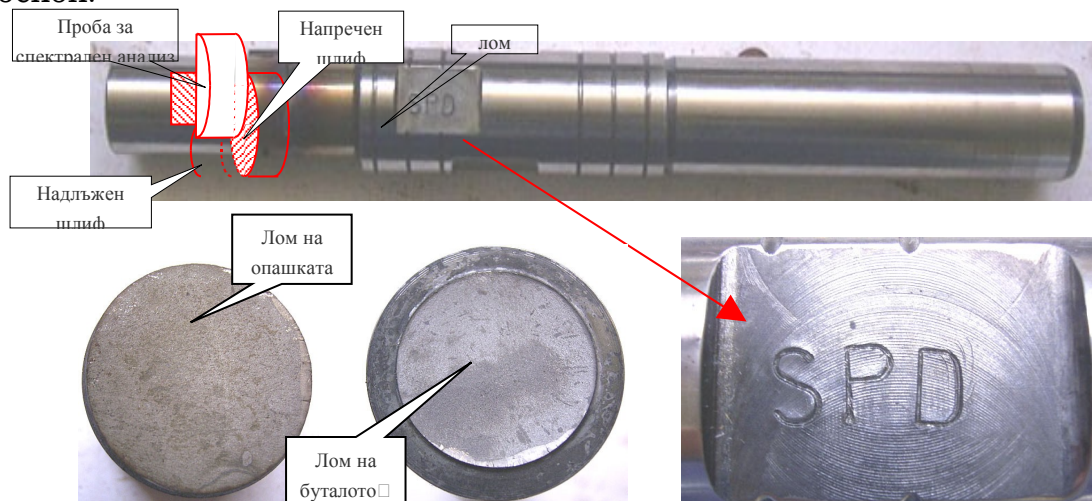


В последно време широко разпространение получиха електронните микроскопи, които могат да дадат увеличение до 200 000 пъти. Понеже металографският шлиф е непрозрачен за електронния поток в микроскопа, изследването на структурата се извършва с помощта на специално приготвени отпечатъци (реплики) или тънки метални образци (фолии), които точно възпроизвеждат релефа на разядения микрошлиф.



Фиг. 2.12. Трансмисионен електронен микроскоп УЕМ-100Л

Изследването на повърхността на уморни ломове може да се извършва по различен начин. Първото, което се прави е макроструктурен анализ. Установяват се видимите елементи (например мястото на зараждане, посоката на развитие на уморната пукнатина) на разрушената повърхност (фиг. 2.13). След това ломовете се проследяват на електронен, най-често растрен, микроскоп.



Фиг. 2.13. Място за вземане на пробни тела от вал

## **ТЕМА 3**

### **СВОЙСТВА И МЕХАНИЧНИ ИЗПИТВАНИЯ НА МАТЕРИАЛИТЕ**

#### **ОБЩИ СВЕДЕНИЯ**

Конструирането на съвременна техника поставя високи изисквания при избора на материали. Тези изисквания се отнасят главно до свойствата на материалите - механични, физични, химични и технологични.

Физичните свойства определят поведението на материалите в топлинни, гравитационни, електромагнитни и радиационни полета. Химичните свойства характеризират реактивоспособността на материалите, тяхната склонност към взаимодействие с различни среди; чрез технологичните свойства се установяват възможностите за обработваемостта на материала чрез различни технологични методи.

Механичните свойства определят поведението на материалите под въздействие на приложени външни сили, които могат да имат статичен, динамичен или циклично повтарящ се характер.

Всяка техническа разработка поставя конкретни изисквания за комплекса от свойства, които трябва да притежават материалите. От инженерна гледна точка решаващо значение при подбора на материали имат механичните им характеристики. Те се определят в лабораторни условия.

Стандартните лабораторни изпитвания могат да се квалифицират според различни признаци, но от определящо значение е характерът на прилаганото външно механично въздействие. Най-общо те се разделят в три основни категории:

- статични изпитвания, при които натоварването се прилага достатъчно бавно, плавно, с равномерна скорост, така че се получава квазистатично равенство на силите;
- циклични са изпитванията, характеризирани се със променливо по знак изменение на натоварването в границите на определен период от време;
- динамични изпитвания, при които натоварването има ударен характер и максималната му стойност се достига за един миг.

Основните механични свойства изразяват най-общите изисквания към качествата на материалите. Те се измерват с емпирично дефинирани характеристики върху стандартизирани по размер и форма пробни тела. По този начин се осигурява повторяемост и сравнимост на получените резултати.

## **Механични свойства на течности**

От механичните свойства на течностите най-голям интерес представлява вискозитетът (вътрешно триене) – *свойството им да оказват съпротивление при преместване на едни техни части спрямо други*. Това е важна характеристика на трансформаторното масло и други течни диелектрици.

**Динамичният вискозитет** фигурира в ред закони на аеро- и хидродинамиката.

**Кинематичен вискозитет**,  $\nu$  - равен е на динамичния вискозитет, разделен на плътността на флуида. Дименсията му е  $m^2/s$ .

**Условен вискозитет** (ВУ) – характеризира течностите. Равен е на отношението между времето  $t$ , за което от стандартен съд с калибриран отвор изчитат  $200\text{ cm}^2$  от изследваната течност, и времето  $t_0$ , за което от същия съд изтича същото количество дестилирана вода при температура  $20^\circ\text{C}$ . Дименсията за условен вискозитет е градуси по Енглер (Е). Уредът, с който се извършва измерването, се нарича вискозиметър на Енглер.

От условен към кинематичен вискозитет преход може да се извърши по таблици, номограми или формули.

Вискозитетът на течностите с повишаване на температурата намалява по експоненциален закон.

## **Свойства на материалите, свързани с влагата**

Много често електротехнически и електронни изделия се намират във влажна среда, при което техни елементи проявяват хигроскопичност, водопоглъщаемост, влаго- и водопроницаемост, способност да се мокрят или да не се мокрят. Особено важни са тези свойства за електроизолационните материали.

Влажността на материалите се оценява с относителното съдържание на вода в тях. Влажността на материалите е свързана с влажността на заобикалящата ги среда. Въздухът винаги съдържа някакво количество водни пари. За оценка на влажността му са въведени следните величини:

- **Абсолютна влажност** – оценява се с масата  $m$  на съдържащите се в  $1m^3$  въздух водни пари;

- **Максимална абсолютна влажност** – маса на насищащите водни пари в  $1m^3$  въздух ( $m_{\max}$ ) – това е максималното възможно количество водни пари в  $1m^3$  въздух;  $m_{\max}$  нараства с повишаване на температурата;

- **Относителна влажност**,  $j$  – равна е на отношението между абсолютната влажност и максималната абсолютна влажност при дадена температура; изразява се най-често в проценти.

Ако сравнително сух образец бъде поместен във въздух с относителна влажност  $j$ , материалът поглъща влага, постепенно неговата влажност  $ш$  се повишава и с течение на времето  $t$  се приближава асимптотично към определена стойност, наречена равновесна влажност ( $шр$ ). Ако във въздух със същата влажност се помести същият образец, но с начална влажност, превишаваща  $шр$ , неговата влажност ще намалява, стремейки се към  $шр$ . Равновесната влажност расте с увеличаване на относителната влажност на въздуха и намалява с повишаване на температурата.

Хигроскопичността на един материал е равна на равновесната влажност след престой във въздух с относителна влажност 100 % в продължение на 24 или 48 часа.

Водопоглъщаемостта на материала е равна на равновесната му влажност след престой във вода 24 или 48 часа.

Влагопроницаемостта е важна характеристика за оценка на материалите за защитни покрития (шлангове на кабели, опресовка на кондензатори, компаундни заливки, лакови покрития). Количеството водни пари  $m$ , преминаващо за време  $t$  през плоскопаралелен образец с площ на повърхността  $S$  и дебелина  $h$  при разлика между наляганията на водните пари от двете му страни  $p_1-p_2$ .

**Мокрене и немокрене.** За дадено твърдо тяло различните течности могат да бъдат мокреци или немокреци и дадена течност за различни твърди тела може да е мокреца или немокреца. В този случай силите на привличане между частиците на твърдото тяло и течността (адхезионни сили) са по-големи от силите на привличане между молекулите на самата течност (кохезионни сили). Когато адхезионните сили са по-малки от кохезионните сили, течността е немокреца. Отчетеният вътре в течността ъгъл и между допирателните към повърхностите на твърдото тяло и течността, преминаващи през точка от граничната линия между въздух, течност и твърдо тяло и лежащи в равнина, перпендикулярна на равнината на граничната линия, се нарича ъгъл на мокрене.

Кристалните тела имат точно определена температура на топене. Преходът от кристал в течност се извършва скокообразно. Втвърдяване, при което от течността се получава кристално тяло, се нарича кристализация. Температурата на кристализация е равна на температурата на топене.

Кривата на загряване на аморфно тяло има друг вид. При равномерно придаване на топлина температурата му непрекъснато се повишава. Аморфните материали нямат определена температура на прехода в течно състояние. Този преход се извършва постепенно в широк температурен интервал, през който тялото се размеква и постепенно се втечнява. То

преминава през всички междинни състояния между твърдо и течно състояние. Същото се наблюдава при втвърдяване. Това се обяснява с факта, че течностите и аморфните тела се различават само по степента на подвижност на частиците – *аморфните тела представляват силно преохладени течности*. Тъй като аморфните тела нямат определена температура на топене, за тях се въвежда условна температура на размекване, която се установява по различни методи.

**Топлопроводността** е пренасяне на топлина в дадено тяло от места с по-висока температура до места с по-ниска температура чрез взаимодействие между атомите, молекулите или йони с по-голяма кинетична енергия с такива, притежаващи по-малка. В газовете топлината се пренася чрез сблъсквания на газовите молекули, като тези които имат по-голяма кинетична енергия, предават при ударите част от енергията си на молекулите с по-малка енергия. Топлопроводността в течностите се дължи главно на същия процес. В твърди проводници топлопроводността възниква от подобен процес, протичащ между наличните свободни електрони и йоните. Взаимодействието между молекулите, създаващи топлопроводност в твърди диелектрици, възниква от еластичните сили на привличане между молекулите, които са фиксирани в пространството.

### **Температури на пламване и възпламеняване**

Температурите на пламване и възпламеняване са характеристики на течни и разтопени органични вещества. Те представляват особен интерес при оценка на качествата на трансформаторно масло, а също на разтворители и разредители, използвани в производството на електроизолационни лакове.

Тези температури са свързани със следните явления:

а. **Припламване** – кратковременно възпламеняване на парите над повърхността на течност, когато към тях се поднесе открит пламък (възпламенител). След отдалечаване на възпламенителя горенето се преустановява. Температура на припламване (пламна точка) е най-ниската температура на течността, при която парите ѝ образуват с въздуха припламваща смес.

б. **Възпламеняване** – начален момент на трайно горене, което продължава след отдалечаване на възпламенителя. Температура на възпламеняване е най-ниската температура на горимото вещество, при която под действие на открит пламък възниква устойчиво горене.

## Радиационна устойчивост

В съвременната техника е възможно използване на електро- и радиоапаратура в условията на краткотрайно или продължително действие на корпускуларни или вълнови радиоактивни лъчения с висока енергия. Радиационна устойчивост е свойството на материалите да запазват електричните и механични си характеристики при и след въздействие на радиоактивно облъчване. От друга страна радиоактивните лъчения могат да се използват в технологични процеси за създаване на материали с нови свойства. Освен това някои материали се прилагат като екрани (прегради) за лъченията.

Към корпускуларните лъчения се отнасят бързите и бавни неутрони, части от ядра, алфа ( $\alpha$ )-частици (ядра на хелиеви атоми – 2 протона + 2 неутрона), бета ( $\beta$ )-частици (бързи електрони или позитрони).

$\alpha$ -частиците имат скорост от порядъка 107 m/s (14 - 20 km/s) и проникваща способност във въздуха до 10 cm, а в по-плътни материали (метали) – до няколко десетки mm (10 – 5 m).

$\beta$ -частиците са със скорост от порядъка 108 m/s, която може да достигне стойности, близки до скоростта на светлината ( $c = 3.108 \text{ m/s}$ ). Малката маса и голямата им скорост обуславят техния сравнително голям пробег – във въздух до 10 m, а в оловото до 3 mm.

Към вълновите излъчвания спадат гама ( $\gamma$ )-лъчите. Те са електромагнитни вълни с много малка дължина на вълната ( $\lambda = 10^{-11} - 10^{-13} \text{ m}$ ). Тъй като вълновите свойства се проявяват само при най-дълговълновите  $\gamma$ -лъчи, а корпускуларните са отчетливо изразени, прието е те да се разглеждат като поток от частици –  $\gamma$ -кванти. Проникващата им способност е много голяма – във въздух е 600 m.

Радиоактивните лъчи имат силно йонизиращо действие, затова се наричат още йонизиращи лъчения. Източници на йонизиращи лъчения са радиоактивните елементи, чиито атомни ядра притежават способността спонтанно да се превръщат, ядрени реактори, в които се извършва верижна ядрена реакция;  $\gamma$ -лъчи се получават и при различни взаимодействия на елементарни частици.

Вид йонизиращо лъчение са рентгеновите лъчи. Те са подобни на  $\gamma$ -лъчите, но имат по-голяма дължина на вълната ( $\lambda = 10^{-8} - 10^{-12} \text{ m}$ ). Получават се с помощта на специални устройства, наречени рентгенови тръби. Възникват при процеси, свързани с ускоряване на електронни потоци.

Някои по-важни величини, характеризиращи йонизиращите лъчения, и съответните измервателни единици са следните:

- **Активност на радионуклид,  $A$**  - отношение на средния брой спонтанни ядрени превръщания  $dN$ , които се извършват в определено количество радиоактивни ядра в малък интервал от време, към продължителността на този интервал  $dt$ . Дименсията за активност на радионуклид е Бекерел ( $Bq$ ) –  $1Bq$  е активност, при която за време  $1s$  се извършва едно превръщане:  $1Bq = 1s^{-1}$ .

- **Погълната доза лъчение,  $D$**  - отношение на погълнатата енергия  $dW$  от елемент на облъчено вещество към масата  $dm$  на този елемент.

- **Пренос (флюенс) на частици  $\Phi$**  в дадена точка на пространството – отношение на броя на частиците  $dN$ , падащи върху малка сфера за определен интервал от време, към лицето на диаметралното сечение на тази сфера:  $dS=\Phi/dN$ . Дименсията за пренос (флюенс) на частици е  $m^{-2}$ .

- **Пренос (флюенс) на частици  $\Phi$**  в дадена точка на пространството – отношение на броя на частиците  $dN$ , падащи върху малка сфера за определен интервал от време, към лицето на диаметралното сечение на тази сфера.

- **Линеен коефициент на отслабване,  $m$**  - в уравнението  $j=j_0 e^{-mx}$ , където  $j_0$  е начална мощност на преноса на частици,  $j$  - мощност след преминаване през слой вещество с дебелина  $x$ . Дименсията за линейния коефициент на отслабване е  $m^{-1}$ .

- **Слой на полуотслабване  $d_{1/2}$**  (в  $m$ ) - дебелина на слоя вещество, при която началната мощност на преноса на частици  $j$  на успореден тесен сноп частици, преминаващи перпендикулярно на слоя, намалява наполовина. Например за  $\gamma$ -кванти с енергия  $W=hn=2MeV$  и поглъщащ материал олово  $d_{1/2}= 0,015 m$ .

В областта на радиационната безопасност се използва величината еквивалентна доза лъчение  $H$ . Тя изразява очаквания биологичен ефект от облъчването в дадена точка на облъчваната тъкан.  $H=KD$ , където  $D$  е погълнатата доза лъчение;  $K$  е безразмерен коефициент, определящ влиянието на различни фактори върху ефекта от облъчването на даден организъм или орган. Дименсията за еквивалентна доза лъчение е Сиверт ( $Sv$ ).  $1 Sv=1 J/kg$ .

Влиянието на радиоактивните лъчения върху веществата се обуславя от тяхното йонизиращо действие. Неутронното и  $\gamma$ -лъчението нарушават структурата в големи обеми, тъй като проникват на голяма дълбочина. Ефектът от въздействието на заредени частици се наблюдава предимно в повърхностния слой.

Йонизиращите лъчения предизвикват молекулни превръщания и химични реакции – могат да се разкъсват химични връзки, в резултат на което възникват свободни радикали.

В полимерите се предизвиква образуване или ликвидация на двойни връзки, полимеризация, създаване на напречни връзки, при което се наблюдават изменения на свойствата; отделят се газове.

Например след облъчване с доза  $5.10^4$  Gy тефлонът става крехък и се разпада.

Полиизобутиленът, който е каучукоподобно вещество, се превръща в течност.

Полиетиленът повишава топлоустойчивостта си от 100 на 200°C и якостта му на опън нараства.

Влиянието на облъчването върху неорганичните диелектрици (кварц, слюда, циркониев оксид, слюдени материали със стъкловидно свързващо вещество) е по-слабо. В тях се образуват центрове на оцветяване. Възможно е влошаване на електричните им свойства.

Въздействието на йонизиращите лъчения върху металите е свързано с възникване на радиационни дефекти, при което тяхната якост нараства, но намалява пластичността им. Увеличаването на дефектността на структурата води до понижаване на електричната проводимост.

Влиянието на лъченията върху свойствата на полупроводниците зависи както от вида и дозата на облъчването, така и от типа на материала. При облъчване с високо енергийни частици се създават точкови радиационни дефекти, сложни дефекти, а също и безпорядъчни области. Възможно е промените да доведат до пълно изгубване на полупроводниковите свойства.

С помощта на дозирано лъчение от определен вид могат да се изменят целенасочено параметрите на даден полупроводников материал или елемент.

Например облъчването с електрони подобрява превключващите свойства на транзисторите и интегралните схеми, но едновременно намалява коефициента на усилване.

Защитните свойства на материалите се характеризират с величините **линеен коефициент на отслабване  $m$**  и **със слоя на полуотслабване  $d_{1/2}$** .

## МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА

### Напрежение и деформация

Основни величини за количествена оценка на реакцията на пробните тела при механично натоварване са **напрежение** и **деформация**.

В резултат от действието на външни сили в материала възниква вътрешна силова реакция. Вътрешната силова реакция, която е отнесена към единица площ и е в равновесие с външните пораждателни сили, се нарича *напрежение*.



Различаваме *нормално напрежение*  $\sigma$ , действащо перпендикулярно на равнината на въздействие и *тангенциално*  $\tau$ , действащо в самата равнина.

$$\sigma = \frac{P}{F}$$
$$\tau = \frac{Q}{F}$$

където  $P$  е нормалната сила в (N),  $Q$  - тангенциалната сила в (N) и  $F$  - сечението в ( $m^2$ ).

Под действие на възникващите напрежения материалът променя формата и размерите си. Това свойство на материала се нарича *деформация*.

### **Еластична деформация**

Ако се представи графично зависимостта напрежение-деформация (фиг. 3.1), се вижда че за еластичната деформация е характерна линейна връзка, за която е валиден законът на Хук:

$\sigma = E \cdot \epsilon$  - за нормални напрежения;  $E$  - модул на еластичност -(модул на Юнг) в (МПа);

$\tau = G \cdot \gamma$  - за тангенциални напрежения;  $G$  - модул на усукване в (МПа),  $\gamma$  - ъглова деформация ;

Линейната осева деформация при опън се съпровожда с линейно намаление на напречното сечение ( $\epsilon_2$ ). Връзката между тези две характеристики се представя със зависимостта:  $\epsilon_2 = -\mu \cdot \epsilon$ , където  $\mu=0,3 \div 0,5$  се нарича коефициент на Поасон.

Модулите на еластичност и на усукване са постоянни за даден материал и се определят от силите на междуатомно въздействие. Те са структурно нечувствителни. Характеризират съпротивлението на материала срещу еластично деформиране. Отношението  $E/G = 2,5 \div 3 = 2(1+\mu)$ .

За желязото  $E=2 \cdot 10^5$  МПа,  $G=0,8 \cdot 10^5$  МПа. При кристали с йонна или ковалентна връзка тези стойности са по-големи. За диаманта например  $E=12 \cdot 10^5$  МПа.

### **Пластична деформация**

При превишаване стойността на натоварването над определена граница получената деформация не изчезва след отстраняването на действието на силата. Наблюдава се т. нар. остатъчна или *пластична* деформация. Тя е част от общата деформация. Явлението е характерно за повечето от металите и се използва при тяхната обработка.

Механизмите на пластична деформация са много сложни. Единият механизъм се обяснява с необратимото преместване на линейните дефекти - дислокациите. Това преместване се осъществява под действие на тангенциално

напрежение, породено от силата **P** чрез **преплъзване** по една или няколко кристалографски равнини, които обикновено са с по-голяма плътност на атомите. За да се осъществи преплъзването, стойността на тангенциалното напрежение трябва да е достатъчно голяма и да надвишава критичната за съответния материал. Друг механизъм на пластична деформация е т. нар. **двойникуване**. При него една част от кристала се завърта около някоя кристалографска ос и заема огледално положение спрямо останалата част от кристала.

Наличието на дислокации в структурата на кристала улеснява процеса на пластична деформация. Така например стойността на критичното напрежение от  $130 \cdot 10^5$  МРа намалява на 150 МРа при наличие на дислокации в желязото. Тази стойност на напрежението зависи също и от температурата. При по-висока температура критичното напрежение намалява, докато при по-висока скорост на деформация критичното напрежение нараства.

### **Разрушаване**

Процесът на деформация при достигане на големи напрежения завършва с разрушаване. Разрушаването може да се разглежда като заключителен мигновен стадий от натоварването, който не може да бъде регистриран.

Разделянето на твърдото тяло на части под действие на външно натоварване и под влияние на термични, радиационни, корозионни и други въздействия се нарича *разрушаване*. Мястото на разрушаване се нарича *лом*. В зависимост от степента на пластична деформация в него се различават два основни типа разрушаване: *крехко* и *пластично*.

Съвременните представи за микромеханизма на зараждане на пукнатини в кристални твърди тела се основават на различни дислокационни модели. Смята се, че микропукнатината, независимо от характера на разрушаване се заражда от система натрупани дислокации пред някакво препятствие ("бариерен" механизъм) или в резултат на взаимодействие на дефекти в кристалната решетка ("безбариерен" механизъм).

Следващият стадий е нарастването на пукнатината, което зависи от напрегнатото състояние в материала и от редица външни фактори. След като достигне определени критични размери, разпространението и' става лавинообразно, без наличие на пластична деформация и без да е необходимо подаването на външна енергия.

Външните фактори, влияещи върху разрушаването са: температура, тип на концентратора на напрежение, условия и скорост на натоварване, характер на средата, форма и размери на детайла или конструкцията.

Към вътрешните фактори се отнасят: типът на кристалната решетка, химичният състав, структурата и размерите на зърната, зависещи от предшестващата технологична обработка.

Крежкото разрушаване протича чрез разкъсване на материала, като равнината на разрушаване е перпендикулярна на действащите напрежения. То се характеризира със самопроизволно разпространение на пукнатината за сметка на натрупаната еластична енергия в системата. Отличава се с висока скорост на протичане, която е около 0,4 от скоростта на светлината. Крежкият лом има зърнест вид и е със същите форма и размери както изходният материал. Към материалите с типично крежко разрушаване могат да се отнесат чугуните, високовъглеродните силно закалени стомани, както и нисковъглеродните стомани в случаите на разрушаване при отрицателни температури, стъклото, керамиката и др.

Пластичното разрушаване протича главно чрез срязване на материала, което става под действие на тангенциални напрежения. Равнината на разрушаване е под ъгъл  $45^{\circ}$  спрямо действащите нормални напрежения. За развитието на пукнатината е необходимо непрекъснато подаване на външна енергия, която служи за развитие на пластична деформация в нейния връх. Скоростта на разпространение на пукнатината е значително по-ниска и се определя от нарастването на действащото напрежение. Времето за разпространяването и' може да достигне до 80% от живота на конструкцията. Пластичният лом е с променена форма и размери в сравнение с тези на изходния материал.

По своя характер най-опасно е крежкото разрушаване поради неговата внезапност.

Факторите, които благоприятстват крежкия тип разрушаване са, ниските температури, високата скорост на натоварване, корозионно действащите среди и водородът, по-големите размери на детайлите, кубичната обемноцентрирана решетка, наличието на дефекти, по-едрата зърнистост и др.

### **ИЗПИТВАНЕ НА ОПЪН**

Цел на изпитването на опън е да се установи съпротивлението на материала срещу опънови натоварвания (сили), които се стремят да го разрушат. Изучават се видовете напрежения и деформациите, които те предизвикват. Получава се информация за пластичността, якостта, модула на еластичност на съответния материал.

Разучава се диаграмата "*напрежение-относително удължение*" и информацията, която тя съдържа за основните свойства на материалите.

Посредством диаграмата се изчисляват механичните характеристики на материала.

### Диаграма "напрежение-относително удължение"

Тъй като се търсят механичните характеристики на материала, при изпитване на опън се изпитва пробно тяло, изработено от съответния материал. За изпитване на опън се използват пропорционални цилиндрични пробни тела с диаметър по-голям от 3 mm и плоски пробни тела с дебелина над 0,5 mm с изчислителна дължина  $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$  - (къси) или с  $L_0 = 11,3\sqrt{S_0}$  - (дълги). Препоръчително е използването на къси пробни тела по ВДС 1086 - 78.

#### Цилиндрично пробно тяло

С дълги глави

Общи размери				Дълго пробно тяло $L_0 = 10 d_0$			Късо пробно тяло $L_0 = 5 d_0$		
$d_0$	D	$h^*$	$h_1$	$L_0$	$L_u$	$L_{об}$	$L_0$	$L_u$	$L_{об}$
15	20	50	15	150	165	295	75	90	220
12	18	45	15	120	132	252	60	75	195
10	15	40	10	100	110	210	50	60	160
8	12	30	10	80	88	168	40	48	128
6	10	25	10	60	66	136	30	36	106

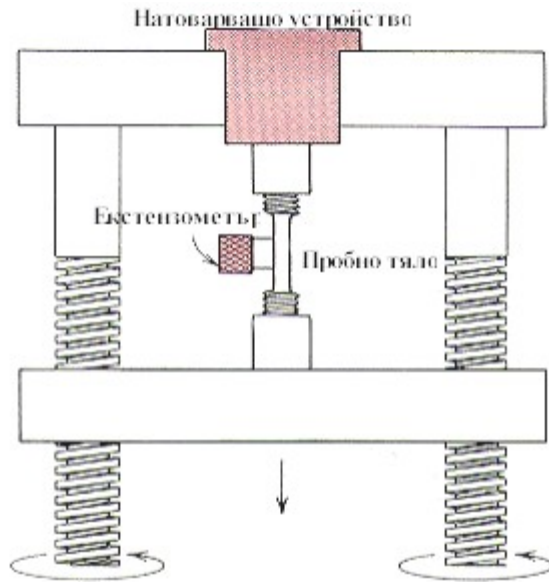
С къси глави

Общи размери				Дълго пробно тяло Lo = 10 do			Късо пробно тяло Lo = 5 do		
do	D	h*	h1	Lo	Lu	Loб	Lo	Lu	Loб
25	45	30	5	250	275	345	125	150	220
20	34	25	5	200	220	280	100	120	180
15	28	20	3	150	165	211	75	90	136
10	16	10	3	100	110	136	50	60	86
8	16	10	3	80	88	114	40	48	74
6	12	10	2,5	60	66	91	30	36	61
5	11	10	2,5	50	55	80	25	30	55
4	9	8	2,5	40	44	65	20	24	45

Изпитването на опън е **статично изпитване**. При него товарът се увеличава бавно, плавно, с равномерна скорост до разрушаване на пробното тяло. За провеждане на изпитването се използват универсални машини за изпитване на опън. Пробното тяло се закрепва съсно между челюстите на машината (фиг. 1), натоварва се и едновременно с това се следи промяната на товара и абсолютната деформация на пробното тяло. Автоматично се записва, така наречената "индикаторна" диаграма - "товар-абсолютна деформация". Под абсолютна деформация се разбира разликата между текущата и началната дължина на пробното тяло ( $l - l_0$ ), която се изчислява в милиметри. На базата на получените резултати се изчисляват напреженията ( $R$ ) и деформациите ( $A$ ) на материала във всеки един момент от изпитването:

$$R = \frac{F}{S_0}, MPa$$

$$A = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100, \%$$



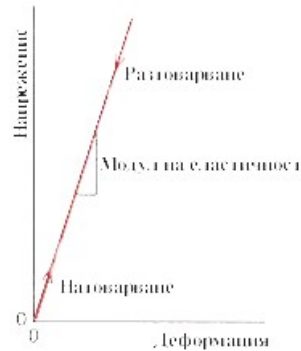
Фиг. 1. Схема на машината за изпитване на опън.

### ***Еластичност на материала***

Първоначално между напрежението и деформацията съществува линейна зависимост - валидна до границата на пропорционалност. В този етап от натоварването е валиден законът на Хук -

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

материали този модул има различна стойност. На фиг. 2 е показана еластичната деформация на материала, която изчезва след отстраняване на товара, т.е. материалът

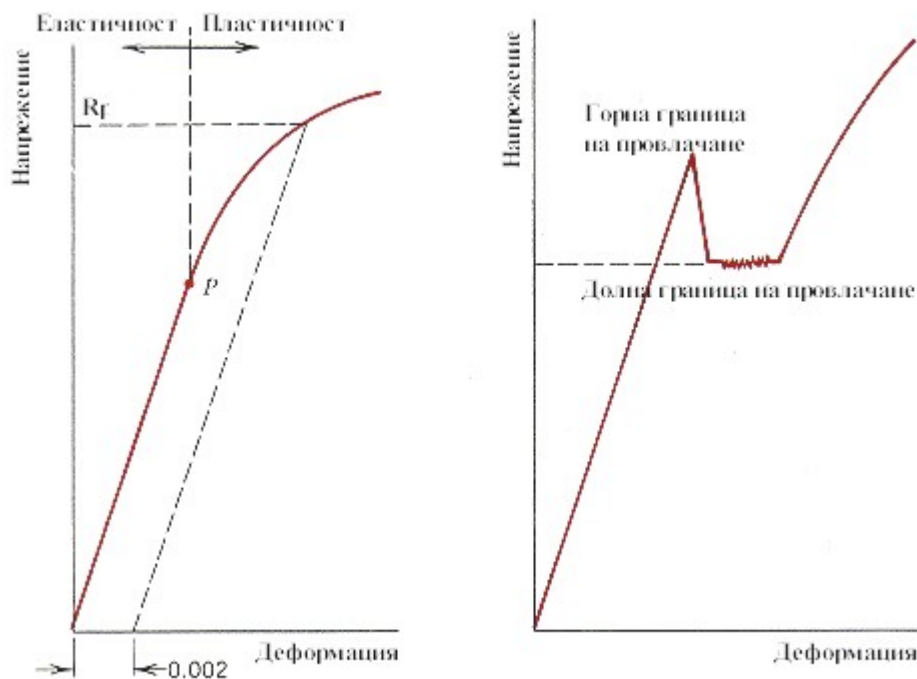


Фиг. 3.2. Линейна еластичност и пластичност при цикъл натоварване-разтоварване

## Пластична деформация

С увеличаване на товара материалът започва да "тече", удължението расте без видимо увеличаване на напрежението. В материала възникват остатъчни деформации, наречени *пластични*. Механичната характеристика, свидетелстваща за възникването на пластични деформации се нарича **граница на провлачане**. В зависимост от вида на материала свойствата му са различни и се определят съответните механични характеристики:

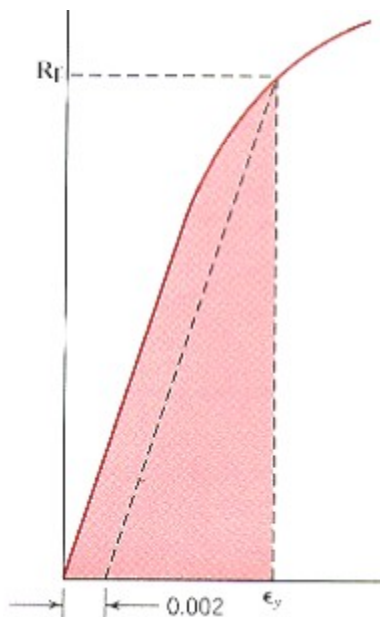
- При материали с изразена граница на провлачане се определя характеристиката **физическа граница на провлачане -  $R_e$**  - напрежението, при което пробното тяло се деформира без забележимо увеличение на силата на опън.



Фиг. 3.3. Диаграма напрежение - деформация (удължение)

- Меките материали показват горна и долна граница на провлачане (фиг. 3.3). **Горна граница на провлачане ( $R_{eH}$ )** е напрежението, което съответства на първия пик на натоварването, регистриран при провлачането на материала. **Долната граница на провлачане ( $R_{eL}$ )** - най-ниското напрежение при провлачане на метала.

- За материали, при които границата на провлачане не е изразена се определя условна граница на провлачане -  $R_f$ . Това е напрежението, при което остатъчното удължение достига зададена стойност, изразена в проценти (обикновено 0,02 %) от началната изчислителна дължина на пробното тяло (фиг. 3.4).

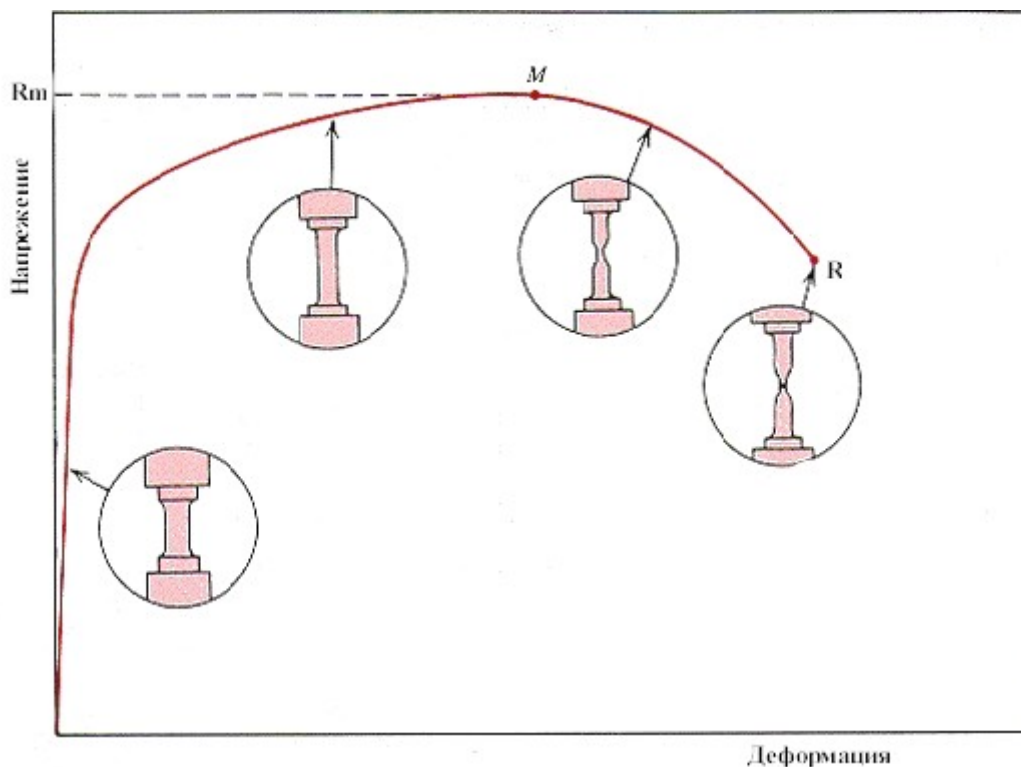


Фиг. 3.4. Определяне на условната граница на провлачане

### Якост на опън

**Якостта на опън** е напрежението, съответстващо на най-голямото натоварване, което предшества разрушаването на пробното тяло -  $R_m = F_m/S_0$ .





Фиг. 3.5. Диаграма напрежение-деформация с поведение на пробното тяло при различните степени на натоварване

Точката М от диаграмата (фиг. 3.5) отговаря на максималния товар. След тази точка в пробното тяло се образува шийка, което отслабва носещото сечение и в т. R пробното тяло се разрушава. В този момент се отчита границата на разрушаване.

### Пластични характеристики на материала

За пластичността на даден материал се съди по характеристиките:

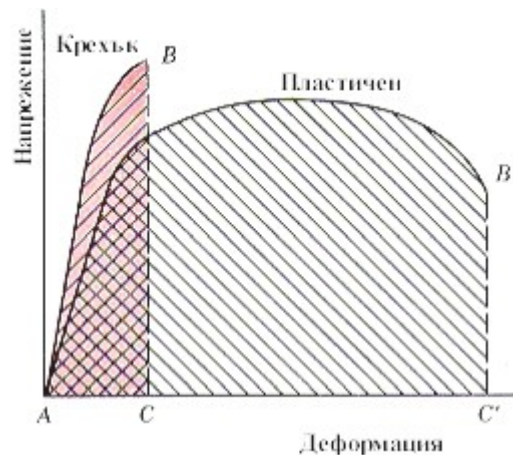
**Относително свиване** (отношението на разликата между началното и минималното лице на напречното сечение на пробното тяло след разрушаването към началното сечение, изразено в (%)) -  

$$Z = (S_0 - S) / S_0 \cdot 100$$

**Относително удължение** (отношението на абсолютното удължение на пробното тяло след разрушаване към началната изчислителна дължина, изразено в (%)) -  

$$A = (l - l_0) / l_0 \cdot 100.$$

От вида на получената диаграма се съди за свойствата на изпитвания материал. На фиг. 3.6 се наблюдава разликата в поведението на крехък и пластичен материал.



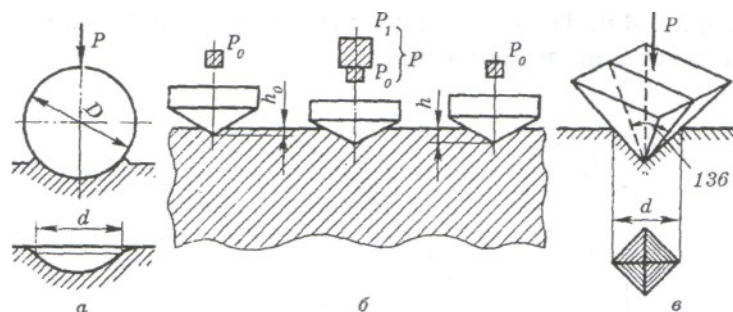
Фиг. 3.6. Диаграми на крехък и пластичен материал

### Определяне твърдостта на материала

Изпитването на опън има съществения недостатък, че завършва с разрушаване. Ето защо много често се използва безразрушаващият метод за определяне на твърдостта на материала. Под твърдост се разбира съпротивлението на материала срещу проникването на в повърхностния слой на друго по-твърдо от него тяло, наречено индентор.

Най-често се използват метода на Бринел – като индентор се използва закалена сфера; методът на Роквел – като индентор се използва диамантен конус или при тънки пластини – закалена стоманена сфера; методът на Викерс – индентор е диамантена пирамида.

При методите на Бринел и Викерс твърдостта (НВ и НV) се определя като отношение между стойността на приложеното натоварване (P) и площта на получения в материала отпечатък (f) (фиг. 3.7).



Фиг. 3.7. Схеми за определяне твърдостта на материалите:  
а/ по Бринел, б/ по Роквел и с/ Викерс

$$HB (HV) = P(f)$$

$$HB = \frac{P}{\pi Dh} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})},$$

$$HV = \frac{P}{f} = \frac{1,8544P}{d^2}$$

Където  $D$  – е диаметърът на сферата,  $d$  – диаметърът (диагоналът) на отпечатъка,  $P$  – приложеният товар.

Диаметърът на сферата е в зависимост от размерите на изпитвания предмет. Силата, с която се натиска сферата, се избира в зависимост от вида на материала. Товарът трябва да действа в продължение до 30 сек, като при много мек метал може да достигне до 3 минути, а при стомана с якост над 400 МРа да се редуцира до 10 секунди. В означението на твърдостта задължително

трябва да се записват условията на работа. Например HV10/3000/15 = 220 означава, че измерването е проведено със сфера 10 мм, при товар 30 kN, за време 15 сек. Методът е приложим за измерване твърдостта на меки материали.

При изпитване на Викерс вместо стоманена сфера като индентор се използва диамантена пирамида с ъгъл при върха  $136^\circ$ . И тук трябва да се тбелязват условията на работа: HV100/30 = 900. Работи се със следните натоварвания: 50, 100, 200, 300, 500, 1000 и 1200 N.

При измерване твърдостта на твърди и много твърди материали се използва методът на Роквел, при който инденторът е диамантен конус с ъгъл при върха  $120^\circ$ . При този метод за твърдостта на материала се съди по дълбочината на проникване на конуса. Изпитването се провежда по следния начин: Инденторът се натиска върху повърхността с предварителен товар  $P_0$ , вследствие на което той потъва на малка дълбочина  $h_1$ . В това положение се нулира скалата на индикатора (стрелката трябва да показва 0 или 100), тъй като скалата има 100 деления. Прилага се допълнителен товар  $P_1$ , наречен основен. Под действие на двата товара  $P_0 + P_1$  конусът потъва още. Целият твърдомер се намира под напрежение и изпитва еластична деформация, която се отчита от индентора. За това се отстранява основният товар, така че върху конуса да остане да действа само предварителният товар. Стрелката на уреда се връща толкова, колкото е била предизвиканата от действието само на втория товар еластична деформация, а така също и пластична деформация, предизвикана от проникването на конуса в изпитвания материал.

При изпитване с диамантен конус твърдостта се означава с HRC и се употребява товар  $P_0 = 100$  N и основен товар  $P_1 = 1400$  N. Отчитането става по скала C на уреда.

## **Определяне на якостта на удар (жилавостта) на материала**

Изпитването се провежда чрез предаване на товар за един миг, т. е. ударно. Изпитването се извършва на уред, наречен чук на Шарпи. Изпитваният образец е призматичен с размери 10 x 10 x 55 мм, като може да бъде гладък или с надрез, за да се осигури разрушаването точно в определеното място. Чукът представлява махало с точно определено тегло, лагерувано в стойка. За да се извърши изпитването, махалото се повдига на определена височина и се закрепва в това положение. Когато се освободи, махалото пада на долу, потенциалната му енергия се превръща в кинетична и ако на пътя му се постави пробното тяло, тази кинетична енергия отива в работа за разрушаването му.

Разрушаването има различен характер. При крехки материали пробата се разрушава без промяна на формата и размерите, а при жилавите се огъва в мястото на разрушаване и променя размерите си.

Ударната жилавост (КС) се дефинира като отношение на работата, необходима за разрушаването (К) и лицето на напречното сечение на образца (F) и се измерва в  $J/cm^2$ .

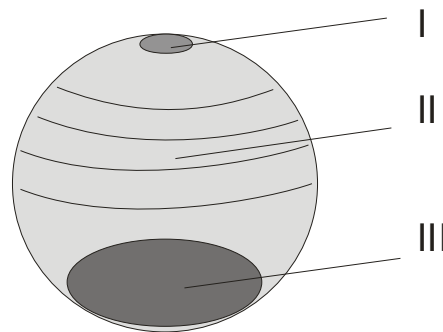
### **Циклични изпитвания**

По време на експлоатация повечето детайли са натоварени със сили, които се променят периодично по големина (пулсиращо натоварване) или по големина и посока (знако променливо натоварване).

В резултат на такова натоварване в материалите протича процес на постепенно натрупване на повреди. Това води до образуването и развитието на пукнатина, която може да нарасне или не, но ако нарасне, може да предизвика разрушаване. Този процес се нарича умора на материала. Разрушаването

може да настъпи при напрежения по-ниски дори от границата на провлачане на материала. Над 80 % от разрушаванията в техниката настъпват в резултат на умора на метала.

За настъпилото уморно разрушаване се съди по уморния лом (фиг. 3.8), в който се установява наличието на 3 зони – зона на зараждане, на разпространение на уморната пукнатина и зона на окончателно разрушаване. Обикновено между II и III зона се установява и една преходна зона, която обаче с просто око се забелязва трудно.



Фиг. 3.8. Уморен лом

Физическият смисъл на това разрушаване все още не е съвсем ясен. Умората на материала се обяснява с възникването на микропукнатини около микродефекти в материала – шупли, драскотини от обработка и най-често около неметални включения от типа на  $Al_2O_3$ . Пукнатините могат да възникват и в места с концентрация на напрежения, например на границата между уякчен слой и сърцевина на метала. Зародените микропукнатини под действие на прилаганите циклични товари се допират, раздалечават периодично, трият се една в друга, така че магистралната пукнатина се разширява непрекъснато, като в крайна сметка детайлът се разрушава. Този процес може да продължи различно – понякога месеци, понякога години, в зависимост от свойствата на материала.

Умората на материала се характеризира с величина, наречена граница на умора. Това е най-високата стойност на напрежението, при което металът може да издържи неограничен брой цикли без да се разруши.

## ТЕМА 4.

### КРИСТАЛИЗАЦИЯ НА МЕТАЛИТЕ

#### ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Преминаването на метала от течно в твърдо състояние е съпроводено с образуването на кристали. Този процес се нарича кристализация.

В природата могат да протичат самоволно само тези процеси, които водят до образуване на състояние с по-малка свободна енергия в сравнение с изходната. Свободната енергия  $F$  се изразява с равенството:

$$F = U - TS,$$

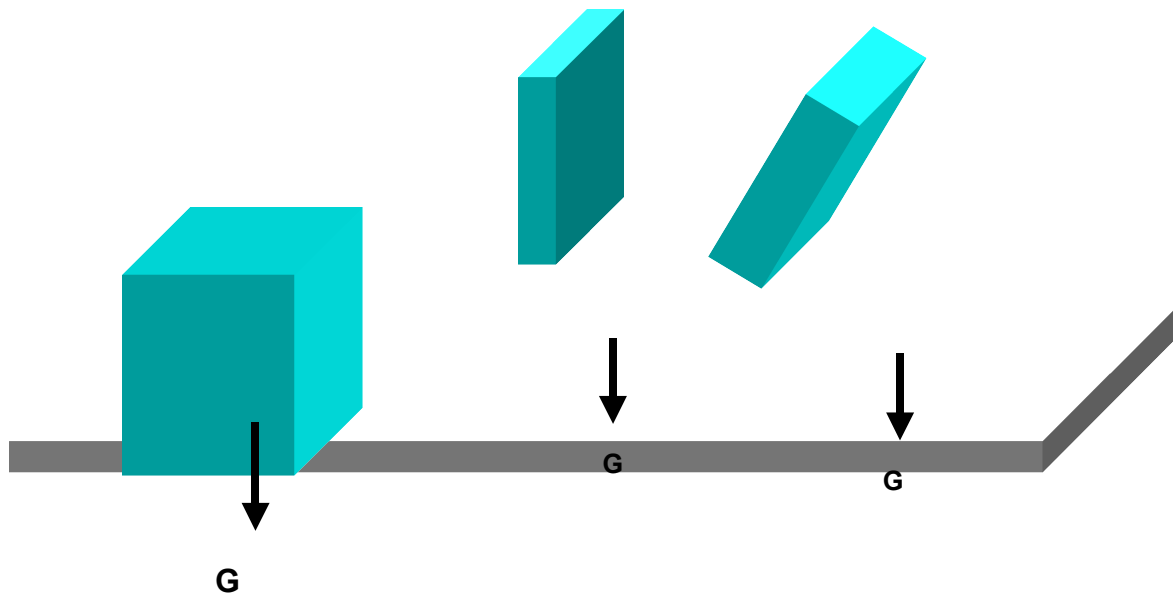
където  $U$  е вътрешната енергия на системата,  $T$  - абсолютната температура, а  $S = f(T)$  - ентропията на системата (термодинамична характеристика).

Би могло да се каже, че колкото е по-голяма свободната енергия на системата, толкова тази система е по-неустойчива. С изменение на външните условия, например температурата, свободната енергия на системата се изменя по сложен закон, който е различен за течното и за твърдото състояние.

Метастабилните системи се характеризират с отклонения на строежа им както в макро, така също и в микрообемите им. Тези отклонения, наречени в теорията на фазовите превръщания **флуктуации** (фиг. 4.1.), се изразяват в изменения на състава, в нарушаване на правилното конфигуриране на атомите в кристалите, в разпределението на вътрешните напрежения, в нееднородност на между атомните сили и т.н. Тези флуктуации според теорията на фазовите превръщания се разделят на два вида:

- **флуктуации от първи род** – отклонения свързани със значителни отклонения на енергията и в правилното атомно подреждане и концентрирани в малки обеми;
- **флуктуации от втори род** – отклонения свързани с незначителни отклонения на енергията и в правилното атомно подреждане и концентрирани в големи обеми.





Фиг. 4.1. Метастабилни системи с флуктуации от I род (а) и флуктуации от II род (б)

### МЕХАНИЗЪМ НА КРИСТАЛИЗАЦИОННИЯ ПРОЦЕС

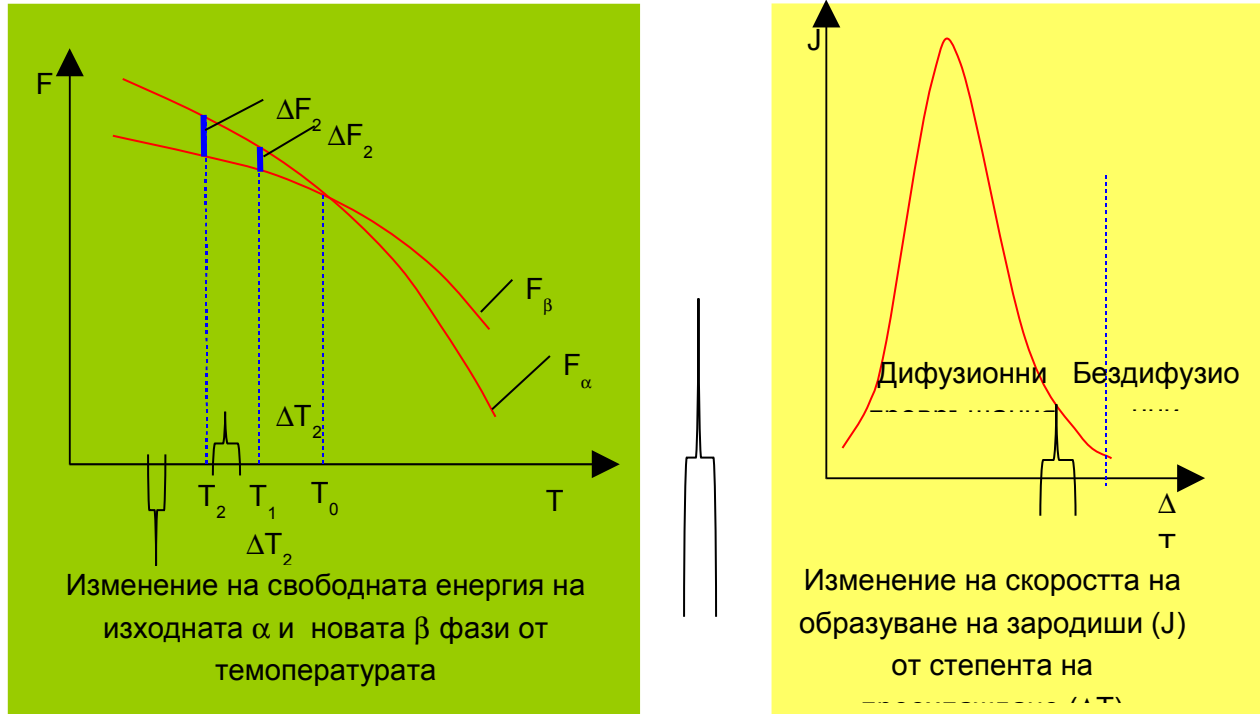
Кристализационният процес може да се разглежда в определена последователност.

Основните елементарни процеси при кристализация са два: образуване на зародиши и нарастване на образуваните кристали.

### Зараждане на кристалните зърна

#### Хомогенно зараждане

*Хомогенното зараждане има свършено случайния характер на зараждане на новата в обема на старата фаза. В основата на този вид “чисто” зараждане стои флуктуационния механизъм на образуване на зародиша.*



Фиг. 4. 2. Скорост и кинетика на зараждане на кристални зърна

Скоростта на зараждане и нарастване на зародиша на новата фаза зависи от два основни фактора (фиг.4.2):

а./ от броя на атомите (атомните групировки) с повишена енергия спрямо средната стойност за цялата система, т.е. от броя на положителните енергийни флуктуации -n:

$$n=f_1(e^{-E/kT})$$

където:  $e^{-E/kT}$ -фактор на Болцман

$$n=f_1(e^{-DF/kT})$$

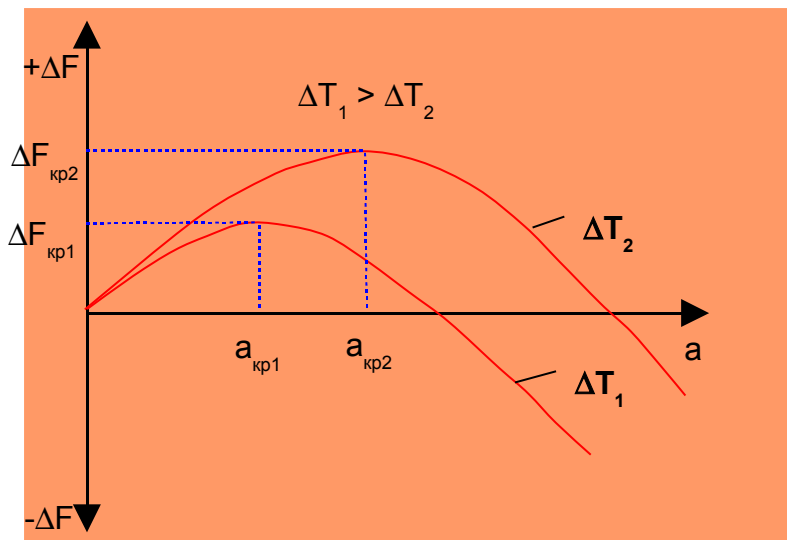
б./ от честотата на присъединяване на атоми от матрицата към зародиша на новата фаза – m:

$$m=f_2(e^{-Q/kT}), \quad \text{където:}$$

Q - енергия на активация на прехода на един атом от матрицата към зародиша на новата фаза през разделната фазова граница.

$$J = A \cdot n \cdot m = A \cdot f_1(e^{-DF/kT}) \cdot f_2(e^{-Q/kT}),$$

където: A – брой на атомите в единица обем на матрицата.



Фиг. 4. 3. Кинетични диаграми на зараждане на кристални зърна

Таман, изследвайки кристализацията на прозрачни органични вещества, е установил, че скоростта на зараждане на кристализационни центри ( $v$ ) и скоростта на нарастване на вече зародените кристали ( $v$ ) са в пряка зависимост от степента на преохлаждане на стопилката, което може да се проследи на фиг. 4.3. При теоретичната температура на кристализация ( $\Delta T$ ) образуване и нарастване на кристали няма, тъй като степента на преохлаждане е равна на нула. С нарастването на степента на преохлаждане и двете скорости нарастват и достигат максимална стойност, след което намаляват. При много големи скорости на преохлаждане, практически стават, равни на 0 и вместо в кристална стопилка, веществото се превръща в аморфна маса.

Нарастването на  $v_{нар}$  и  $v_{зар}$  при малки степени на преохлаждане се обуславя от това, че в близост до равновесната температура ( $\Delta T$ ) подвижността на атомите е много голяма. С увеличаване степента на преохлаждане в близост до равновесната температура нараства разликата в свободните енергии на течното и твърдото състояние и тя се явява двигател на процеса кристализация.

Свободната енергия в процеса на кристализация се мени по следния закон:

$$\Delta F = - V \cdot \Delta f + S \cdot s,$$

където  $V$  е общият обем на зародишите, равен на  $(4/3)pr^3n$  ( $r$  е радиусът на образуващите се кристализационни центри, а  $n$  - техният брой);  $\Delta f$  - разликата в свободните енергии на течното и твърдото състояние;  $S$  - общата повърхност на образуваните зародиши, която е равна на  $4pr^2n$  ( $r$  е радиусът

на кристализационните центри, а  $n$  - техният брой);  $s$ - повърхностното напрежение.

От това равенство следва, че за да се образува устойчив зародиш, неговият критичен радиус трябва да е равен на:  $r_k = 2s/\Delta F$ .

В началото на процеса кристализация увеличението на размера на зараждащия се кристал довежда до увеличаване на свободната енергия, тъй като обемът на зародиша все още е малък, а повърхността му е относително голяма. Но при определен критичен размер на зародиша стойността на свободната енергия започва да намалява. Процесът на кристализация обаче може да протича само при намаляване на свободната енергия и следователно ако се образува зародиш с размер, по-малък от критичния, той не може да расте. Ако се образува зародиш с размер, по-голям от критичния, той може да нараства, защото това води до намаляване на свободната енергия на системата.

При много бързо охлаждане се получава голямо преохлаждане и процесът на кристализация вече се извършва при много ниски температури, при които подвижността на атомите (скоростта на дифузията) е много малка. В този случай не може да се осъществи преход от хаотичното разположение на атомите в стопилката в правилно кристално подреждане.

Според Г. Таман големината на един кристал  $K$  е функция на отношението между линейната скорост на растежа на кристала  $v_{нар}$  и скоростта на образуване на кристализационни центрове  $v_{зар}$ .

$$K = f(v_{нар} / v_{зар}).$$

Критичният размер на зародиша се определя по формулата:

$$\Delta F_{об} = V \cdot \Delta f$$

където:  $\Delta F_{об}$ - разлика в свободните енергии при образуване на един кристал с обем  $V$  и разлика на специфичните свободни енергии  $\Delta f$  при определена температура. Под  $\Delta f$  се разбира свободна енергия на единица обем (химическа свободна енергия).

$$\Delta F_{нов} = S \cdot g$$

където:

$\Delta F_{нов}$ - повърхностна (междуфазова) енергия:  $S$  - площ на повърхността на зародиша на новата фаза;  $g$  - свободна енергия на единица площ (повърхностно напрежение).

$$\Delta F = \Delta F_{нов} - \Delta F_{об} = S \cdot g - V \cdot \Delta f$$

При малки степени на преохлаждане скоростта на нарастване на кристалите  $v_{нар}$  има по-голяма стойност от скоростта на образуване на кристализационни центрове  $v_{зар}$  и кристалите са с по-големи размери. С

увеличаване скоростта на охлаждане се увеличава значително скоростта на образуване на кристализационни центри и съответно се образува структура с дребно зърно.

Освен самоволното зараждане на зародиши, предизвикано от топлинната флукутация на атомите, се наблюдава и хетерогенно образуване на кристализационни зародиши. Стопилката изкуствено се обработва така, че да се създадат изкуствени кристализационни центри. По този начин може да се влияе както върху големината на кристалите, така и върху вида им. Този начин на обработване на стопилката се нарича модифициране, а прибавяните елементи - модификатори.

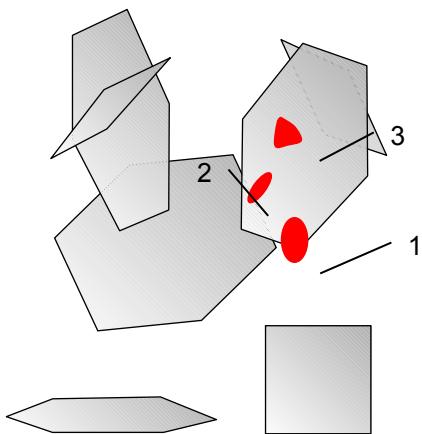
### **Хетерогенно зараждане – зараждане по граници, по дислокации, дефекти в подреждането и др.**

Има редица фактори, които могат да окажат съществено влияние на фазовите превръщания в твърдо състояние и особено в етапа на зараждането на новата фаза. Такива фактори се оказват наличието на **граници, кристални дефекти в структурата на матрицата, присъствието на чужди фази, пори, пукнатини и т.н.** Всички те могат да променят механизма на зараждане, но като цяло, ако зараждането е протекло под решаващото влияние на тези фактори, то се нарича *хетерогенно*.

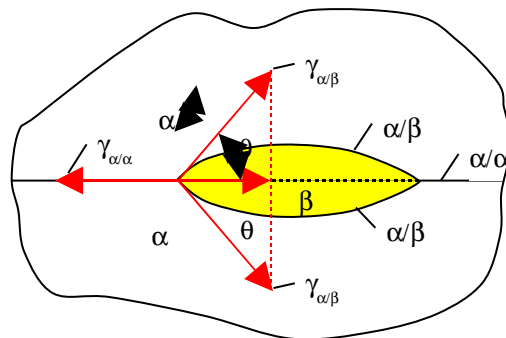
Различават се няколко възможни източници на зараждане на кристални зърна в твърдо състояние:

#### **Зараждане по границите на зърната**

Зараждане на новата фаза (b) на границата между две зърна (стена) на старата фаза (a) може да се проследи на фиг. 4.4.



Зараждане на новата фаза по стената(1), ръба (2) и върха (3) на полиедричното зърна на матрицата



Зараждане на новата фаза (β) на границата между две зърна (стена) на старата фаза

Фиг. 4.4. Зараждане на нова фаза на границата на две зърна

Този процес се осъществява, ако е изпълнено условието:

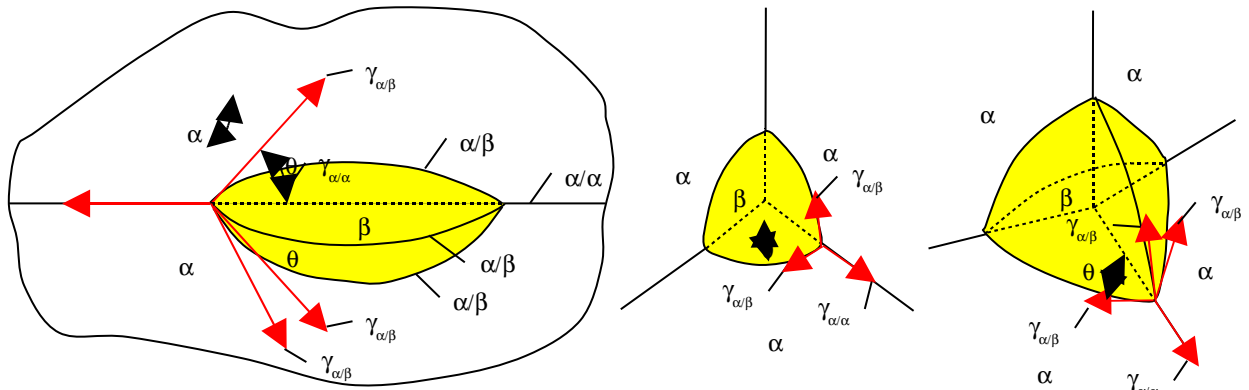
$$\cos \theta = \frac{\gamma_{\alpha/\alpha}}{2\gamma_{\alpha/\beta}}$$

$$1 = \frac{\gamma_{\alpha/\alpha}}{\gamma_{\alpha/\beta}} = 2 \cdot \cos \theta$$

$$(\Delta F_{кр})_{ст} = \frac{4}{3} \cdot \rho_{кр} \cdot 2 \cdot g \cdot \kappa_1$$

Зараждането на новата фаза може да настъпи по стената, ръба или върха на полиедричните зърна на металната матрица (фиг. 4.5).

Зараждане на новата фаза (b) на границата между три зърна (на ръба) (a,б) и между четири зърна (на върха) (в) от полиедричната структура на старата фаза (a) (фиг. 4.5).



Фиг. 4.5. Зараждане на новата фаза (b) на границата между три зърна (на ръба) (a,b) и между четири зърна (на върха) (в) от полиедричната структура на старата фаза (a)

За да настъпи зараждане на границата между 3 зърна трябва да са изпълнени следните условия:

$$(\Delta F_{кр})_0 > (\Delta F_{кр})_{ст} > (\Delta F_{кр})_{ръб} > (\Delta F_{кр})_{върх}$$

( $\kappa_1 > \kappa_2 > \kappa_3$ ), където:

$$\kappa_1 = (\Delta F_{кр})_{ст} / (\Delta F_{кр})_0$$

$$\kappa_2 = (\Delta F_{кр})_{ръб} / (\Delta F_{кр})_0$$

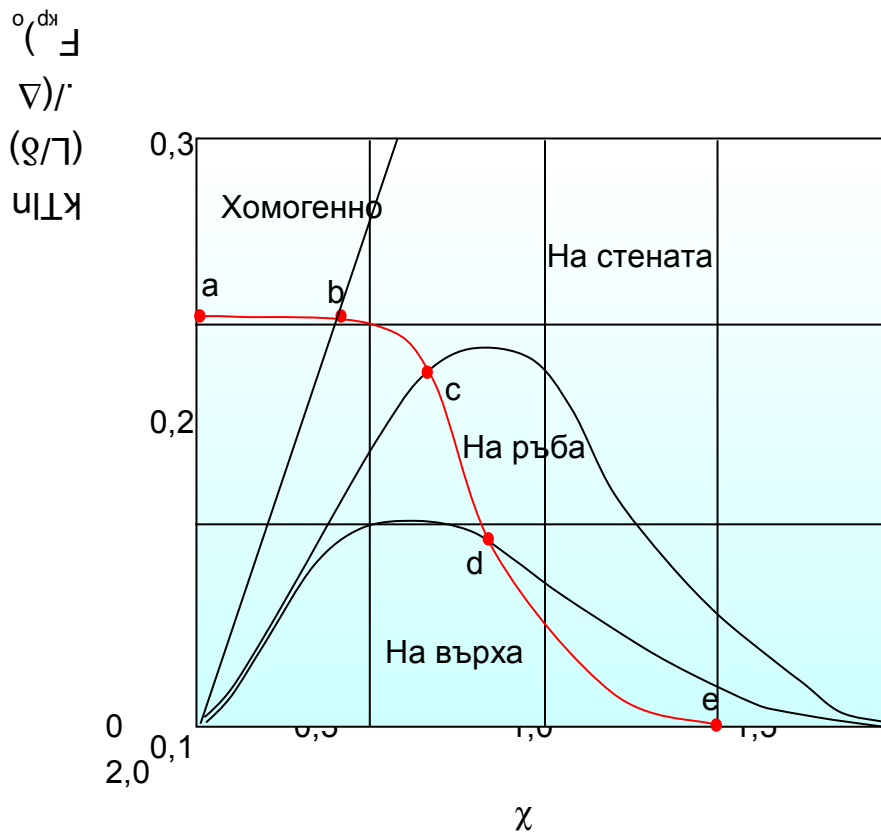
$$\kappa_3 = (\Delta F_{кр})_{върх} / (\Delta F_{кр})_0$$

- при  $q = \text{от } 0 \text{ до } 300$  и  $s = \text{от } O_3 \text{ до } 2$  – зараждане по стената;
- при  $q = \text{от } 300 \text{ до } \arcsin(1/O_3) \cdot 300$  и  $s = \text{от } 2O_2 / O_3 \text{ до } O_3$  – зараждане по ребрата;
- при  $q > \arcsin(1/O_3) \cdot 300$  и  $s < \text{от } 2O_2 / O_3$  – зараждане по върховете.

Колкото разликата между  $\gamma_{a/a}$  и  $\gamma_{a/b}$  е по-голяма, толкова вероятността за образуване на зародишите на новата фаза по стената или даже в обема на полиедричното зърно нараства.

Върху образуването на зародишите особено влияние оказва и движещата сила  $\Delta f$ . Колкото тя е по-голяма, толкова и вероятността за образуване на зародишите в обема на зърната е по-голяма. Т.к.  $\Delta f$  е в правопрпорционална зависимост от степента на преохлаждане, то следва, че при повишени скорости на охлаждане склонността на зародишите да се образуват в обема на зърната нараства. Следователно, хомогенното зараждане се благоприятства от малки  $s$ , големи зърна ( $L$ ) и големи степени на преохлаждане ( $\Delta T$ ), докато зараждането по върховете на зърната – при възможно най-големи  $s$ , дребни зърна и малки степени на преохлаждане.

На фиг. 4.6 е показана номограма за влиянието на термодинамичните и геометрични фактори върху месторазположението на зародиша на новата фаза, от която могат да се отчетат възможните условия за зараждане на кристално зърно на границата на 3 зърна.



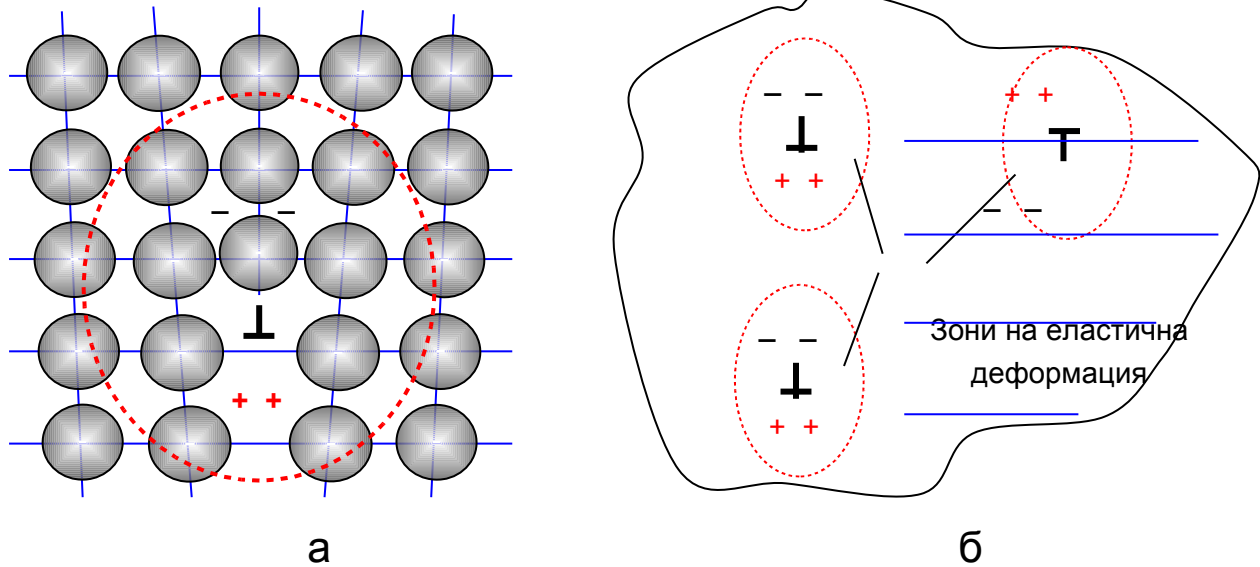
Фиг. 4.6. Номограма за влиянието на термодинамичните и геометрични фактори върху месторазположението на

### Зараждане по дислокации

Наличието на напрегнато силово поле около дислокацията действа компенсиращо на еластичната деформация, предизвикана от образуване и нарастване на зародиша на новата фаза. Силовите полета около дислокациите се пораждат в резултат на различната плътност на подреждане на атомите около нея. Това води до повишаване на вътрешната енергия на матрицата. От друга страна появата на нова фаза в обема на матрицата е също свързано с еластично деформиране на превръщания се обем и необходимата енергия за

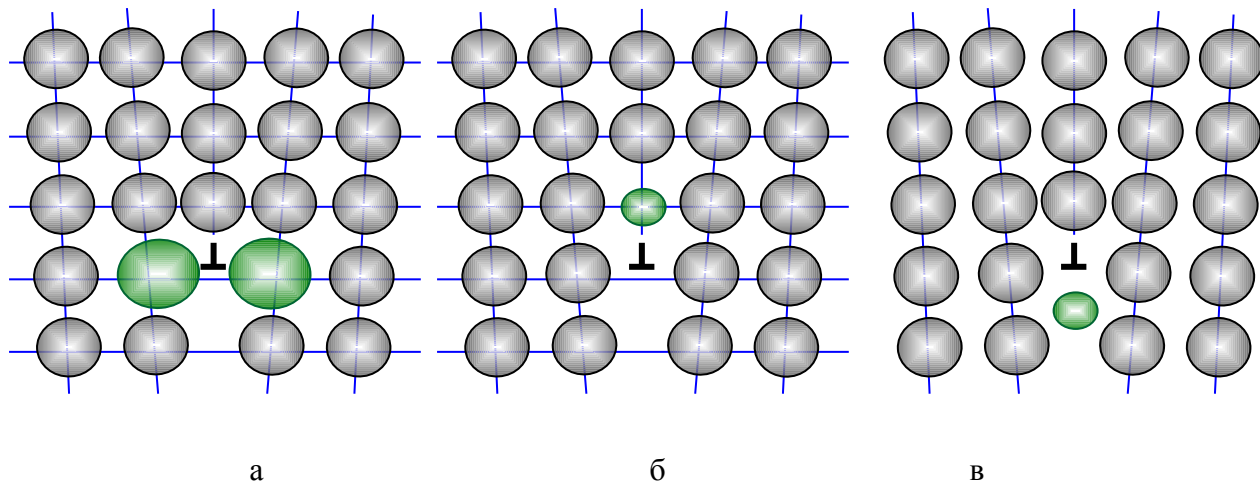


това еластично взаимодействие на двете фази се взема от натрупаната енергия около дислокацията (фиг. 4.7).



а б  
 Центри на силови полета около дислокациите  
 Фиг. 4.7. Зарядане около дислокациите

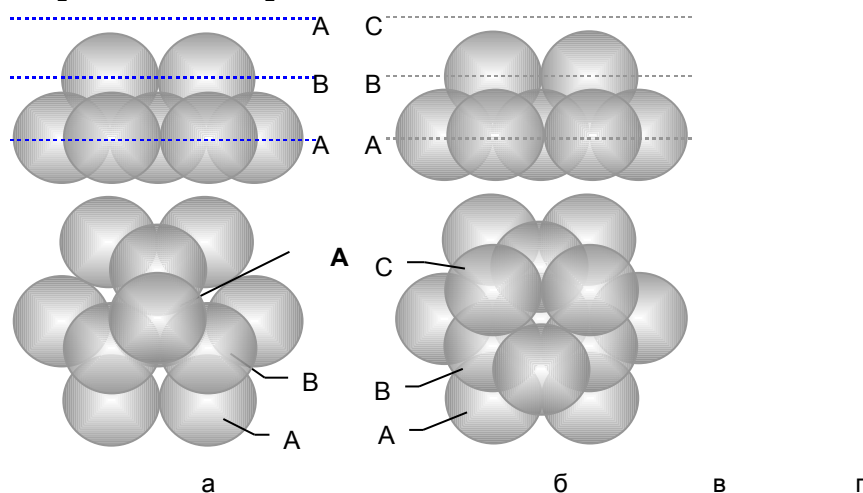
Нарушената атомна плътност на решетката на матрицата от наличието на дислокации създава условия за сегрегация в ядрата на дислокациите на атомите на легиращите елементи. Това взаимодействие на дислокациите с разтворените атоми на чуждите елементи се нарича *атмосфери на Котрел* (фиг. 4.8).



а б в  
 Фиг. 4. 8. Атмосфери на Котрел в твърди разтвори на заместване (а, б и в) твърди разтвори на вместване (в)

## Зараждане по дефекти в подреждането

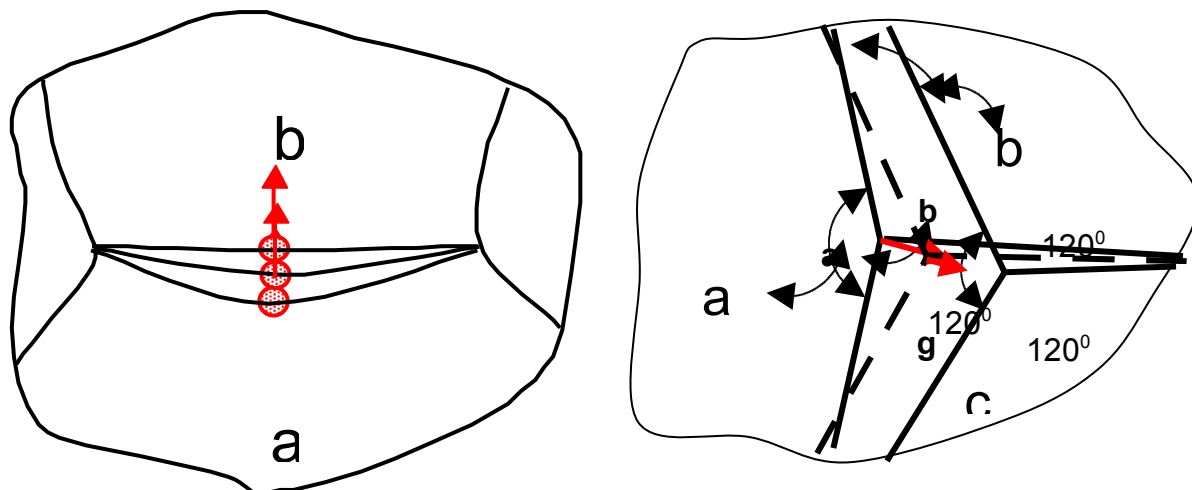
Дефектите в подреждането (опаковката) се такива кристални несъвършенства, при които се нарушава правилната последователност на подреждане на еднотипни кристалографски плоскости, в резултат на което се променя типа на кристалната решетка (фиг. 4.9). Обикновено дефекти в подреждането се получават при плътно опакованите плоскости. Така, например, ако в една фаза с РЦК решетка е нарушена последователността в подреждането на плоскостта (111), то в обема на тази фаза се получава прослойка с ХП решетка и обратно.



Фиг. 4.9. Атомен модел на образуването на ХП (а) и РЦК (б) решетки от последователното подреждане на плътноупакованите плоскости, съответно (0002) за ХП и (111) за РЦК и схематичното им изражение за ХП(в) и за РЦК (г)

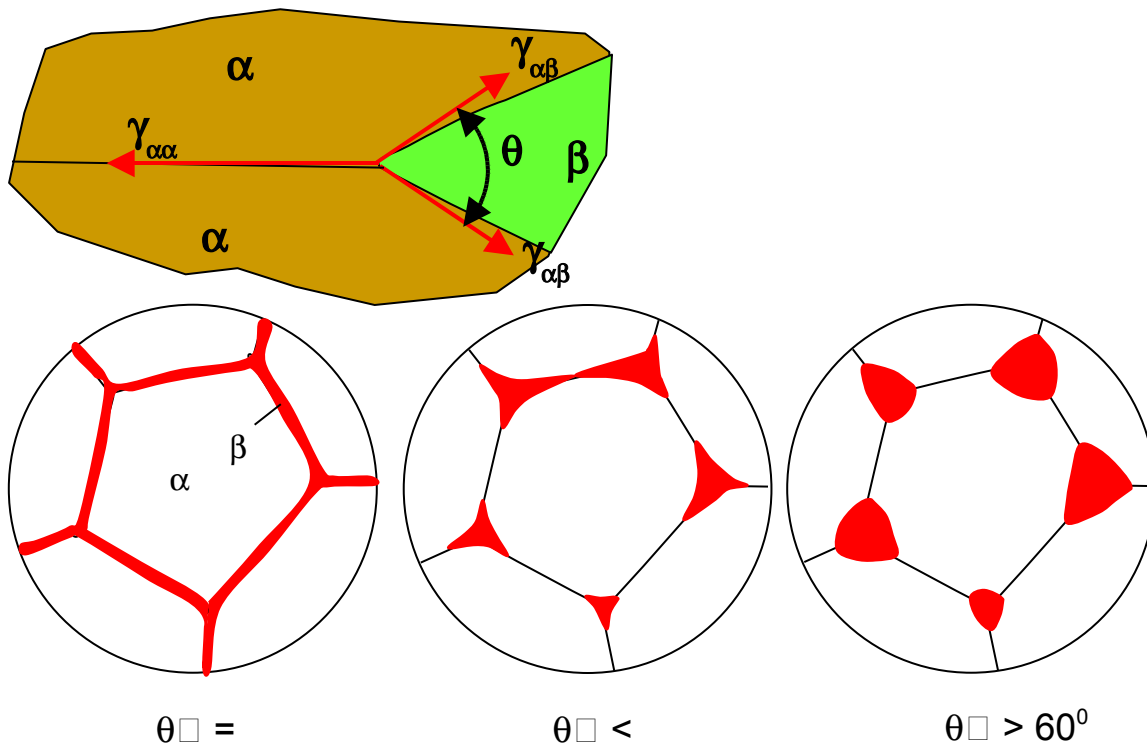
## Нарастване на кристалните зърна

Нарастването на образуваните вече зърна е термодинамически обосновано от две основни предпоставки: *първо* - с увеличаване на обема на новата фаза с по-ниска свободна енергия намалява общото количество върешна енергия на сплавта и *второ* - с увеличаване големината на зърната намалява общата специфична повърхност, което също води до намаляване на общото количество върешна енергия на сплавта.



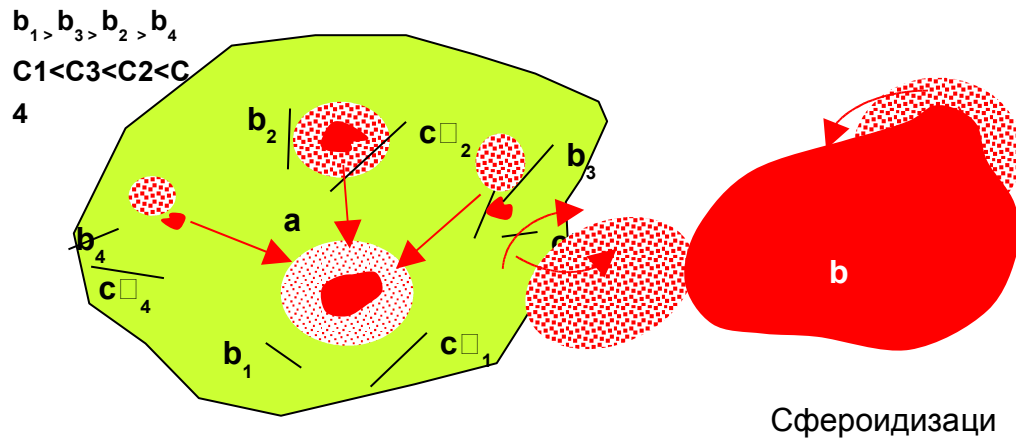
Фиг. 4.10. Превръщане на криволинейната граница в плоска от стремежа ѝ да намалява площта си и изравняване на стенните ъгли на  $120^\circ$  и посока на движение на реброто

Движението на фазовите граници, обезпечаващо нарастване на зърната на новата фаза се извършва по различни механизми в зависимост от вида и характера на фазовото превръщане. При дифузионните фазови превръщания това движение се извършва от реална високоъглова фазова граница и е свързано с непрекъснат обмен на атоми от старата към новата фаза, докато при полиморфните бездифузионни превръщания, тази граница е кохерентно свързана с матрицата и нейното движение е свързано с едно колективно прегрупиране на атомите, запазвайки своите съседи но обезпечаващи смяна на типа на кристалната решетка.



Фиг. 4.11. Схема, показваща равновесието на повърхностните напрежения на фазовата граница между новата фаза (b) и матрицата (a)

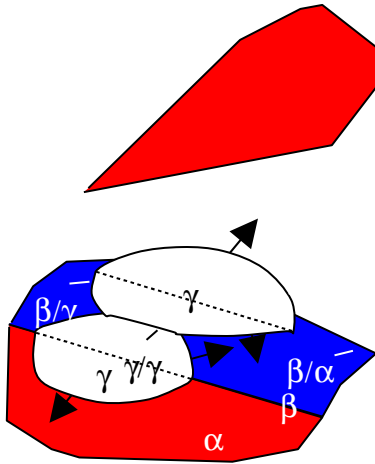
$$\gamma_{\alpha/\alpha} = 2 \cdot \gamma_{\alpha/\beta} \cdot \cos(\theta/2)$$



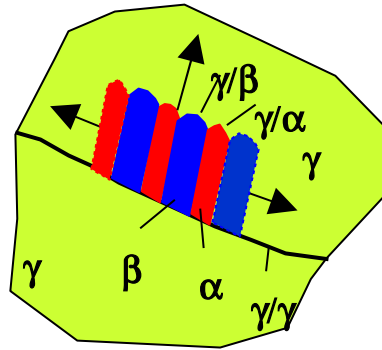
Фиг. 4.12. Схема на нарастване на частиците на b-фазата по механизма на коагулация и сфероидизация

В случаите на отделяне на вторични фази от преситен твърд разтвор, се наблюдава нарастване на частиците на отделената фаза по механизма на коагулацията.

При условия:  $\beta_1 > \beta_3 > \beta_2 > \beta_4$  и  $C_1 < C_3 < C_2 < C_4$ , нарастването на зърната настъпва по следния механизъм (фиг. 4.13).



Фиг. 4.13. Нарастване на новата фаза в обема на двуфазен кристалит



Фиг. 4.14. Нарастване на двуфазен кристалит при

Съгласно Томсон-Фрейндлих процесът на нарастване на частиците по метода на коагулацията протича по правилото:

$$cr/c\infty = 2g \cdot V/kTr,$$

където:  $cr$  – концентрация на твърдия разтвор до фазовата граница с частица с радиус  $r$ ;

$c\infty$  – концентрация на твърдия разтвор до плоска фазова граница;

$g$  – повърхностно напрежение на фазовата граница;

$V$  – атомен обем.

Процесът на сфероидизация според Лифшиц-Слезов се подчинява на:

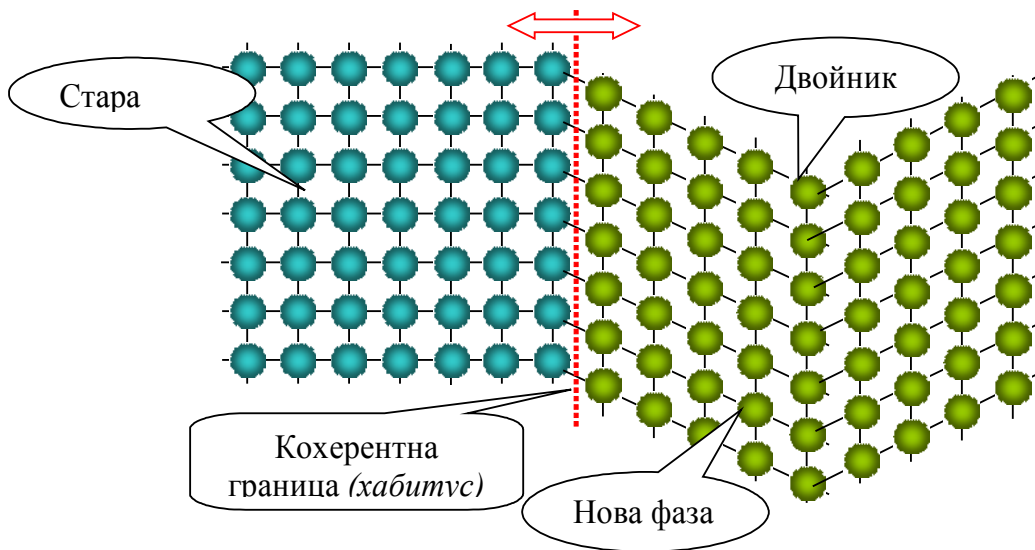
$$r_3 = r_0 \left[ 3 + (8D g c\infty V^2)/9kT \right]$$

където:  $r$  – среден радиус на частиците след коагулацията;  $r_0$  – среден начален радиус на частиците преди коагулацията;  $D$  – коефициент на дифузия;  $g$  – повърхностно напрежение на фазовата граница;  $c\infty$  – концентрация на твърдия разтвор до плоска фазова граница;  $V$  – обем на отделените частици, отнесен на един атом от легиращия елемент.

Движението на фазовата граница при нонвариантни фазови превръщания протича по два възможни начина: чрез нарастване на новата фаза в обема на двуфазен кристалит и чрез нарастване на двуфазен кристалит при разпадане на твърд разтвор (фиг. 4.14).

### Движение на кохерентни фазови граници

Нарастването на кохерентно свързана фаза с матрицата в обема ѝ се обезпечава чрез движение на кохерентната фазова граница. Това движение се извършва с голяма скорост и без масопенос. Именно поради това този механизъм на нарастване на новата фаза е характерен за бездифузионните полиморфни превръщания, наречени още *мартензитни*. Кохерентната фазова граница между новата и старата фази се осъществява по дадена кристалографска плоскост, която се явява еквивалентна за двата кристала. Преместването на тази кристалографска плоскост се извършва чрез едно колективно прегрупиране на атомните връзки без атомите да сменят съседите си, така че да се получи трансформация на кристалната решетка (фиг. 4.15).



Фиг.4.15. Нарастване на кристално зърно чрез движение на кохерентна граница

## ТЕМА 5. ДИАГРАМИ НА СЪСТОЯНИЕТО НА СПЛАВИТЕ

При сплавяне на два или повече елементи в течно състояние между тях може да съществува неограничена (пълна) разтворимост, ограничена разтворимост и пълна неразтворимост. Тъй като на практика намират приложение само сплавите с пълна разтворимост в течно състояние, те ще бъдат обект на разглеждане в този курс. Елементите (компонентите) на тези сплави след втвърдяване, т.е. в твърдо състояние, образуват както вече беше споменато, твърди разтвори, химични съединения и механични смеси. Нагледното изобразяване на тези фази и структури, както и превръщанията, които настъпват в металните сплави при изменение на температурата, става чрез диаграми, наречени **диаграми на състоянието на сплавите** (ДСС). По диаграмата на състоянието на сплавите може да се определи количественото съотношение, както и съставът на фазите, намиращи се в равновесие, в зависимост от температурата и концентрацията на компонентите, които изграждат съответната система. Така също от диаграмата могат да се отчитат температурата на топене, температурата на втвърдяване и на алотропните превръщания на съответната сплав. Всяка точка от диаграмата показва състоянието на съответна сплав при дадена температура и определена концентрация. Изучавайки произхода на структурата на определена сплав, може да се установи връзката между тази структура и физико-химичните, механичните и технологичните свойства на сплавта, което е от изключително значение за приложението и' в практиката.

В зависимост от броя на компонентите, участващи в изграждането на сплавите, се различават двукомпонентни, трикомпонентни и т.н. В съответствие с това диаграмите (координатните системи) също могат да бъдат едно- (чист метал), дву-, три- и повече компонентни. За простота и лесно разбиране ще разгледаме двукомпонентните системи **при постоянно налягане**. Принципите и правилата при изграждането им обаче са валидни за всички диаграми.

### МАТЕРИАЛИ В РАВНОВЕСИЕ

Някои метали намират приложение в практиката в почти чист вид. Много по-широко разпространение обаче имат сплавите, които притежават по-добри и разнообразни механични и технологични свойства. Свойствата на сплавите могат да се регулират в много широки граници в зависимост от състава им.

*Сплавите* представляват сложни вещества, изградени от два или повече метала или от метали и металоиди. Наименованието сплав означава, че

сложното вещество се получава чрез смесване /сплавяне/ на елементите в течно състояние, въпреки че в някои случаи може да се образува и по друг начин. Отделните елементи (метали или металоиди), от които се състоят сплавите, се наричат техни *компоненти*. Компонентите могат да бъдат химически елементи или устойчиви химически съединения. Такова химично съединение, например, е желязният карбид  $Fe_3C$  в желязо-въглеродните сплави.

*Система* е всяко физично тяло (или група от тела), което съществува самостоятелно и изолирано при определени външни условия. Тези условия са състав, температура и налягане. Системата може да се състои от течно, твърдо или газообразно състояние или всякакви комбинации между тях и може да включва метали и неметали поотделно или всякакви комбинации от тях.

При образуването на сплавите елементите се смесват чрез дифузия и се получават еднородни тела, наречени фази. Или *фазата* е физичното състояние в една хетерогенна система, която е с едно и също агрегатно състояние, идентичен термодинамичен потенциал и е отделена от останалите части с разделна повърхнина. Преминаването от една фаза в друга е свързано със скокообразно изменение на структурата или на химичния състав.

*Равновесно* в една система е състоянието, което притежава минимална свободна енергия при всяка комбинация на състав, температура и налягане. Промяната дори само на един от факторите би довела до увеличаване на свободната енергия, което означава излизане от равновесното състояние. Следователно спонтанна промяна в системата, когато е в равновесие, е невъзможна.

Друго понятие в теорията на сплавите е *степен на свобода*. Под степен на свобода се разбира броят независими променливи, чиито стойности могат да дефинират състоянията в системата. В този смисъл броят на компонентите и концентрацията им в системата са зависими променливи, тъй като те се определят при означаването на системата. Обикновено за независими променливи се смятат температурата, налягането и концентрацията.

### **Правило на Гибс**

Общите закономерности за съществуването на устойчиви фази, които да отговарят на теоретичните условия на равновесие, могат да се изразят в математична форма чрез правилото на фазите, или т. нар. закон на Гибс. Това правило дава количествената зависимост между степените на свобода  $S$  и броя на фазите  $f$  и на компонентите  $k$  в системата:



$C = k - f + 2$ , където 2 отразява влиянието на температурата и налягането. Ако се приеме, че всички промени с металите стават при постоянно налягане, формулата добива вида

$$C = k - f + 1.$$

C буквата C се означава броят на *степените на свобода* или това е броят на независимите променливи величини (температура, налягане, концентрация), които могат да се променят, без да се нарушава равновесието в системата.

Например при еднокомпонентна ( $k = 1$ ) двуфазна ( $f = 2$ ) система  $C = 1 - 2 + 1 = 0$  степени на свобода. Тази система се нарича *нонвариантна*. Това означава, че при промяна на температурата неминуемо ще изчезне едната фаза. Следователно една еднокомпонентна система може да бъде *нонвариантна* само при температурата на топене, когато са в равновесие една течна и една твърда фаза. Под и над тази температура системата е *еднофазна* със  $C = 1 - 1 + 1 = 1$  степен на свобода. Това е *моновариантна* система и при нея температурата може да се изменя в определени граници, без да се изменя фазовият състав на системата.

### **Фази в многокомпонентни системи**

В зависимост от разтворимостта на компонентите сплавите могат да образуват различни структури: течен или твърд разтвор, механична смес, химично съединение и др.

**Течен разтвор. Течните разтвори** са в повечето случаи неограничени смеси на компонентите на сплавите в течно състояние.

**Твърди разтвори. Твърдите разтвори** са структури на сплавите, при които една от компонентите, наречена *разтворител*, запазва кристалната си решетка, а другата (или другите) отдава свои атоми в нея. Те имат една кристална решетка и затова са *еднофазни*. Получават се при различно процентно съдържание на компонентите.

Твърдите разтвори са два типа: твърд разтвор, получен чрез заместване на атоми в кристалната решетка на разтворителя или твърд разтвор, получен чрез вместване на атоми между атомите на разтворителя.

Твърдите разтвори, образувани чрез вместване, обикновено имат ограничена разтворимост. Те се получават само в случаите, когато атомите на разтворимия елемент (атоми с радиус  $r_N$ ), са значително по-малки от атомите на разтворителя ( $r_M$ ). Такива елементи са H, N, O, C, B, при които  $r_N/r_M < 0,59$ .

Разтворите, които се получават чрез заместване, са с неограничена или с ограничена разтворимост. Ограничена разтворимост имат повечето сплави и тази разтворимост намалява значително с понижаване на температурата.

Твърди разтвори с неограничена разтворимост могат да се получат само между компоненти от една и съща група в периодичната таблица на елементите, и при това, ако имат еднакви кристални решетки с близки по размери атоми и параметри.

При определени условия (бавно охлаждане) неподредените атоми в твърдите разтвори могат да заемат подредено положение - например Au - Cu. Тези разтвори се наричат подредени или *свърх структури*. Подредените твърди разтвори са преход между разтворите и химичните съединения.

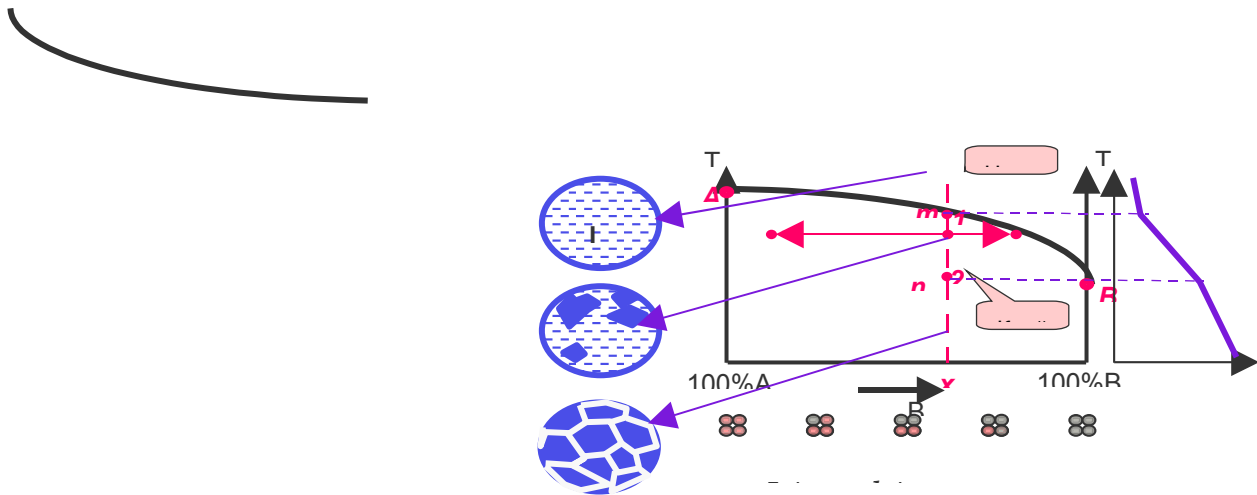
**Химични съединения.** Химичните съединения изграждат кристална решетка с подредено разположение на атомите, която е различна от решетките на изграждащите ги компоненти. Елементите влизат във взаимодействие при строго определено (стехиометрично) съотношение на масите им и това позволява съединението да се изразява с формула. Характерно за тях е, че имат точно определена температура на топене и свойства, различни от свойствата на изграждащите ги компоненти. При химично съединение, образувано от метални атоми, връзката между атомите е метална, а в съединения от метал и металоид - йонна.

**Фази на вместване.** Фазите на вместване са съединения на някои метали /Fe, Mn, Cr, W, Ti и др./ с неметални елементи, чиито атоми имат малки атомни радиуси /C, N, B/. Тези съединения съответно са карбиди, нитриди, бориди и притежават изключителна твърдост.

**Механична смес.** Механични смеси се образуват между компоненти, които са неразтворими в твърдо състояние и не встъпват в химична реакция. В този случай структурата на сплавта се състои от чисти кристали на едната и другата компонента. Свойствата на получената сплав зависят от количественото съотношение на компонентите и от формата на кристалните зърна.

## ДИАГРАМА НА СЪСТОЯНИЕТО НА СПЛАВИТЕ С ПЪЛНА РАЗТВОРИМОСТ НА КОМПОНЕНТИТЕ В ТВЪРДО СЪСТОЯНИЕ

Диаграмата на състоянието на сплавите в случая на **пълна разтворимост на компонентите А и В в твърдо състояние** се вижда на фиг. 5.1.



Фиг. 5.1. ДСС при пълна разтворимост в твърдо състояние

В диаграмата могат да се различат три фазови състояния:

- Стопилка - L,
- твърд разтвор –  $\alpha$  и  $\beta$
- чисти метали – А и В.

Стопилката (L) съществува над налиiquidус линията. Под *ликвидус* се разбира най-горната линия в диаграмата, над която всички сплави и метали са в стопено състояние. Линията, под която всички сплави са в твърдо състояние се нарича *солидус*. Под солидус линията съществува само устойчиво твърдо състояние, тъй като свободната му енергия е по-малка от тази на стопилката. Между ликвидус и солидус линиите се намират в равновесие две фази - стопилка L и  $\alpha$ -твърд разтвор.

При охлаждането на чистия метал А се установява, че до температура  $T_A$  стопилката равномерно се охлажда, след което тази температура се запазва постоянна ( $C=1+1-2=0$ ) до пълната кристализация на метала. След  $T_A$  температурата отново се понижава равномерно. По същия начин протичат процесите при метал В (крива В на същата фигура).

Не така обаче протичат процесите на охлаждане на сплав х. До температура  $t_1$  се охлажда стопилката, след което започва процесът на кристализация и на кривата се установява промяна на наклона. Това е свързано с намаляване на скоростта на охлаждане вследствие отделената скрита топлина на кристализация.

Следователно, започвайки в  $t_1$  от стопилката се отделят кристали на  $\alpha$ -твърдия разтвор, при което степените на свобода са равни на 1. Достигайки  $t_2$ , сплавта кристализира и при по-ниски температури съществува само  $\alpha$ -твърд разтвор.

В процеса на кристализация се мени не само съставът на фазите, но и количественото им съотношение. В произволна точка на диаграмата е възможно да се определят концентрацията и количеството на всяка фаза, като за целта се използва правилото на отсечките или т.нар. *лостово правило*.

Съгласно първия постулат на лостовото правило **концентрацията** на компонентите във фазите за дадена точка се определя, като се прекара изотерма през точката до пресичане на линиите, ограничаващи областта (в нашия случай изотермата  $(b_3-c)$ , и се спусне перпендикуляр до пресичане на хоризонталната права. Концентрациите се отчитат по скалата за съответната компонента.

Съгласно втория постулат на правилото **количествените** съотношения на фазите, намиращи се в равновесие, са обратно-пропорционални на отсечките, на които се дели изотермата от разглежданата точка.

Съотношението между количеството на двете фази се намира чрез прилагане на втория постулат на лостовото правило илюстрирано в долната част на фиг. 5.1. Разглеждаме изотермата  $(b_3 - c)_3$  като рамо на лост от втори род. Пълната дължина на линията представлява цялото тегло (100%) на двете фази, съществуващи при  $a_3$ . Вертикалната линия, представляваща разглежданата сплав а, дели изотермата на две части: дясна - от т.  $c_3$  до т.2, която представлява течната фаза и лява - от т.1 до  $La$ , представляваща твърдата фаза. Забележете, че двете рамена лежат на обратната страна на фазите, които представляват!

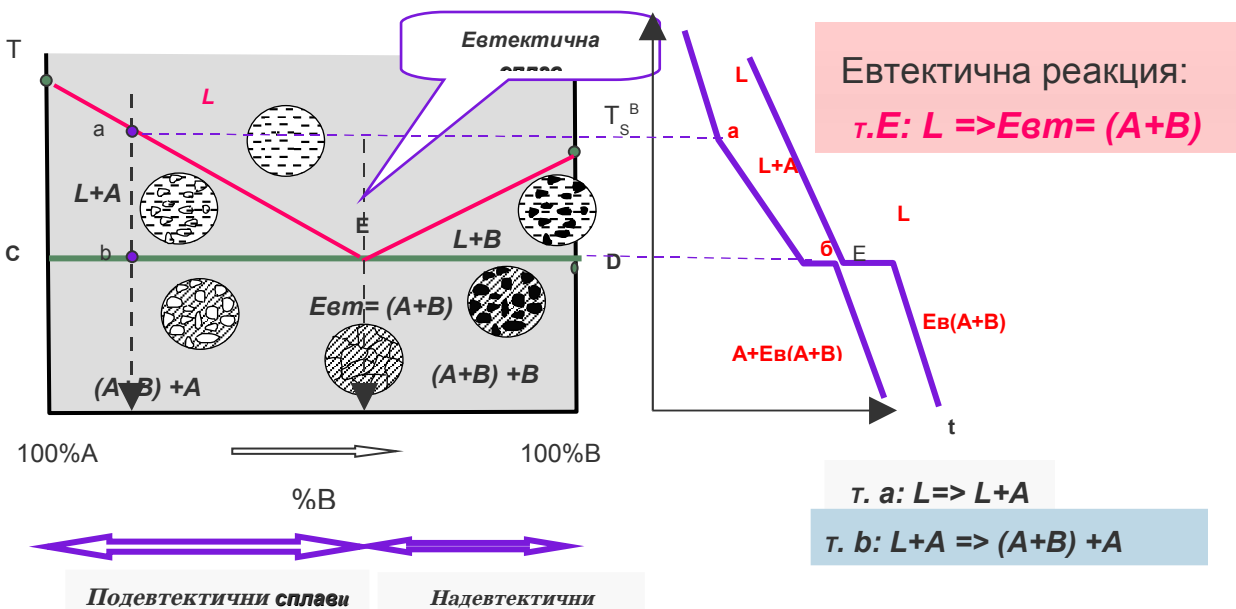
Трябва да се отбележи, че правилото е валидно само за двуфазни области.

Диаграма на състоянието на сплави с пълна разтворимост притежават например, системите Au-Cu, Cr-Fe, Fe-V, Ni-V и др.

### ДСС с пълна неразтворимост с евтектикум

Евтектичната реакция е една от няколко подобни реакции - перитектична, евтектоидна, перитектоидна и др. Всеки от тези термини включва четири характеристики: 1) специфична реакция; 2) специфична композиционна сплав; 3) специфична температура, при която възниква съответната реакция, и 4) характерна микроструктура. В този контекст всяка една от тези реакции протича при фиксирана температура и при точно определени концентрации на фазите, т.е. при 0 степени на свобода.

Евтектикум също крие поне четири значения: 1) означава изотермична реакция, при която при охлаждане от еднофазно течно състояние се отделят две различни твърди фази, т.е.  $L \rightarrow \alpha + \beta$ ; 2) означава самата сплав, която се получава в резултат на евтектичната реакция; 3) евтектична е и температурата, при която протича евтектичната реакция (изотермата в диаграмата); 4) накрая, като евтектум се означава микроструктурата, която е продукт на евтектичната реакция, т.е. всеки евтектикум има характерна микроструктура, представляваща механична смес (фиг. 5.2).



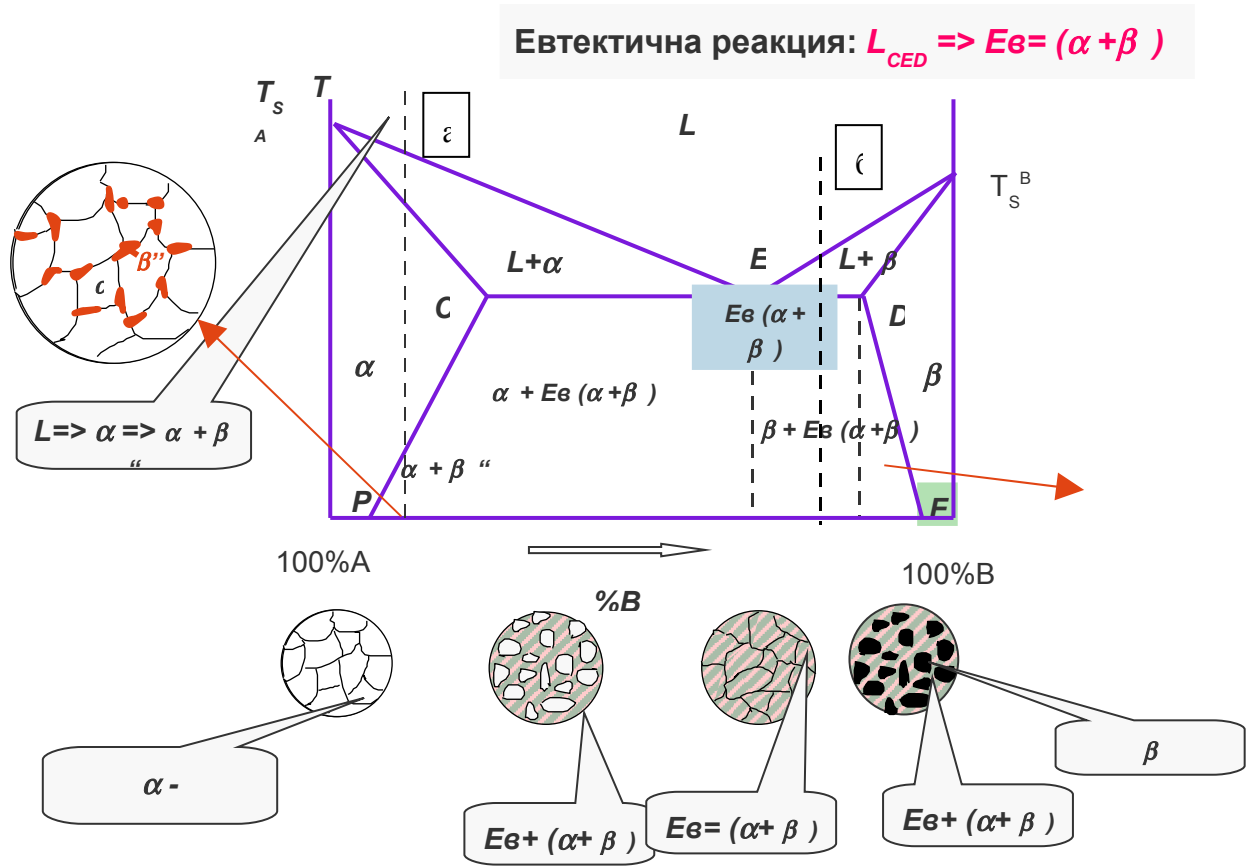
Фиг. 5. 2. ДСС при пълна неразтворимост в твърдо състояние с евтектикум

Диаграма на система, при която съществува ограничена неразтворимост между компонентите в твърдо състояние е показана на фиг. 5.2. В този случай евтектикумът се състои от чисти А и В-кристали.

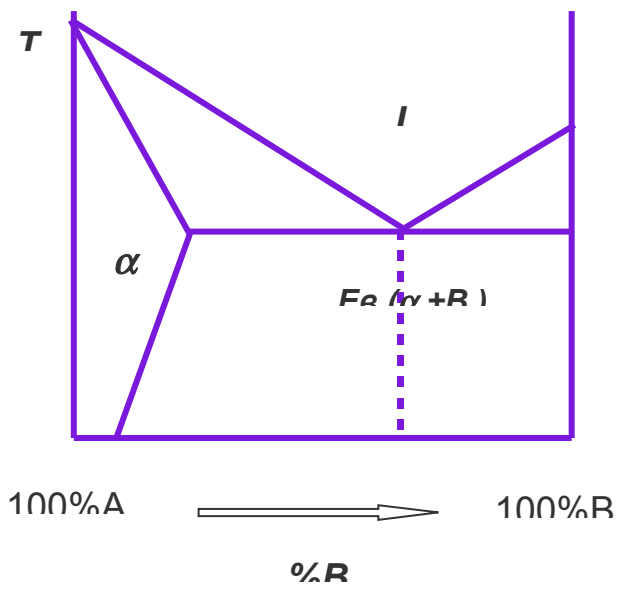
### **ДСС с ограничена разтворимост с евтектикум**

Ако сплав **a** (подевтeктична - сплав, лежаща наляво от евтектичната) се охлажда равновесно (т. е. с много малка, почти незабележима скорост на охлаждане), при пресичане на ликвидус линията от стопилката започват да се отделят  $\alpha$ -твърди кристали (фиг. 5.3). Тази  $\alpha$ -фаза не се състои от чисти  $\alpha$ -кристали, а представлява твърд разтвор на атоми В в кристалната решетка на А. Процесът на отделяне на  $\alpha$ -кристали продължава до достигане на евтектичната температура  $T_E$ . След това от останалата стопилка започват едновременно да се отделят  $\alpha$ - и  $\beta$ -кристали при постоянна температура  $T_E$ , т.е. протича евтектична реакция. Структурата на сплавите при стайна температура е:  $\alpha + (\alpha + \beta)$ . Структурата  $(\alpha + \beta)$  представлява евтектикумът на тази система и се образува в чист вид при охлаждането на сплав е до  $T_E$ . При тази температура степените на свобода са равни на 0 ( $C=2-3+1=0$ ). Сплав **б**, достигайки до  $T_E$  при охлаждане започва да отделя от стопилката също смес от  $(\alpha + \beta)$ -кристали. Всички сплави като **б**, лежащи надясно от евтектичната, се наричат надевтектични и имат състав  $\beta + (\alpha + \beta)$ .

Много често се срещат и диаграми на състоянието на сплавите с едностранна ограничена разтворимост (фиг. 5.4). При тях са валидни абсолютно същите правила като по-горе изброените.



Фиг. 5. 3. ДСС с ограничена разтворимост с евтектикум



Фиг. 5.4. ДСС с едностранна ограничена разтворимост в твърдо състояние

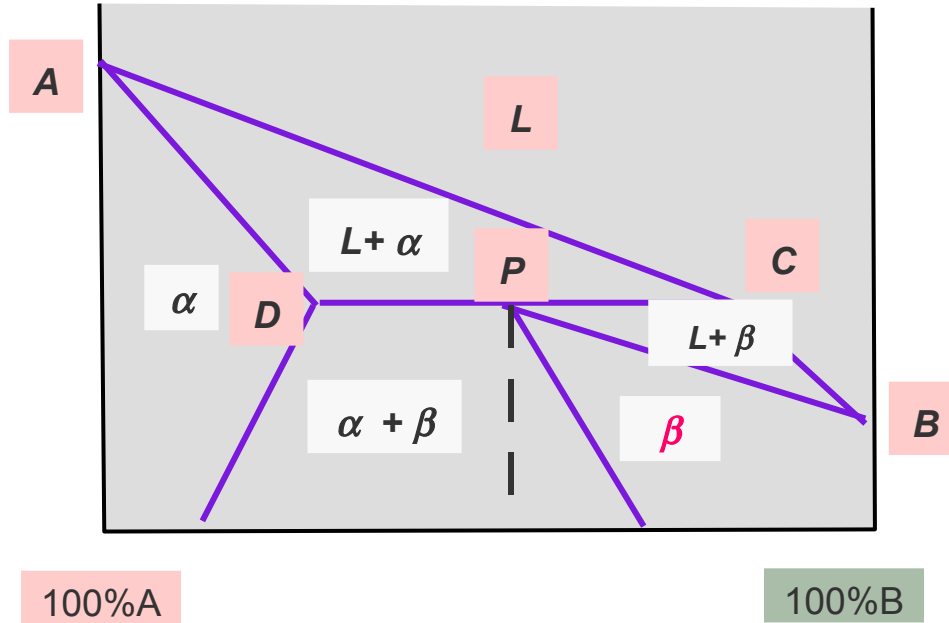
### Диаграма на състоянието на сплавите с перитектикум

При взаимодействието на една течна и една твърда фаза при охлаждане се получава нова твърда фаза (фиг. 5.5):

$L + \alpha$  - твърд разтвор  $\Rightarrow \beta$  - твърд разтвор или:

$L + \alpha \Rightarrow \beta$

Ново получената твърда фаза  $\beta$  се нарича **перитектична фаза**. Точка P се нарича перитектична точка, а изотермата DC – перитектична.

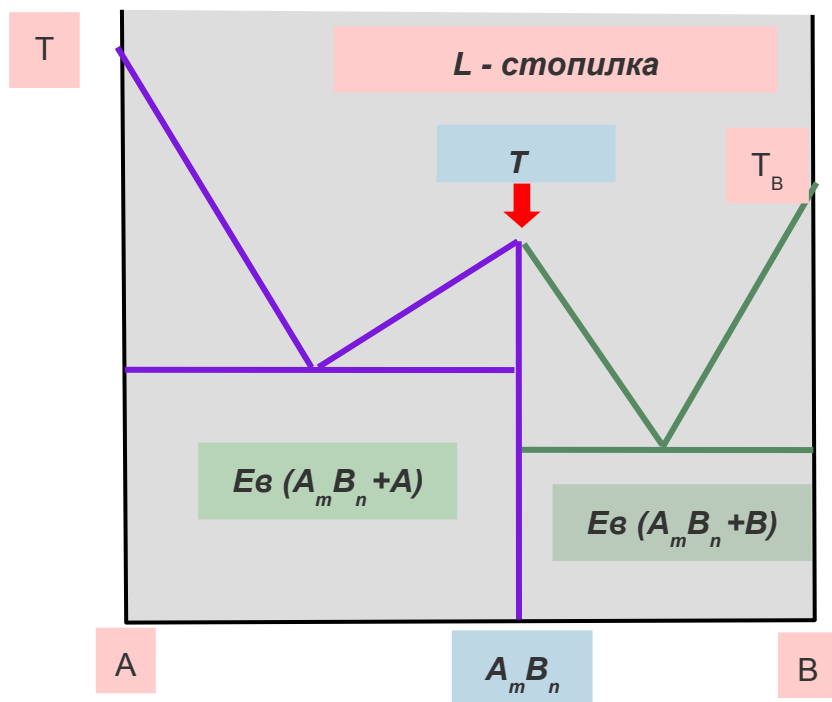


Фиг. 5.5. ДСС с перитектикум

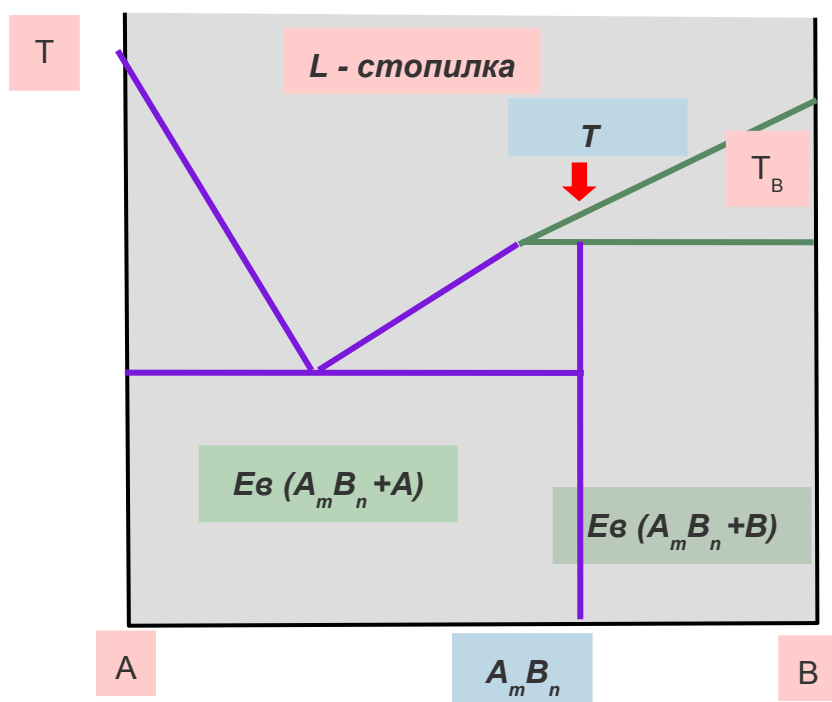
### Диаграма на състоянието на сплавите с химично съединение с открит максимум

Съществуват системи, при които при взаимодействие между две компоненти се образуват химични съединения. Пример за такова взаимодействие се наблюдава на фиг. 5.6. В резултат на взаимодействието между компонентите A и B при охлаждане на стопилката L при температура  $T_s$  се образува химичното съединение  $A_mB_n$ . Разглежданата диаграма се състои от 2 елементарни диаграми, които са с пълна неразтворимост с евтектикум. На фиг. 5.7. е показана диаграма с химично съединение с покрит максимум, където се образува перитектикум.





Фиг. 5. 6. ДСС с химично съединение с открит максимум



Фиг. 5.7. ДСС с химично съединение с покрит максимум

## **Аномалии при образуването на сплавите**

В реалните сплави процесите протичат при неравновесни условия, т.е. при охлаждане с неравновесна скорост. В резултат на това се получават структури с аномалии.

Най-често срещаната аномалия е химичната нееднородност в сплавите, която се нарича **ликвация**.

**Микроликвацията** се наблюдава във всички механични смеси и се изразява в количествена нехомогенност на елементите в определен участък.

**Дендритната** ликвация се получава при кристализация на твърди разтвори. Първите втвърдили се кристали са по-богати на трудно топимата компонента и те образуват главните оси на дендритите. Вторичните оси имат друг химичен състав, а между дендритните пространства са богати на лесно топимата компонента. Протичането на дифузионните процеси в твърдо състояние е затруднено и това е причина за появата на области с различен химичен състав.

При отливане на големи метални блокове сърцевината и главата на отливката остават богати на лесно топими примеси и този вид дефект се нарича **зонална** ликвация. Наличието на области с различен състав в отливката довежда до отслабване на механичните свойства.

Ликвацията по относително тегло (**тегловна ликвация**) е характерна за сплави с разлика на относителното тегло на компонентите, например при оловните бронзи. При бавно охлаждане по-тежката компонента остава на дъното на потата, а по-леката изплува на повърхността.

По принцип, по-голяма склонност към ликвация проявяват сплавите с по-дълъг кристализационен процес (по-голямо разстояние между ликвидус и солидус линиите) и сплавите, чиито компоненти имат близки температури на топене.

## **Връзка между свойствата на сплавите и вида на диаграмата на състоянието на сплавите**

Между различните видове диаграми на състоянието на сплавите и свойствата на дадена сплав съществува определена връзка. Този метод е особено полезен при създаване на нови сплави и изследването на техните свойства. На фиг. 5.8 са показани 4 основни вида диаграми и изменението на свойствата на сплавите в зависимост от промяната на концентрацията на компонентите (съгласно Н. Курнаков).

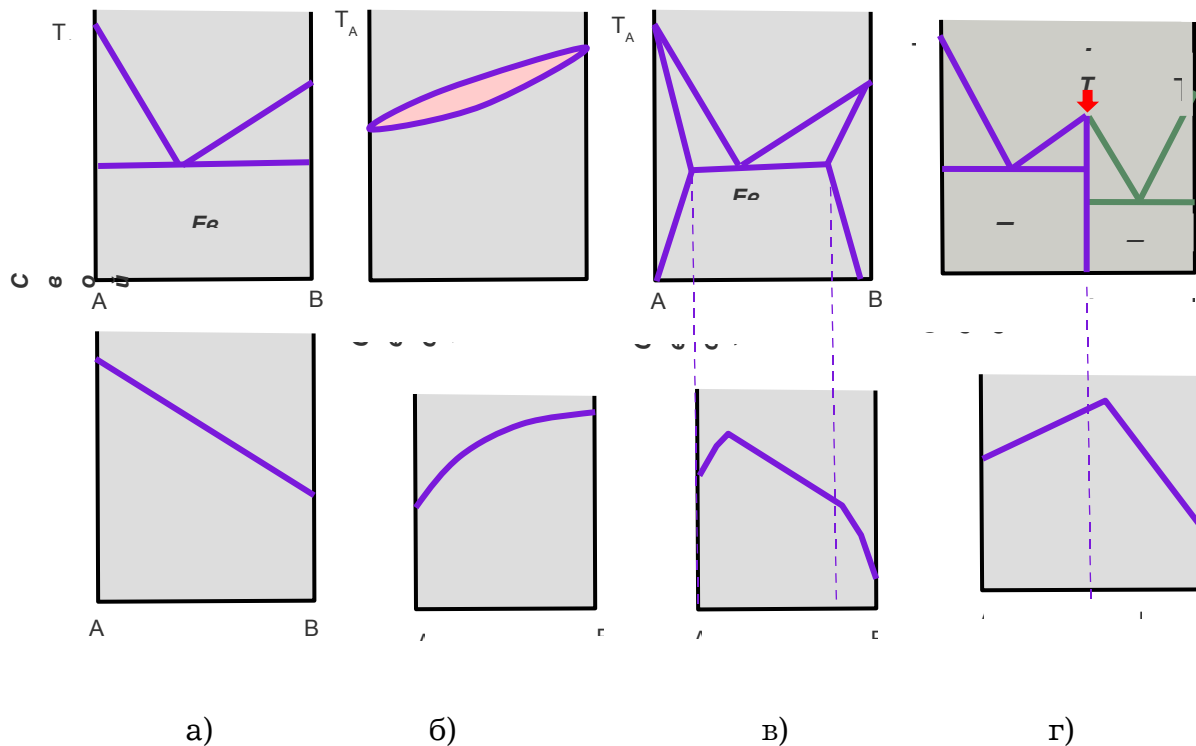
Образуването на сплав и нейните свойства в диаграма с пълна неразтворимост с евтектикум (фиг. 5.8, а) става по линейна зависимост.

Свойствата на сплавите са между свойствата на компонентите. Например, електропроводимостта на която и да е механична смес на сплавта се повишава над електропроводимостта на компонентата А до достигане тази на компонентата В.

Свойствата на сплавите, които образуват твърд разтвор (фиг. 5.8, б) се изменят нелинейно, като някои от свойствата се различават значително от тези на компонентите.

При диаграмата на състоянието с ограничена растворимост с евтектикум изменението на свойствата на сплавите е в зависимост от получаваната структура – ако сплавта е в интервала на твърдия разтвор, свойствата се изменят нелинейно; ако сплавта е в двуфазната област на диаграмата – по праволинеен закон (фиг. 5.8, в).

При образуването на химично съединение в диаграмата с координати „сплав – свойства“ (фиг. 5.8, г) свойствата на сплавите се определят от две прави с възходящ или низходящ характер. Максимумът или съответно минимумът се намира в мястото на химичното съединени.



Фиг. 5.8. Връзка между ДСС и свойствата на сплавите

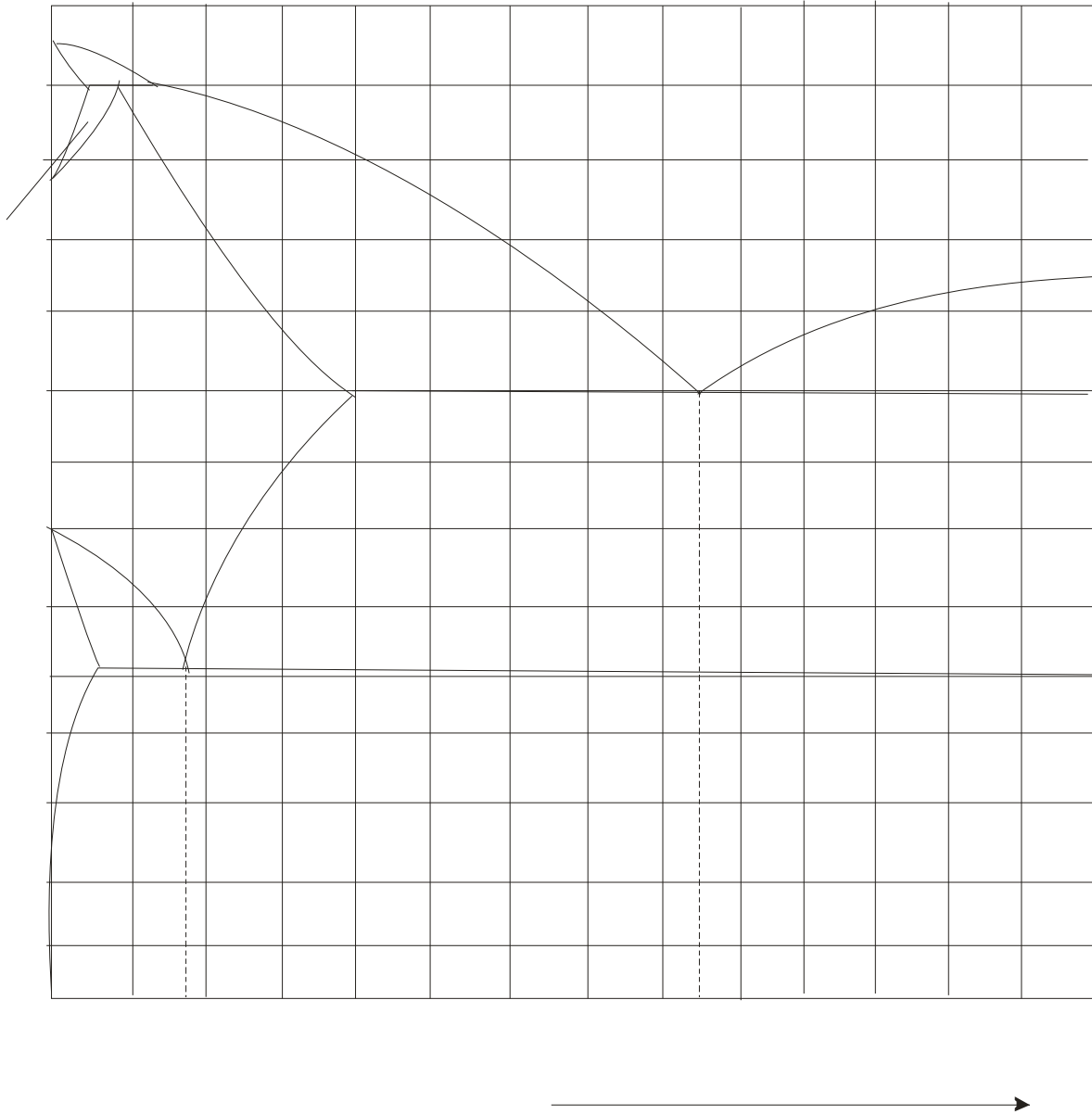
## ТЕМА 6.

### СИСТЕМА ЖЕЛЯЗО – ВЪГЛЕРОД

Поради огромното техническо и икономическо значение на сплавите от системата желязо - въглерод те се разглеждат много по-подробно от всички останали сплави.

#### **Желязо-въглеродна диаграма**

Чистото желязо има три полиморфни превръщания, както се вижда от фиг. 6.1. Алфа-желязото, представляващо желязо с ОЦК решетка, съществува до 911 °С, след което се превръща в гама-желязо със СЦК решетка. При 1392 °С отново търпи полиморфно превръщане (делта-желязо) и е с ОЦК решетка. При 1539 °С желязото се топи. Всичките тези превръщания могат да се проследят и по най-лявата вертикална линия на диаграмата на фиг. 6.1. За технически чисто желязо се смята желязото със съдържание на примеси между 0,1 - 0,2 %, тъй като в техниката абсолютно чисто желязо все още не е получавано. Желязо с чистота 99,98 % се получава по електролитен метод, а чрез редукция - карбоново желязо - 99,99 %. Основни примеси на желязото са Si, Mn, P, S, O, Cu. Желязото е мек, пластичен материал с якост на опън 250 Мра, относително удължение 50% и относително свиване 89 %. Твърдостта на желязото е 80 НВ.



Фиг. 6.1. Структурен анализ на желязо-въглеродната диаграма

Добавянето на въглерод води до образуването на различни сплави. Въглеродните атоми са много по-малки в сравнение с желязните и отношението между атомните им радиуси (въглерод/желязо) е равно на 0,63. Следователно с въглерода се образува твърд разтвор на вместване. Тъй като най-големите октаедрични пори в гама желязото (СЦК) са по-големи (радиус, равен на  $0,52 \text{ \AA}$ ) от тези в алфа желязото(ОЦК) - радиус  $0,3 \text{ \AA}$ , то и разтворимостта на въглерода в  $\gamma\text{-Fe}$  е по-голяма от тази в  $\alpha\text{-Fe}$ . Това е отразено в т. нар. **желязо-въглеродна диаграма**. От нея се вижда, че

максималната разтворимост на въглерода в  $\gamma$ -Fe е 2,14 % при 1147 °C, докато в  $\alpha$ -Fe е 0,02 % при 727 °C. В диаграмата са използвани следните термини и понятия:

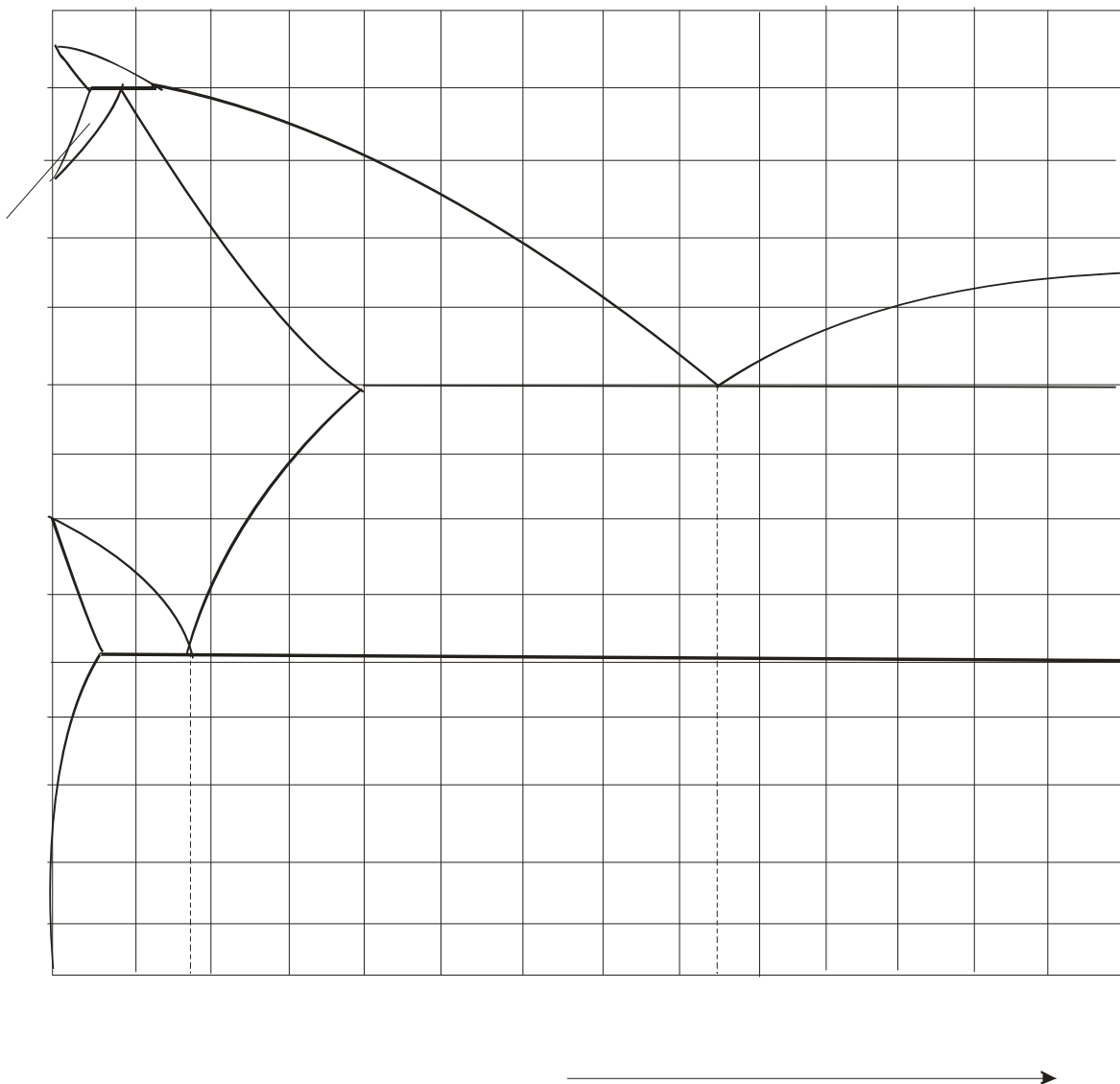
- **ФЕРИТ** (Ф) - това е твърд разтвор на въглеродни атоми в  $\alpha$ -Fe. Феритът е относително мек (50-100 НВ). Притежава магнитни свойства до 768 °C.
- **АУСТЕНИТ** (А) - представлява твърд разтвор на въглерод в  $\gamma$ -Fe. Аустенитът има по-голяма твърдост, по-голямо електросъпротивление и по-голям коефициент на топлинно разширение от ферита. Аустенитът е парамагнитен.
- **ЦЕМЕНТИТ** (Ц) - най-твърдата фаза в диаграмата (1400 НВ). Представлява химично съединение на желязото с 6,67 % въглерод ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Цементитът има ромбична структура с параметри на решетката  $a=4,5235 \text{ \AA}$ ,  $b=5,0888 \text{ \AA}$  и  $c=6,7431 \text{ \AA}$ . На една клетка принадлежат 12 желязни и 4 въглеродни атома, които са разположени в октаедричните пори на клетката. Тези параметри варират в зависимост от температурата, при която цементитът влиза в равновесие с аустенита. Цементитът става феромагнитен при 230 °C. Температурата на топене на цементита е 1250 °C. Притежава много висока твърдост и ниска пластичност. При определени условия е нестабилен и се разлага на въглерод под формата на графит и аустенит.

Еднофазните структури в диаграмата са 5: ферит, аустенит, стопилка (L), високотемпературен ферит (Вф) и цементит ((фиг. 2). В диаграмата протичат три характерни реакции:

- перитектична при 1493 °C, в резултат на която се образува аустенит (от взаимодействието на високотемпературен ферит + стопилка се получават кристалите на аустенита);
- евтектична при 1147 °C и 4,3 % C, продукт на която е ледебуритът (от стопилка при постоянна температура едновременно се отделят кристали на аустенит и цементит);
- евтектоидна при 727 °C и 0,83 % C, продукт на която е перлит (от аустенит се отделят кристалите на ферит и цементит).

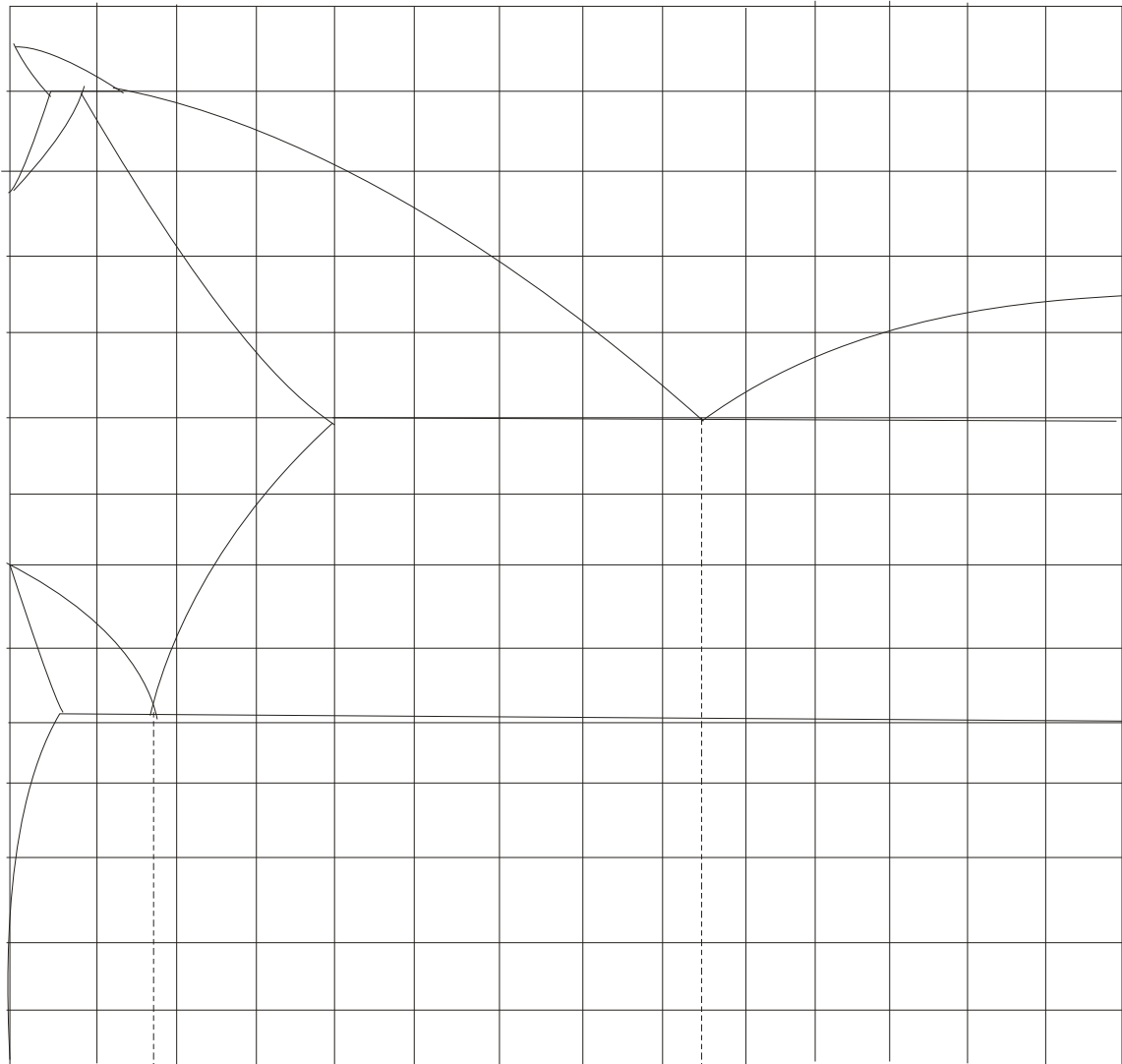
Ледебуритът е механична смес между аустенит и цементит, перлитът е смес между ферит и цементит, видоизмененият ледебурит (Вл) - смес между перлит и цементит.

В диаграмата се различават три модификации на цементита, които са еднакви по състав, но са различни по едрината и разположението на кристалите си. Цементитът, който се отделя директно от стопилката, се нарича първичен; който пресища аустенита (от 0,83 до 2,14 % C) и се отделя от него при охлаждане - вторичен; който се отделя от преситения ферит (от 0,008 до 0,02 % C) - третичен. Първичният цементит съществува самостоятелно и е под форма на големи бели крехки игли. Вторичният цементит се отделя по границите на перлита (фиг. 3) белите участъци около тъмните перлитни зърна), а третичният - по границите на зърната на ферита (втората линия по границите на зърната).



Фиг. 6.2. Фазов анализ на желязо-въглеродната диаграма

Всяка характерна точка в диаграмата (фиг. 6.3) има свое място, съответна температура и концентрация, които са обобщени в следната таблица 1 и фиг. 6. 3.



Фиг. 6. 3. Графика на желязо-въглеродната диаграма

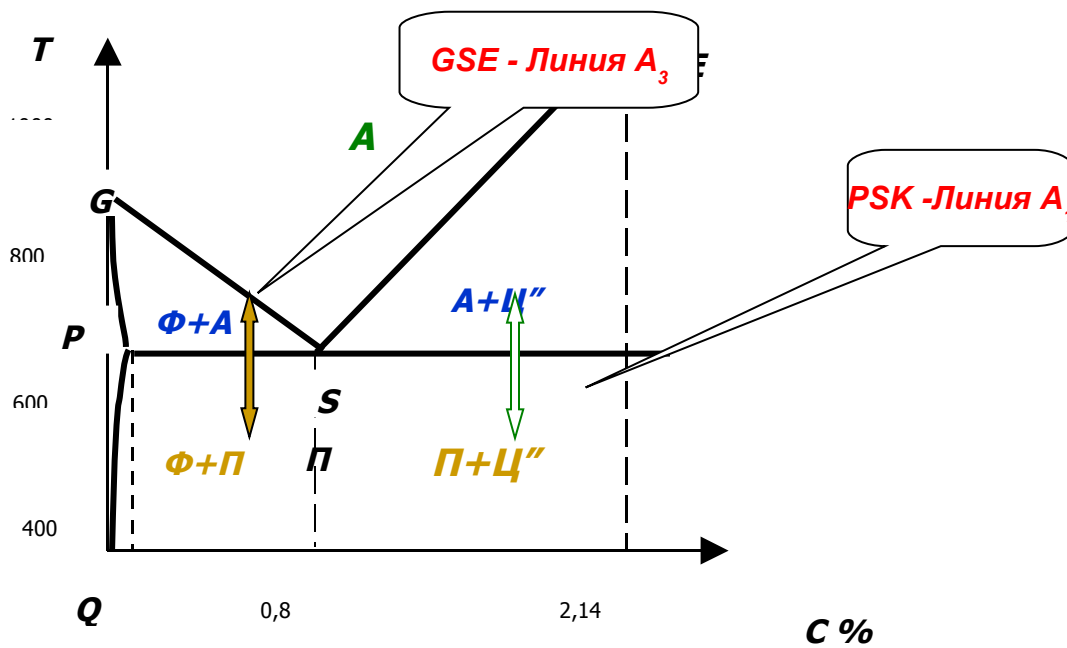
Разглежданата по-горе диаграма се нарича равновесна, но на практика тя е метастабилна, защото въглеродът може да съществува и под формата на цементит, и под формата на графит. Това е от огромно значение за реакциите при различните процеси в черната металургия.

Тъй като евтектоидната област представлява значителен интерес от гледна точка на протичащите в областта процеси, на фиг. 6. 4 и 6. 5 е показан



отделно стоманеният ъгъл на желязо-въглеродната диаграма - до 2,14% С. От особен интерес за практиката са превръщанията:

- 1) аустенит - ферит;
- 2) аустенит - цементит;
- 3) аустенит - перлит;
- 4) аустенит - мартензит
- 5) аустенит - бейнит.



Фиг. 6.4. Превръщания

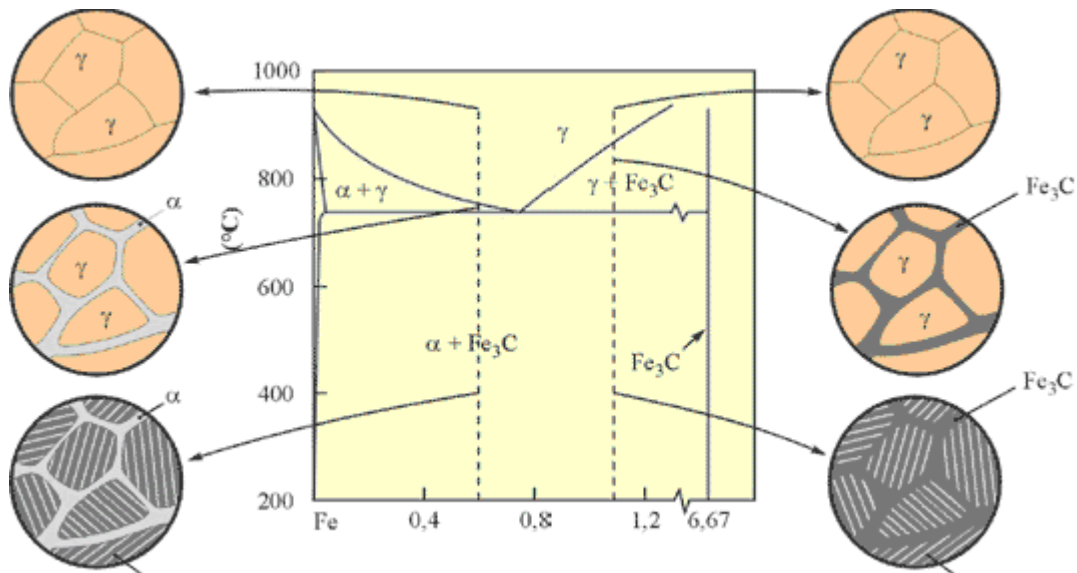
Таблица 1. Точки в желязо-въглеродната диаграма

Означение на точка	Температура, оС	Концентрация на въглерод, %
A	1539	0
B, H, J	1499	0,5
N	1392	0
E	1147	2,14
C	1147	4,3
F	1147	6,67

G	911	0
S	727	0,83
P	727	0,02

### Аустенит-перлитно превръщане

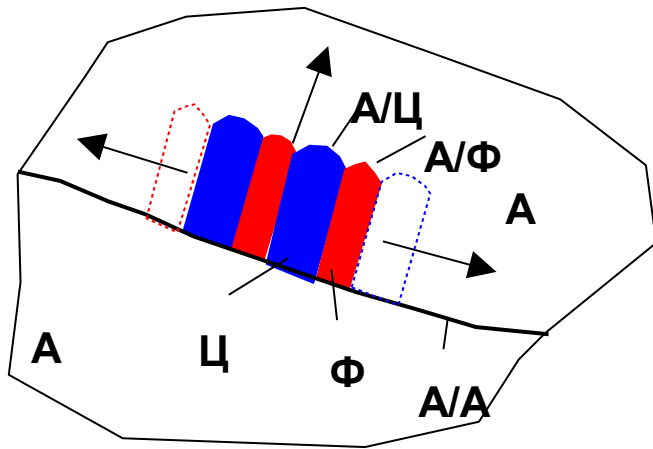
Евтектоидната реакция настъпва в сплав с 0,83 % C, когато се охлажда под 727 °C. Както вече бе споменато, перлитът е механична смес от ферит и цементит, а аустенитът е еднофазна структура, представляваща твърд разтвор на въглеродните атоми в  $\gamma$ -Fe. За да протече превръщане от едната структура в друга, е необходимо да се излезе от равновесното състояние на трите фази, т. е. т. S (727 °C или още се означава като т. A<sub>1</sub>). За да настъпи това, трябва или сплавта да се преохлади до температура T<sub>1</sub>, или да се пренагрее над т. A<sub>1</sub> до T<sub>2</sub>. При това се получава разлика в свободната енергия на двете състояния и е налице двигател за осъществяване на съответния процес.



Фиг. 6. 5. Стоманен тъгъл на желязо-въглеродната диаграма

Превръщането на аустенита в перлит започва със зараждането на кристализационни центрове на границите на аустенитните зърна (фиг. 6.5). Въглеродът дифундира от окръжаващия го аустенит към цементитния зародиш (въглеродно съдържание на цементита 6,67 %) и започва нарастване на карбида. Областта около цементита обеднява на въглерод и става причина

да се зароди феритен зародиш (със съдържание 0,02% С). Това от своя страна довежда до обогатяване на околните области с въглерод и се образуват нови цементитни зародиш. Ламелите на ферита и цементита нарастват перпендикулярно на аустенитната граница в посока на сърцевината на аустенитното зърно. Зараждането и нарастването на цементита и ферита се осъществяват на много места по аустенитните граници на зърната. Това довежда до образуването на перлитни колонии, които са успоредни една на друга. Понякога няколко такива колонии се образуват в едно и също зърно. Те нарастват докато се пресрещнат вътре в аустенитното зърно. Новополучените перлитни зърна имат конфигурацията на изходното аустенитно зърно. Нарастването на перлитното зърно зависи от два едновременни процеса: преразпределението на въглерода и промяната на СЦК решетката на аустенита в орторомбичния цементит и в ОЦК решетката на ферита.

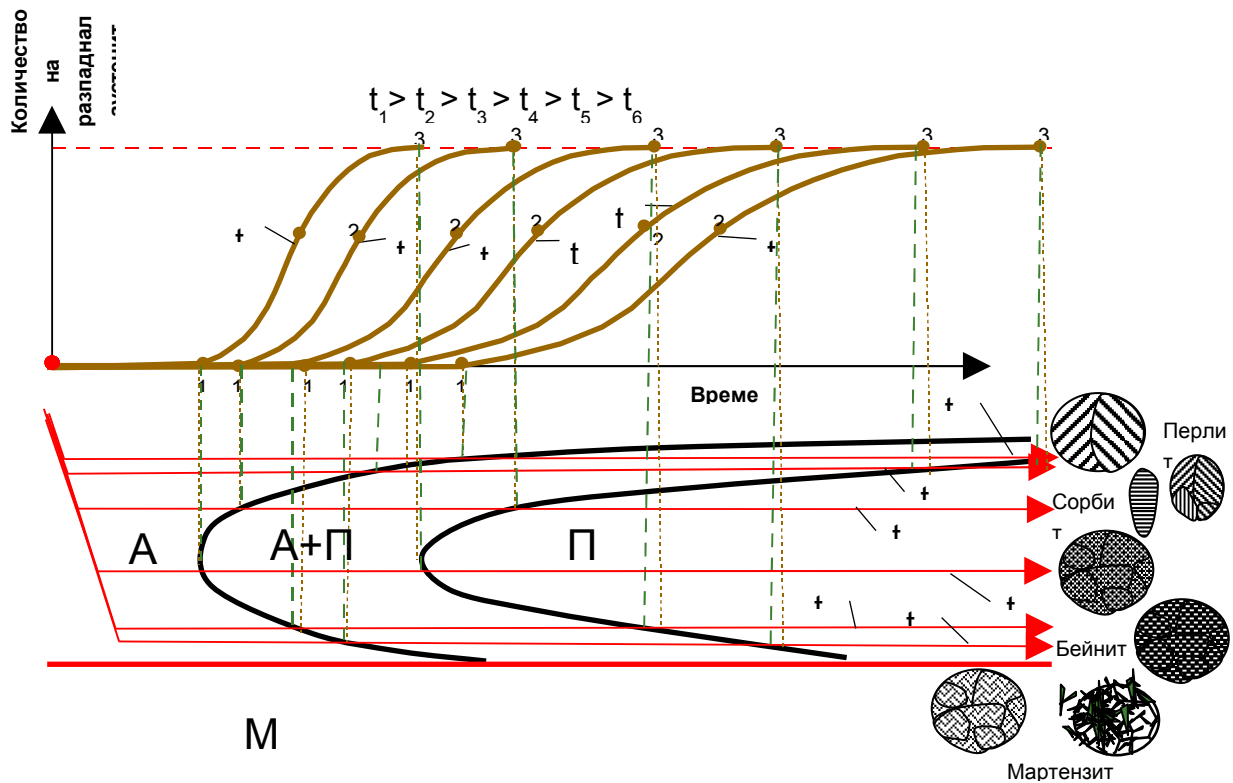


Фиг. 6.6. Образуване на перлит в рамките на първичното аустенитно зърно

### **Нарастване на перлитните ламели в аустенитното зърно**

Скоростта на аустенит - перлитното превръщане е функция на скоростта на дифузия и на големината на аустенитните зърна. Големината на цементитните ламели и разстоянието между тях се определя от баланса между гореспоменатите фактора. При подевтектоидните и надевтектоидните стомани аустенит-перлитното превръщане протича с малки разлики – получават се структури от типа – перлит и ферит, цементит и перлит (фиг. 6.6 и 6.7). На фигурата могат да се установят формата и големината на ферито-цементитните ламели, образувани се при охлаждане с различна скорост. Колкото температурата на превръщане е по-ниска, толкова по-фини са

ламелките. Структурите, които се образуват се наричат перлит, сорбит, троостит, бейнит и мартензит.



Фиг. 6.7. „С” криви – аустенит-перлитно разпадане

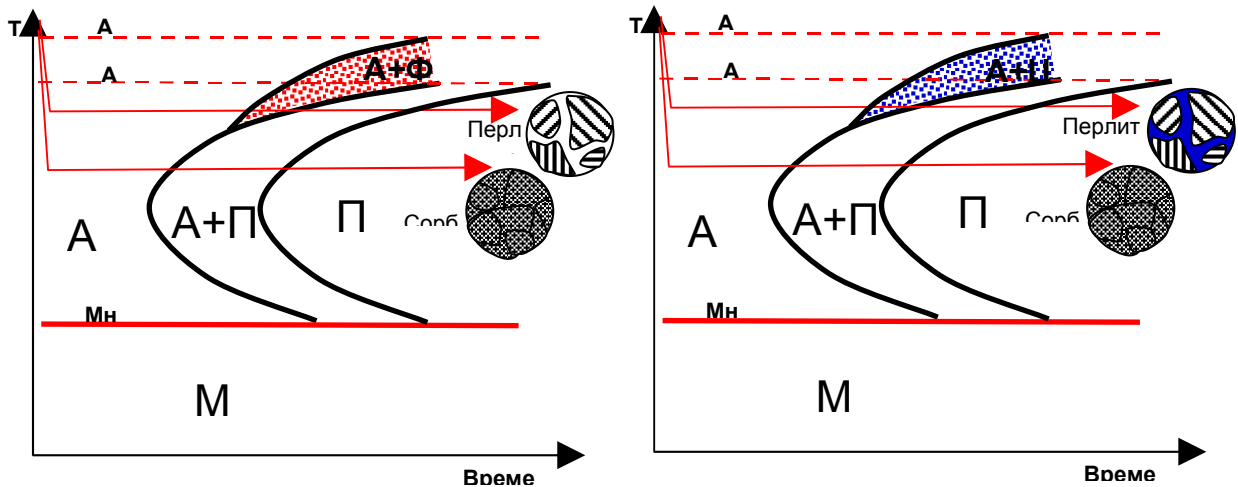
### Аустенит-феритно или аустенит-цементитно превръщане

Ако се разглеждат процесите на аустенитно превръщане в една подевтектоидна сплав, се установява, че до пресичане на линия GS с аустенита не настъпват промени. При пресичане на тази крива започва да се отделя ферит по границите на зърната на аустенита поради намаляване на стабилността на стенноцентрираната кубична решетка. При по-нататъшно охлаждане количеството на отделените феритни кристали и концентрацията им се изменят. При достигане на температура  $727^\circ$  останалият аустенит се разпада на перлит, като температурата се запазва постоянна до пълното изчерпване на аустенита. Получената структура представлява \_островчета\_ перлит (тъмните области) във феритна матрица (светлите области). Това се вижда на фиг. 6.8, която илюстрира структурата на една подевтектоидна сплав след бавно равновесно охлаждане.

В една надевтектоидна сплав, съдържаща въглерод между 0,83 % и 2,14 %, при охлаждане до пресичане на линия SE от аустенита започва да се отделя цементит, наречен вторчен. При охлаждане до  $727^\circ\text{C}$  останалият аустенит се

разпада на перлит. Микроструктурата на тази сплав представлява перлитни островчета (тъмната област) в цементитна матрица (светлите ивици).

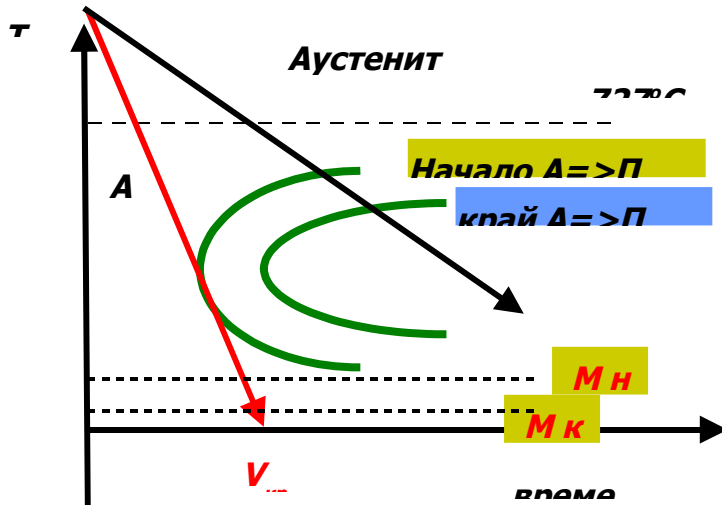
Между микроструктурите на под- и надевтектоидна сплав има разлика: подевтектоидният цементит е с ламеларна форма, а надевтектоидният се отделя като мрежа по границата на перлитните зърна.



Фиг. 6.8. Аустенто-феритно и аустенит-цементитно превръщане

### Аустенит-мартензитно превръщане

Превръщането на аустенита в перлит, отделянето на ферит или цементит протичат при бавно равновесно охлаждане. Това превръщане се нарича равновесно, защото е съпроводено с дифузия, зараждане и нарастване на кристалите до получаването на нова структура. Скоростта на аустенит-перлитното превръщане  $v$  зависи от едновременното влияние на два фактора: скоростта на дифузия и разликата в свободните енергии на изходното и крайното състояние. При високи температури преобладаващо е влиянието на скоростта на дифузия, а при ниски температури - на разликите в свободната енергия. Превръщането се характеризира с начало, което е след известен инкубационен период, и съответно край, т.е. протича в определен период от време.



Фиг. 6. 9. Скорости на охлаждане от аустенит

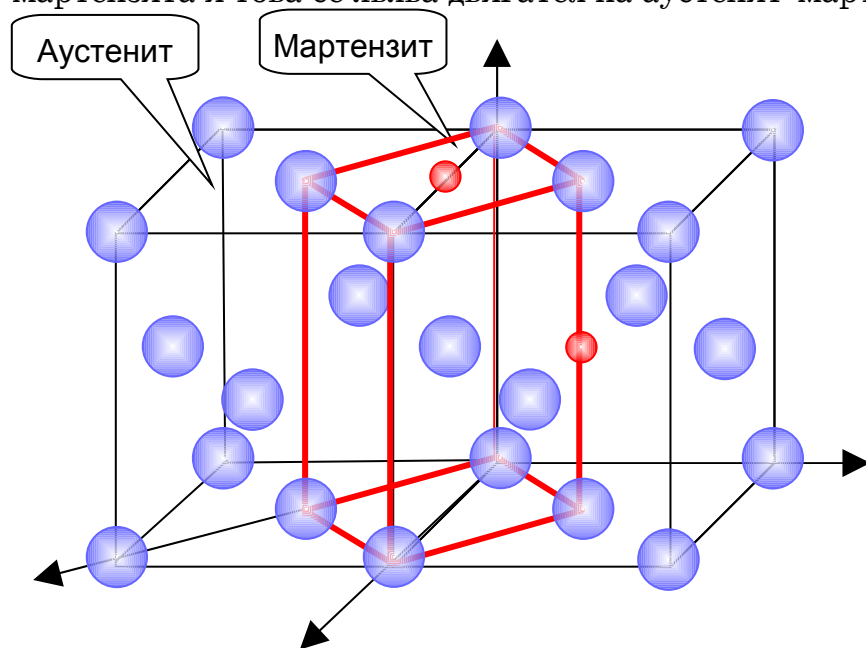
Ако обаче сплавта се охлади с много голяма скорост, при която няма време да протече дифузия, превръщането се нарича *неравновесно* и структурата, която се получава, се нарича *мартензит* (М) (фиг. 6.9). Мартензитната структура представлява мартензитни пластини, прорязващи изходното аустенитно зърно. Отделните мартензитни пластини обикновено сключват ъгъл  $60^\circ$  помежду си (фиг. 6.10). Мартензитните пластини, които на металографски снимки изглеждат като игли, когато не лежат в равнината на шлифа, затварят помежду си малки обеми силно компримиран аустенит, който и след приключване на охлаждането се запазва непревърнат (остатъчен аустенит).



Фиг. 6.10. Структура мартензит

## Дифузионно и бездифузионно $\gamma$ - $\alpha$ превръщане

За да се образува мартензит, охлаждането трябва да продължи до температури, по-ниски от т. нар. температура на начало на превръщането на мартензита  $M_n$ , характерна за всяка сплав. Мартензитното превръщане не протича при постоянна температура, а в температурен интервал. Температурата, която определя края на превръщането се означава с  $M_f$ . Най-малката скорост на охлаждане, с която се достига  $M_n$ , се нарича *критична скорост на охлаждане* (фиг. 6.9). Аустенит-мартензитното превръщане започва след определено време (определен инкубационен период). При тези големи степени на преохлаждане, необходими да започне превръщането, скоростта на дифузията на въглеродните атоми практически е равна на 0, но е огромна разликата в свободните енергии на аустенита и мартензита и това се явява двигател на аустенит-мартензитното превръщане.



Фиг. 6.11. Кристална решетка на мартензита

Мартензитът е структурно състояние, характерно за високите температури. В неговата решетка се задържа въглерод, отговарящ по съдържание на аустенита, но фактически мартензитът представлява преситен алфа твърд разтвор - решетката му е обемноцентрирана, но с допълнителен въглероден атом (фиг. 6.11). Въглеродните атоми се разполагат вътре в октаедричните пори на обемноцентрирана решетка, при което променят параметрите и  $c/a$ . Решетката вече е тетрагонална и колкото повече въглеродни атоми са задържани, толкова степеня на тетрагоналност е по-голяма ( $c/a > 0,63$ ). Тази структура е носител на нови свойства - по-големи вътрешни

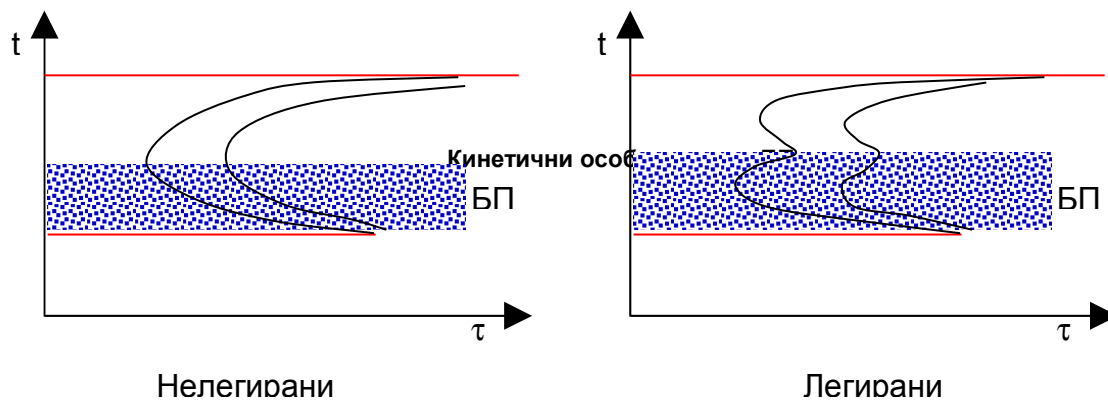
напряжения, по-голяма твърдост. На фигурата е показана мартензитна структура на стомана 45, получена след охлаждане във вода.

### **Свойства на Мартензита:**

- 1 Висока твърдост 58 - 62HRC
- 2 Висока якост  $R_m = 2600 - 2700$  МПа (спрямо 600 - 800 МПа)
- 3 Висока крехкост, високи напряжения
- 4 Закалъчни пукнатини, изкривяване на детайлите

### **Бейнитно превръщане**

Превръщане при Fe-C сплави, което има смесен характер-полиморфно-дифузионен (фиг. 6.12). Протича в интервала между температурата на най-малката стабилност на аустените и началото на мартензитното превръщане.



Фиг. 6.12. Бейнитно превръщане

- 📁👉 При изотермично охлаждане бейнитното превръщане протича след определен инкубационен период;
- 📄👉 При БП се получава известно количество остатъчен аустенит;
- 📄👉 Частичното БП понижава  $M_n$  и при следващо охлаждане повишава количеството на остатъчния аустенит;
- 📄👉 Нагряването на стоманата до различни температури на аустенитизация не предизвиква изменение в кинетиката на превръщането;
- 📄👉 За легирани стомани с карбидообразуващи елементи се очертава втора "с" извивка на изотермичната диаграма в бейнитната област;
- 🕒👉 БП води до образуване на микрорелеф на полирана повърхност аналогично както при МП



## КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Дайте определения за: ферит, аустенит, цементит. Има ли разлика между ферит и алфа-желязо?
2. Обяснете полиморфните превръщания на желязото? Коя е неговата температура на топене?
3. Кои са фазите в диаграмата Fe-C?
4. Какво представлява перлитът? Продукт на коя реакция е?
5. Защо механичните свойства на перлита, сорбита и троостита са различни?
6. Обяснете механизма на аустенит-мартензитното превръщане.
7. Какво става при бавно охлаждане от 750 °C на една желязо-въглеродна сплав с 0,83% C?
8. Каква е разликата в структурите на подевтектоидните и надевтектоидните сплави?
9. Какво представлява евтектичната реакция в диаграмата и кой е нейният продукт?
10. Каква е структурата при стайна температура на сплав с 1% C; а на сплав с 3% C?
11. Коя е границата между стомани и чугуни?
12. Има ли разлика между първичен, вторичен и третичен цементит?
13. Кои са равновесните структури при стайна температура в желязо-въглеродната диаграма?
14. Какво се разбира под степен на преохлаждане?
15. Каква информация носят \_C-кривите\_ за дадена стомана? Как се строи една диаграма на изотермично превръщане?
16. Има ли скорост на охлаждане, която да наричаме критична? Еднаква ли е критичната скорост на охлаждане за всички сплави?

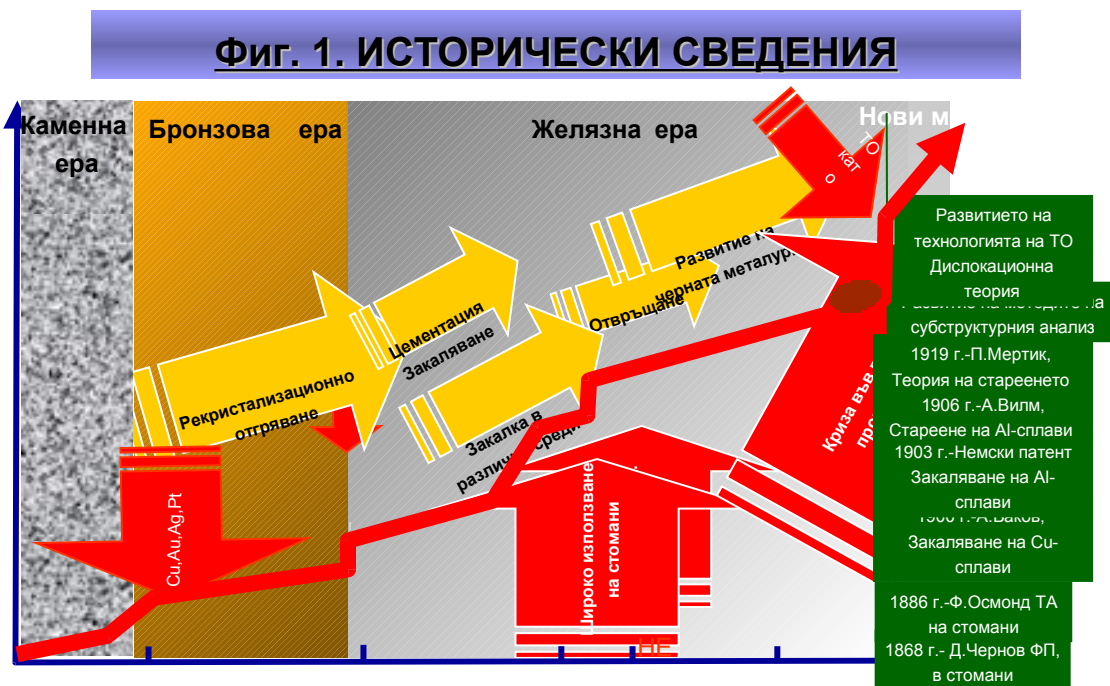
## Тема 7

### ТЕРМИЧНА ОБРАБОТКА

Термичната обработка е процес на обработка на материалите, целящ изменение на структурата и свойствата им чрез определено топлинно въздействие. Освен основното топлинно въздействие е възможно да се приложи и друго допълнително въздействие, като: магнитно, химично, деформационно, йонно-плазмено, ултразвуково и др.

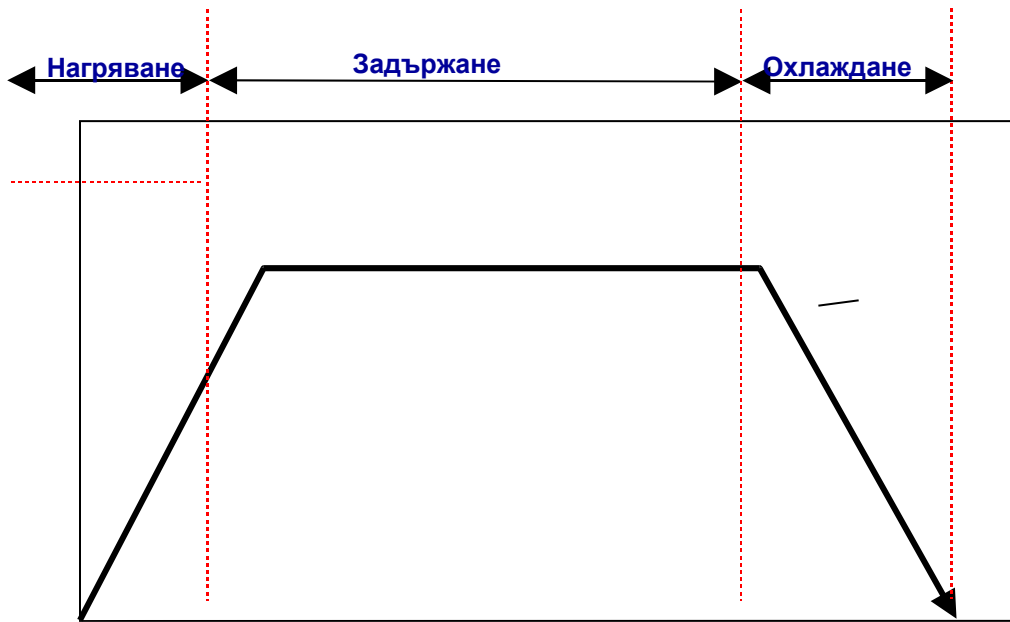
Термичната обработка се прилага върху материалите на определен етап при изработване на изделия от тях. Когато тя се провежда на заготовките, се нарича предварителна, на детайлите между механичните операции - междинна и след механичната обработка - окончателна. Историческото развитие на термичната обработка може да се проследи на фиг. 7.1.

По правило, колкото материалът е по-многокомпонентен и изделието (конструкцията) е по-сложна, толкова термичната обработка е по-неизбежна и наложителна.



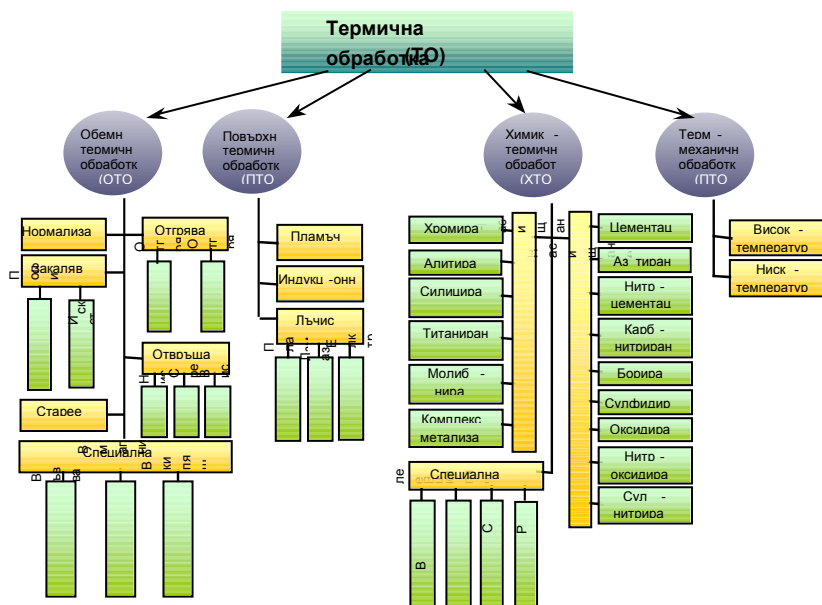
Фиг. 7. 1. Историческо развитие на термичната обработка

Всеки процес на термична обработка се състои от 3 етапа: нагряване, задържане и охлаждане (фиг. 7. 2).



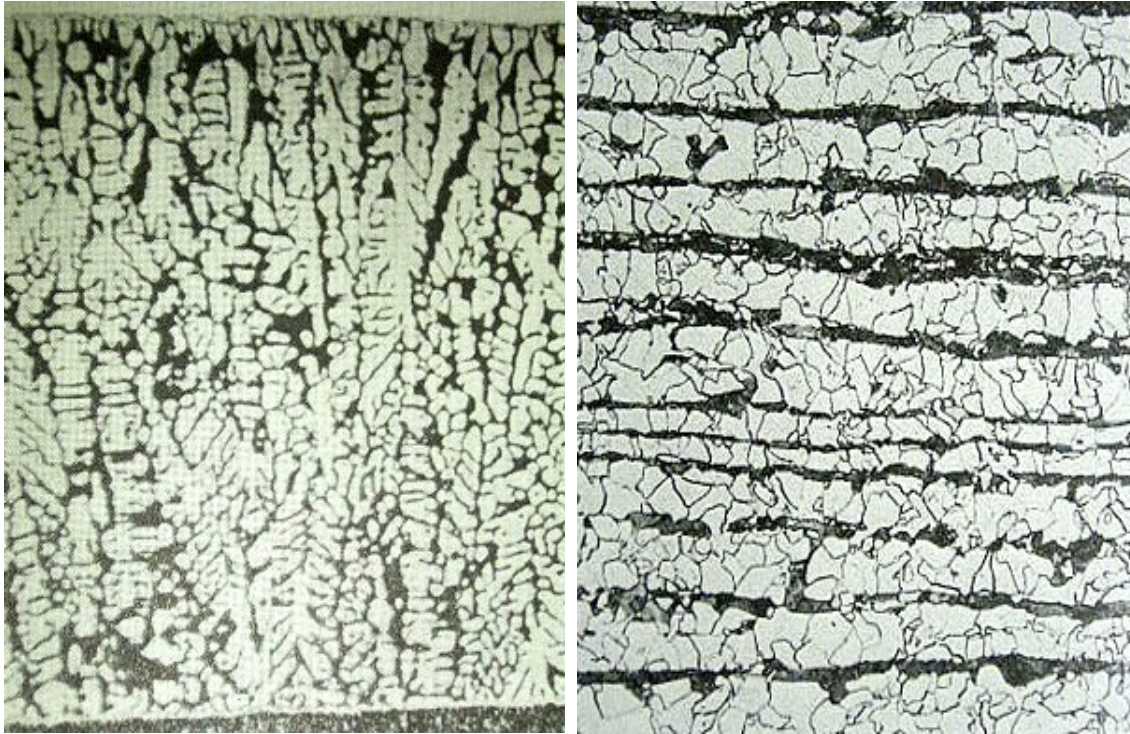
Фиг. 7. 2. Циклограма на технологичния процес

С развитието на човечеството са се развивали процесите на топлинна обработка на метала. На фиг. 7.3. е посочена най-общата класификация на процесите на термично обработване.



Фиг. 7.3. Обща класификация на видовете и методите на термична обработка





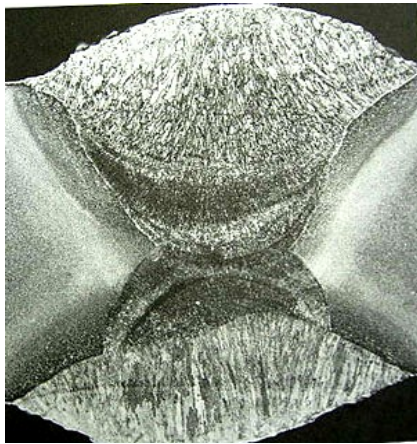
а

б

фиг. 7. 5. Нехомогенни структури:

а/ напластено медно покритие ;

б/ ивичност след валцоване на нехомогенна въглеродна стомана;



а



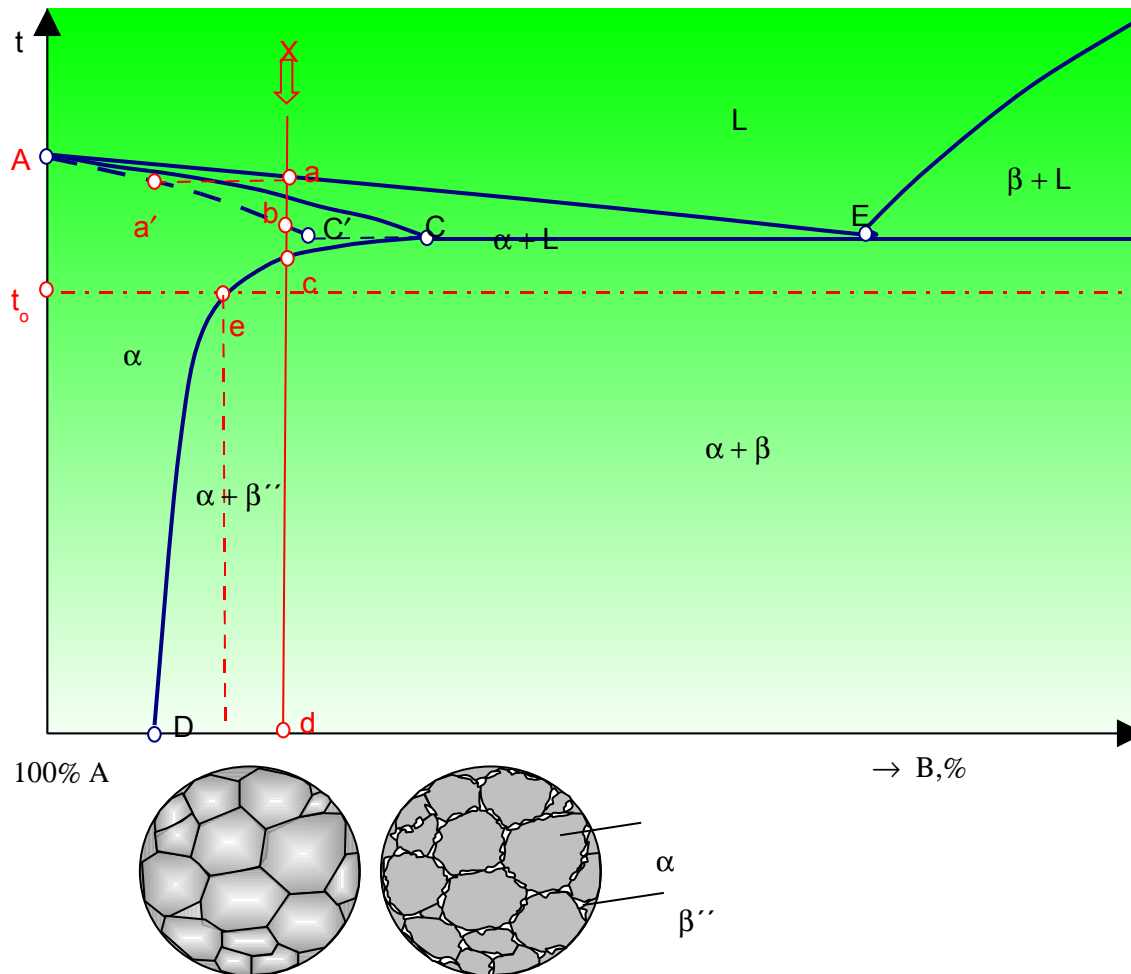
б



в

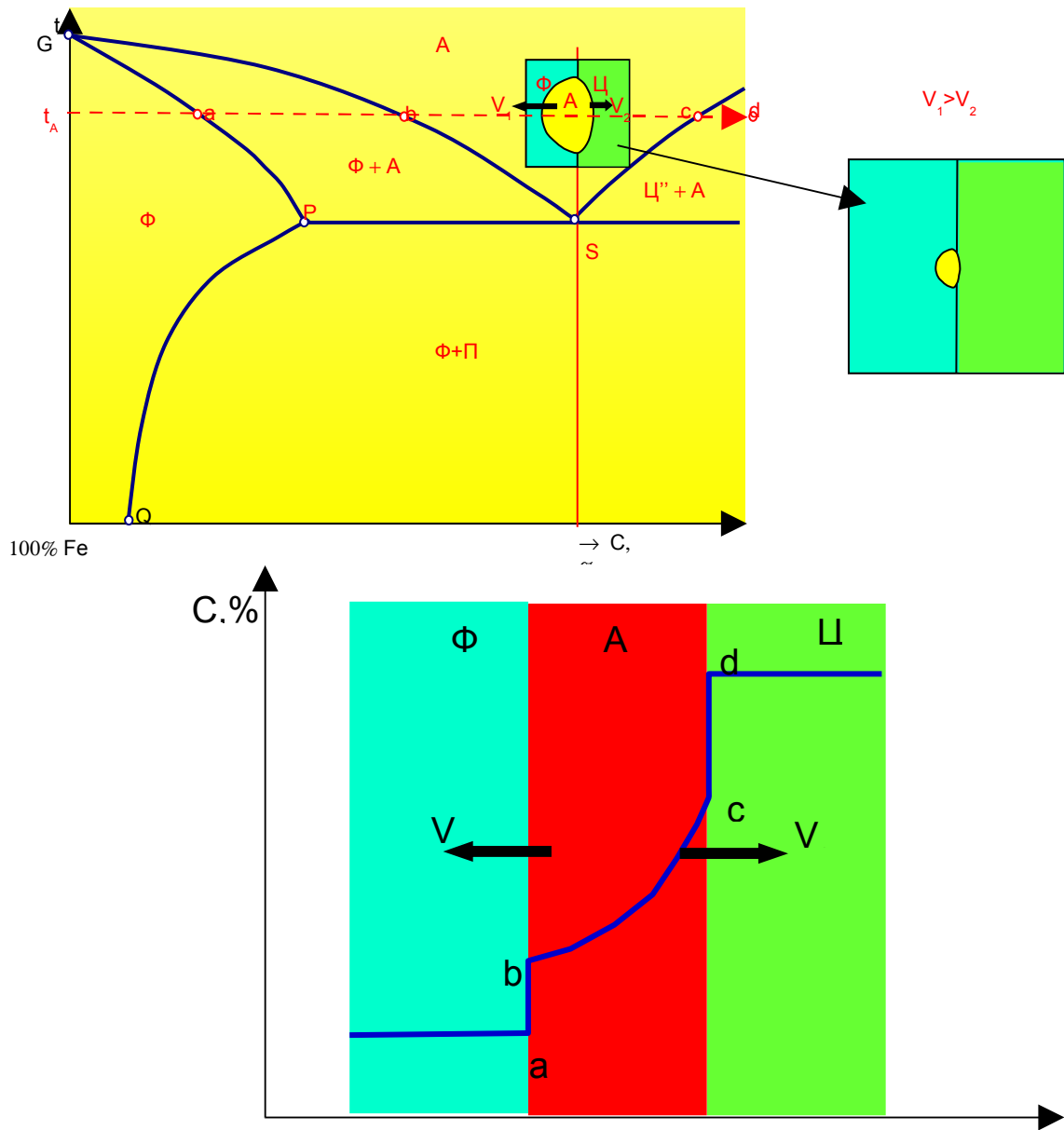
Фиг. 7.6. Нехомогенни  
структури:

- а/ двустранен заваръчен шев на въглеродна стомана;
- б/ заваръчен шев с електронен лъч;
- в/ ъглов заваръчен шев на алуминиева сплав с единични дендрити.



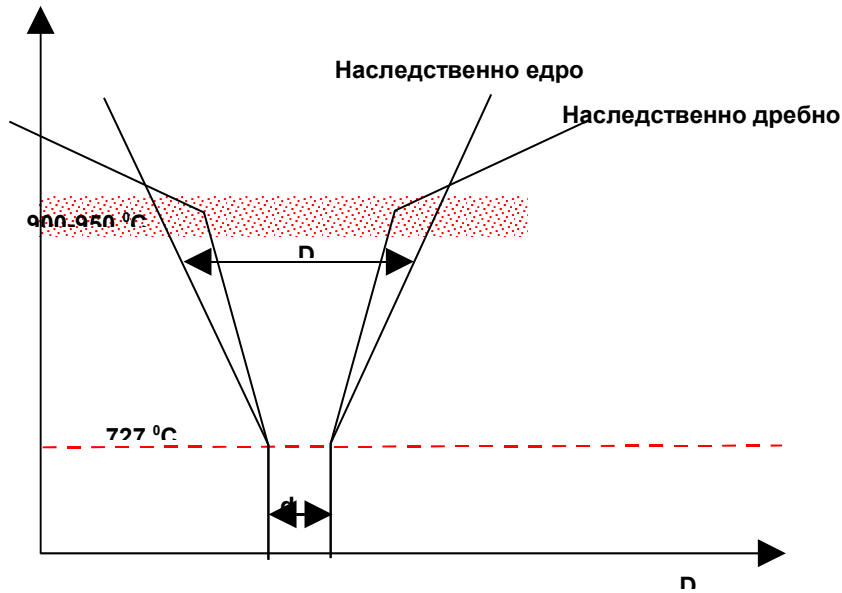
Фиг. 7.7. Условия за получаване на хомогенни структури

- Зараждането на аустенита се извършва на границата между феритната и цементитната пластина.
- Нарастването се извършва с неравномерна скорост – по-бързо аустенитът се развива във феритната пластина от колкото в цементитната. Поради това феритът по-бързо се превръща в аустенит от цементита.
- При нарастването си, аустенитът е нехомогенен - по-беден на въглерод към ферита и по-богат на въглерод към цементита.
- Нарастването преминава три етапа – превръщане на ферита, превръщане на цементита, хомогенизиране.
- Според скоростта на нарастване на аустенита стоманите биват с наследствено едро и с наследствено дребно зърно.



Фиг. 7.8. Зарядане на аустенитно зърно





Фиг. 7. 9. Нарастване на аустенитното зърно

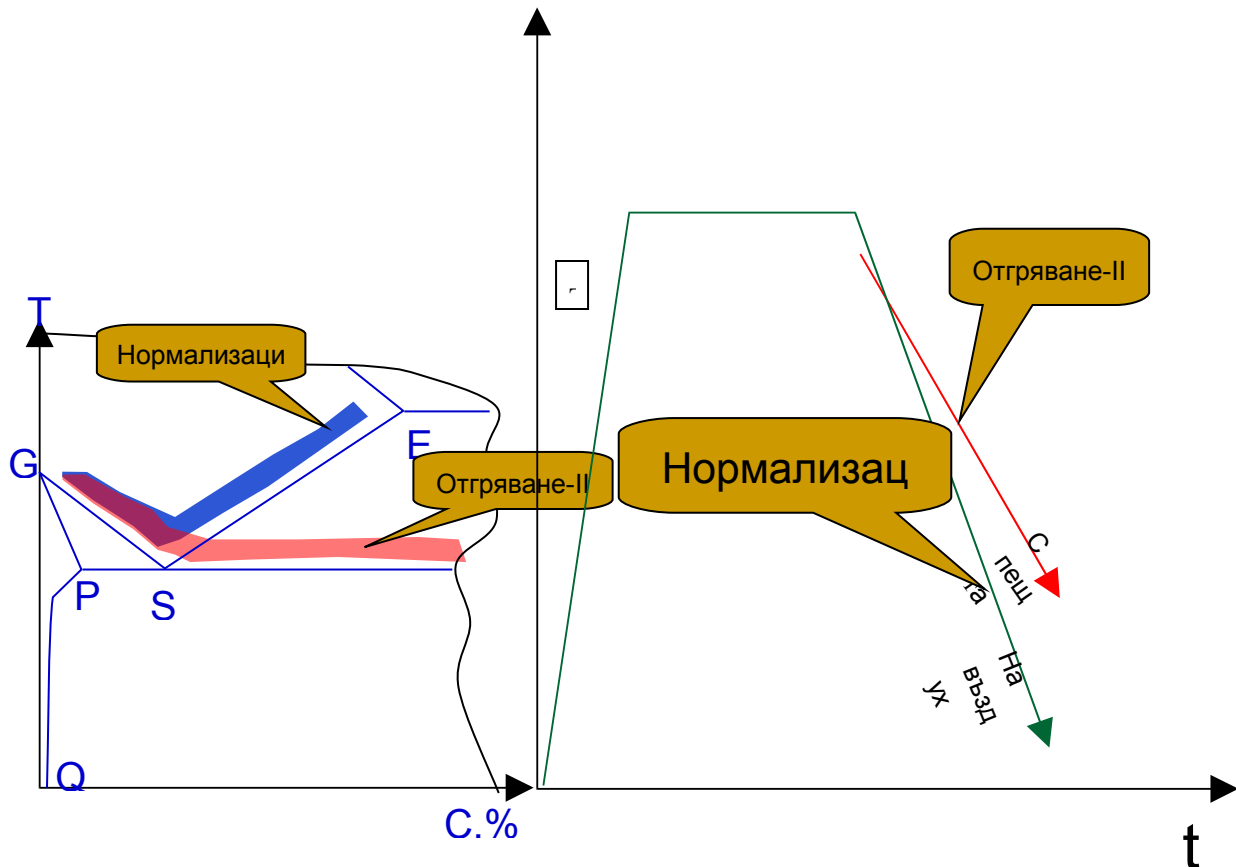
**Технология на отгряването**

Отгряването от II род се провежда за стоманите. При него става фазова прекристализация, т.е. протича превръщането перлит-аустенит при нагряване и аустенит-перлит при нагряване. Целта е получаване на равновесна ферито-перлитна (за подевтектоидните) и перлитно-цементитна (за надевтектоидните стомани) структура. За инструменталните (надевтектоидните) стомани се провежда непълно отгряване.

Отгряването на стоманите най-често е от II род. То бива: пълно, непълно и сфероидизиращо.

Пълното отгряване се извършва при температури 20 – 500°C над линията PS за под евтектоидните стомани. Когато стоманите са нехомогенни, тогава се провежда хомогенизиращо отгряване при температури над 900-950 °C. За надевтектоидните стомани се провежда непълно отгряване между A1 и A3, за да се предотврати образуването на мрежест цементит. Непълното отгряване води до сфероидизация на цементита и издребняване на перлита - **сфероидизиращо отгряване.**

**Нормализация** - извършва се при температура 20-50<sup>0</sup>С над  $A_3$  (GSE) и с охлаждане на въздух. Целта е да се получи дребнозърнестта ферито-перлитно-сорбитна структура (фиг. 7.10).



Фиг. 7.10. Температури на отгряване

## ЗАКАЛЯВАНЕ

Цел на закаляването е получаване на **висока твърдост**.

Закаляването е процес на фиксиране на високотемпературното състояние на сплавта при ниски температури (истинско закаляване) или протичане на полиморфно (мартензитно) превръщане (закаляване с полиморфно превръщане).

- Въглеродните стомани се закаляват полиморфно.
- Закаляемостта е способността на стоманите при закаляване да придобиват твърдост (над 40HRC). Това се постига, ако съдържанието на въглерод е над 0,3%.

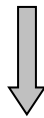
- Легиращите елементи влияят на закаляемостта.
- Стоманите в зависимост от съдържанието им се делят на перлитни, аустенитни и мартензитни.

След закаляването стоманите имат следните особености:

- Висока твърдост;
- Понижена пластичност;
- Високи остатъчни напрежения;
- Лоша обработваемост
- Големи деформации

**Същност на закаляването :**

***Превръщане на  $A \Rightarrow M$***



**Етапи:**

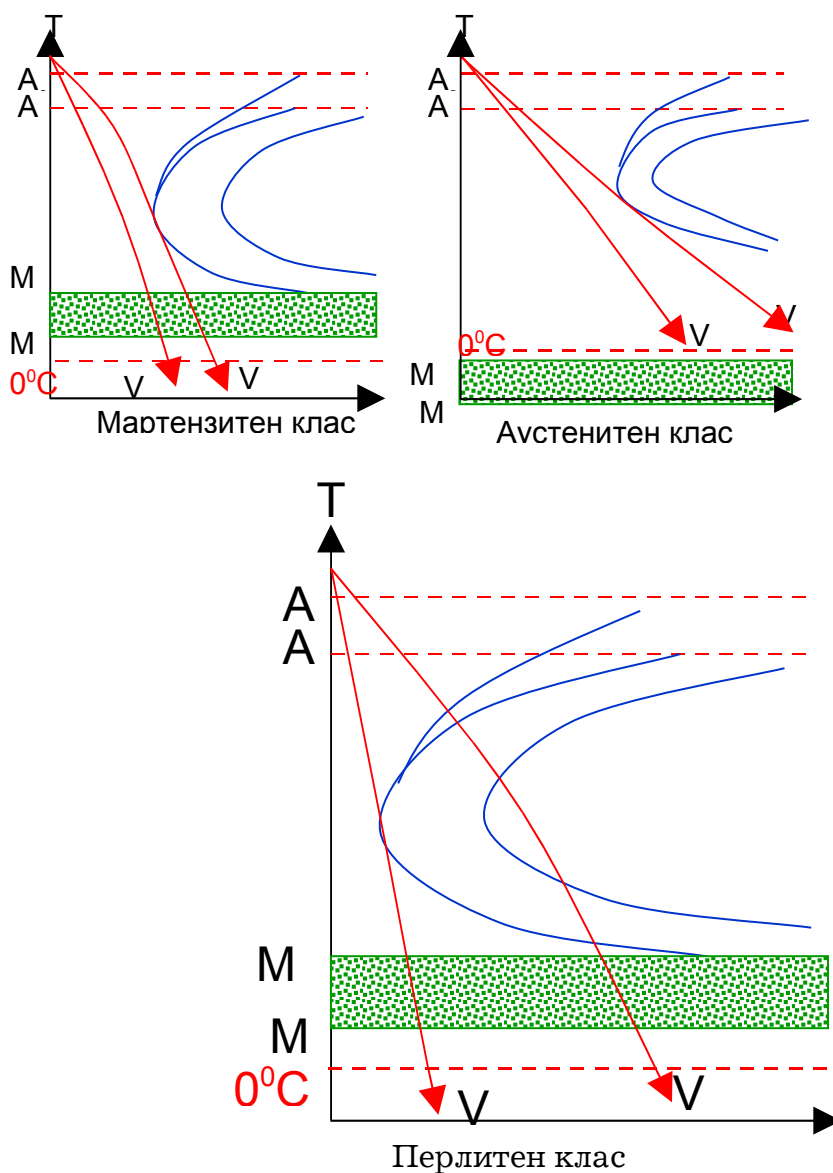
Нагриване до Аустенитно състояние

Скоростно охлаждане (за да се получи директно превръщането на Аустенит в Мартензит)

След закаляване се получава метастабилна структура, изразяваща се в:

- преситен твърд разтвор (мартензит);
- висока плътност на дефектите (фазов наклеп);
- наличие на остатъчен аустенит

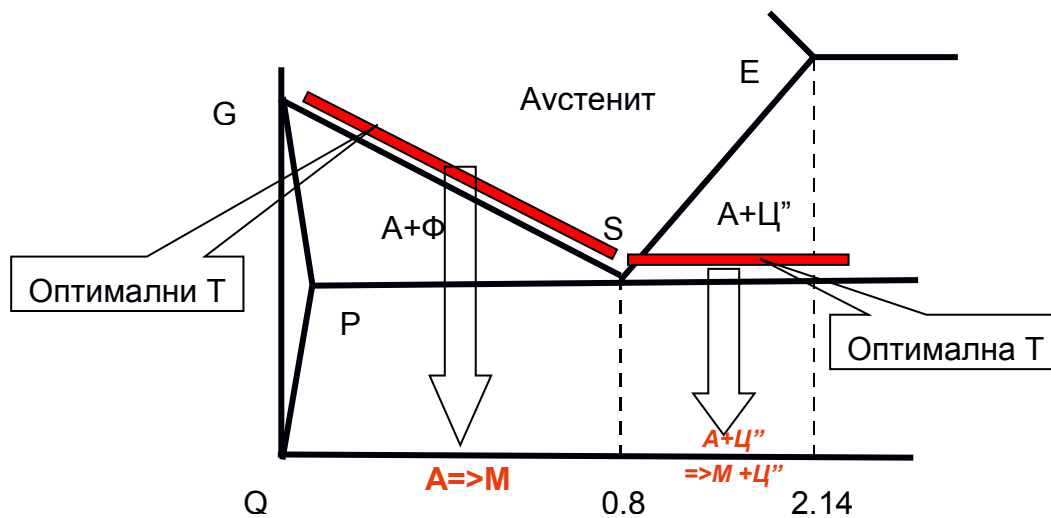
Закаляемостта на стоманите е в тясна зависимост от химичния им състав. На фиг. 7.11 са показани С-кривите на стомани от различен клас. Класът на стоманите определя температурата на начало на мартензитното превръщане – при аустенитните стомани  $M_n$  е под  $0^\circ\text{C}$ , при перлитните стомани и  $M_n$  и  $M_{кр}$  са над  $0^\circ\text{C}$ .



Фиг. 7.11. Видове стомани и техните С-криви

Технологичните параметри на закаляването са:

-- T - температура на нагряване (фиг. 7.12). За подевтектоидните стомани температурата на нагряване за закаляване е (30 - 50°) над линията GS. При това структурата, която се получава е  $A \Rightarrow M + \Phi$ . За надевтектоидните стомани:  $T = (30 - 50^\circ) > 727^\circ\text{C}$   $A + \text{Ц}'' \Rightarrow M + \text{Ц}''$ .



Фиг. 7.12. Температура на нагряване за закаляване

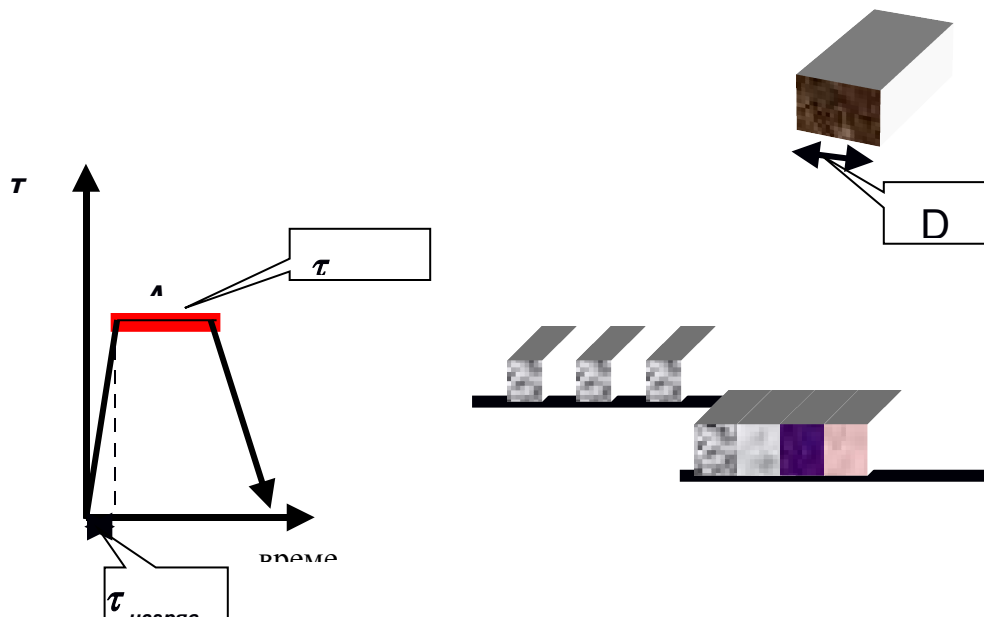
**Избор на време на задържане:**  $\tau$  - време на задържане

Времето на задържане е в тясна зависимост от обема на обработвания детайл и от вида на стоманата. При детайл с размер  $D$  (фиг. 7.13) общото време на нагряване се определя по формулата:  $\tau_{\text{общо}} = \tau_{\text{нагряване}} + \tau_{\text{задържане}}$ . Времето за нагряване е равно на:

$$\tau_{\text{нагр}} = 0,1 D \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3, \text{ а времето на задържане - } \tau_{\text{задър}} = 0,2 \tau_{\text{нагр}}$$

$k_1$  - коефициент на средата (газ -  $k_1=2$ ; солен р-р -  $k_1=1$ )

$k_3$  - коефициент на подреждане на детайлите в пещта



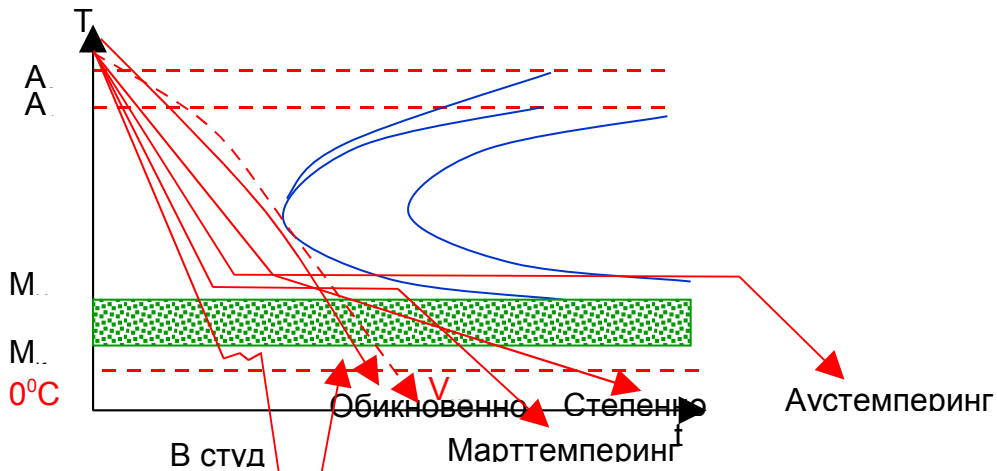
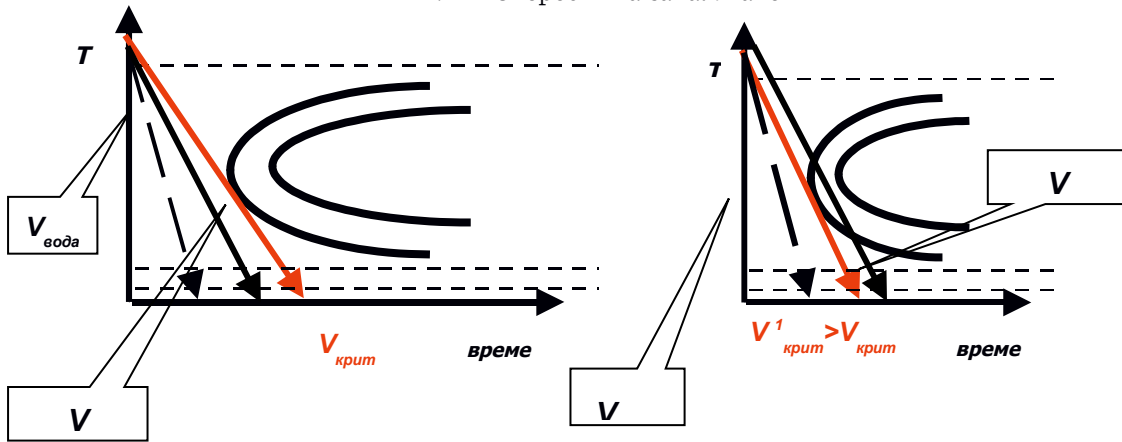
Фиг. 7. 13. Параметри на времето за нагриване

Скоростта на охлаждане при закаляване се определя в зависимост от вида на стоманата на базата на С-кривите на стоманата (фиг. 7. 14). Най-често охлаждащите среди, които се прилагат за закаляване са вода, разтвори на соли (остри охладители), минерални масла - меки охладители. Охлаждането по принцип трябва да става по възможност в меки охладители, за да се предотврати образуване на пукнатини !!

Закаляването се извършва по различни начини (фиг. 7. 15). Закаляването бива:

- Обикновено;
- Степенно (с прехвърляне);
- Изотермично:
- Мартензитно (марттемперинг);
- Бейнитно (аустемперинг);
- В студ

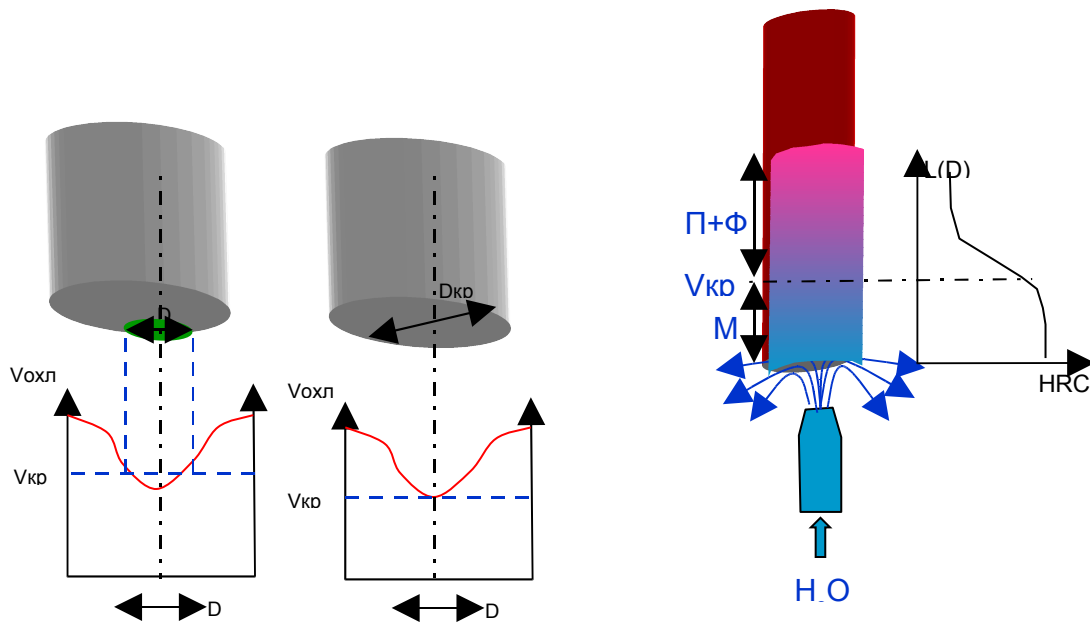
Фиг. 7.14. Скорости на закаляване



Фиг. 7. 15. Способи на закаляване

**Прокаляемост на стоманите.** Прокаляемостта е свойството на стоманите да се закаляват на определена дълбочина. Прокаляемостта се определя с максималния диаметър на цилиндър от дадена стомана, който се закалява напълно в целия си обем (фиг. 7.16).

Прокаляемостта зависи от: въглеродното съдържание; вида и количеството на легиращите елементи; хомогенността на аустенита; размера на аустенитните зърна.



Фиг. 7. 16. Прокаляемост на стоманата

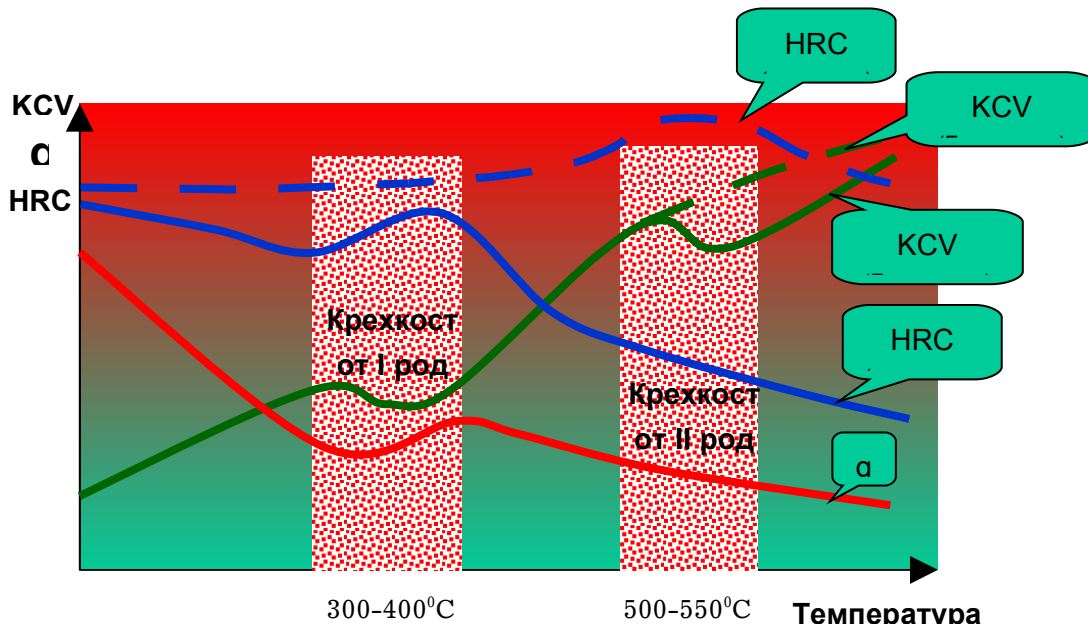
След закаляване с цел намаляване на деформациите стоманите се подлагат на термична обработка, наречена отвърщане. В резултат на отвърщането в зависимост от температурта, до която се нагриват стоманите настъпват структурни промени (фиг. 7. 17).



Фиг. 7. 17. Структурни промени при нагриване след закаляване



В резултат на отвърщането в зависимост от температурите на нагряване, свойствата на стомата се променят. С повишаване на температурата твърдостта намалява, пластичността нараства.



Фиг. 7. 18. Свойства на стоманите след отвърщане

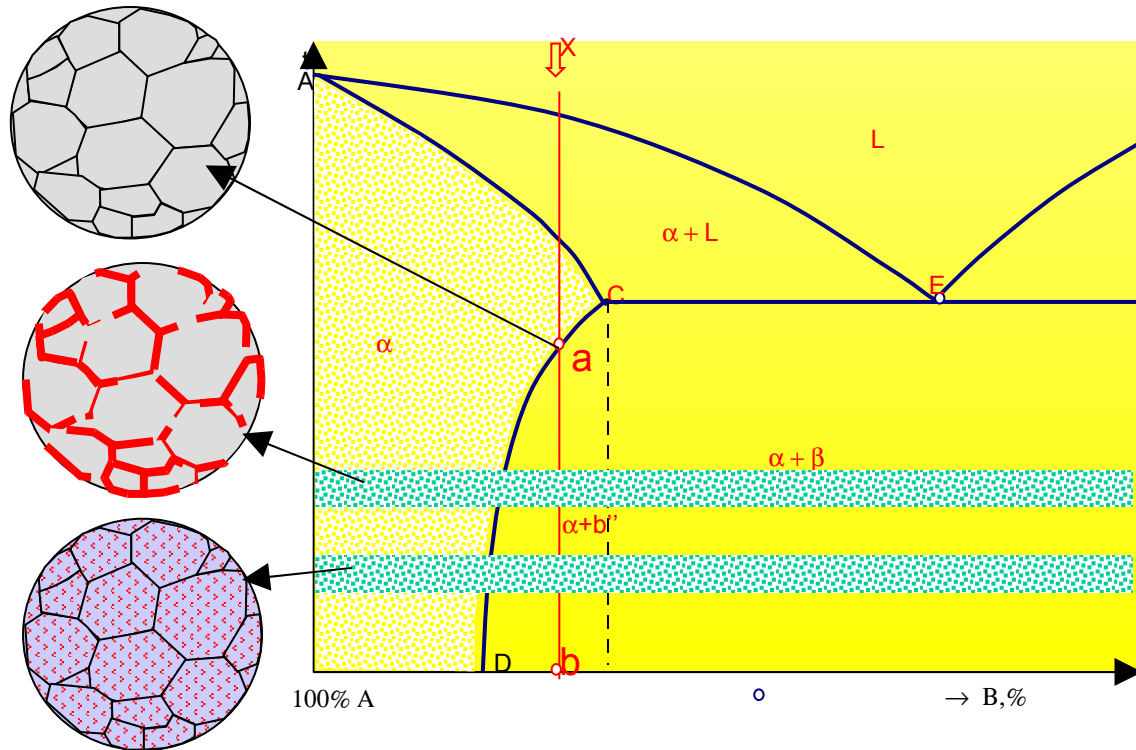
Различават се следните видове отвърщане:

- Нискотемпературано – 150 - 250°C
  - премахват се вътрешните напрежения;
  - запазва се висока твърдост и ниска пластичност. Използва се за детайли и инструменти подложени на износване и високи контактни натоварвания
- Среднотемпературано – 300 – 450°C
  - премахват се вътрешните напрежения;
  - повишава се жилавостта за сметка на известно понижаване на твърдостта и повишаване на пластичността. Използва се за пружини, ресьори и други еластични детайли.
- Високотемпературано – 500 - 650°C
  - повишаване на пластичността за сметка на твърдостта;
  - повишава се обработваемостта;

-повишава се якостта. Намира приложение за високолегирани инструментални стомани и.

- Закаляване с последващо високо отвързване се нарича **подобряване**.

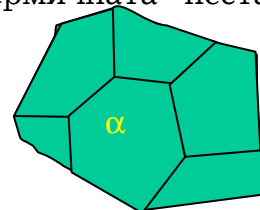
**Старене.** Старенето е друг вид термична обработка, която се състои в разпадане на вторични фази от преситени твърди разтвори, типове и форма на отделянията, модулни структури (фиг. 7.19).



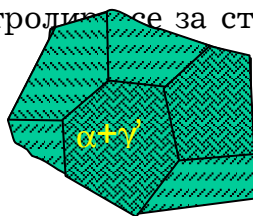
Фиг. 7. 19. Старене

В основата на уякчаването при старене е взаимодействието на дислокациите с отделените частици. Взаимодействието бива: близко и далечно. Старенето бива два вида:

- **Термично старене.** Базира се на термичната нестабилност на преситения ферит. **Пример:** азотист ферит.



• **Деформационно стареене.** Проявява се в нисковъглеродни деформирани стомани. Базира се на взаимодействието на дислокациите с въглеродните атоми. Протича от няколко седмици до няколко месеца при стайна температура. Контролира се за студено валцовани стомани за дълбоко изтегляне.

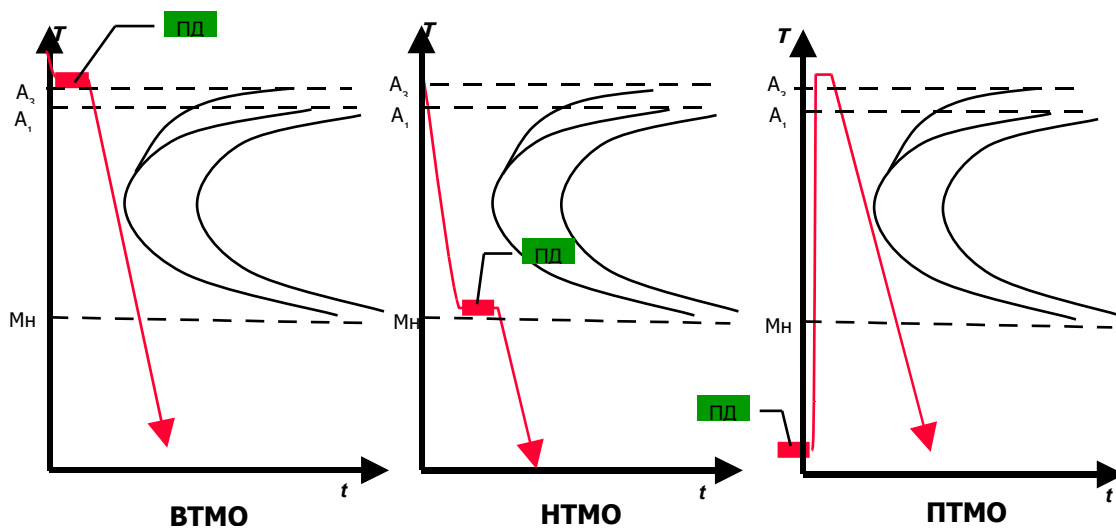


## ТЕРМО-МЕХАНИЧНА ОБРАБОТКА

**Термо-механичната обработка (ТМО)** е комбинирана обработка – пластична с последваща или едновременно провеждана термична обработка.

Пластичната деформация цели създаване на определено субструктурно състояние на аустенита преди разпадането му или превръщането му в мартензит.

Когато пластичната деформация на аустенита се извършва над  $A_3$  ТМО се нарича **високо термо-механична обработка (ВТМО)**, а ако се извършва през инкубационния период под  $A_1$  – **ниско термо-механична обработка (НТМО)**. Възможна е и така наречената предварителна термо-механична обработка (ПТМО), при която пластичната деформация се извършва при ниска температура, а след нея независимо след колко време се провежда закалка чрез кратковременно нагряване до температурата на закалява. Технологичната последователност на процесите е посочена на схемата на фиг. 7.20.



Фиг. 7.20. Видове термо-механична обработка

При VTMO се контролира кинетиката на рекристализация на аустенита, протичащи по време на уякчаването му. В тези динамични условия рекристализацията и наклепът се наричат динамични. Степента на тяхното протичане определят субструктурата на аустенита, а тя предопределя структурата на мартензита след закаляване на така субструктурирания аустенит. При NTMO се контролират дорекристализационните процеси (възврат) на аустенита, протичащи по време на уякчаването му. Ефектът е по силно изразен.

### ХИМИКО-ТЕРМИЧНА ОБРАБОТКА.

Химико-термичната обработка (ХТО) е комбинирана обработка, изразяваща се в химическо и термическо въздействие върху материалите. Тъй като химическото въздействие протича на повърхността на изделията, обработката е повърхностна. Определящо е химическото въздействие. Съобразно това въздействие ХТО бива:

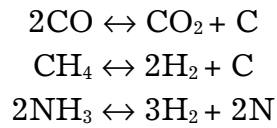
- навъглеродяване (цементация),
- азотиране,
- нитроцементация,
- карбонитриране,
- бориране, сулфидиране,
- хромиране,
- титаниране и др.

Съобразно вида на активната среда ХТО бива: твърда, течна и газова.

Необходими условия за ХТО

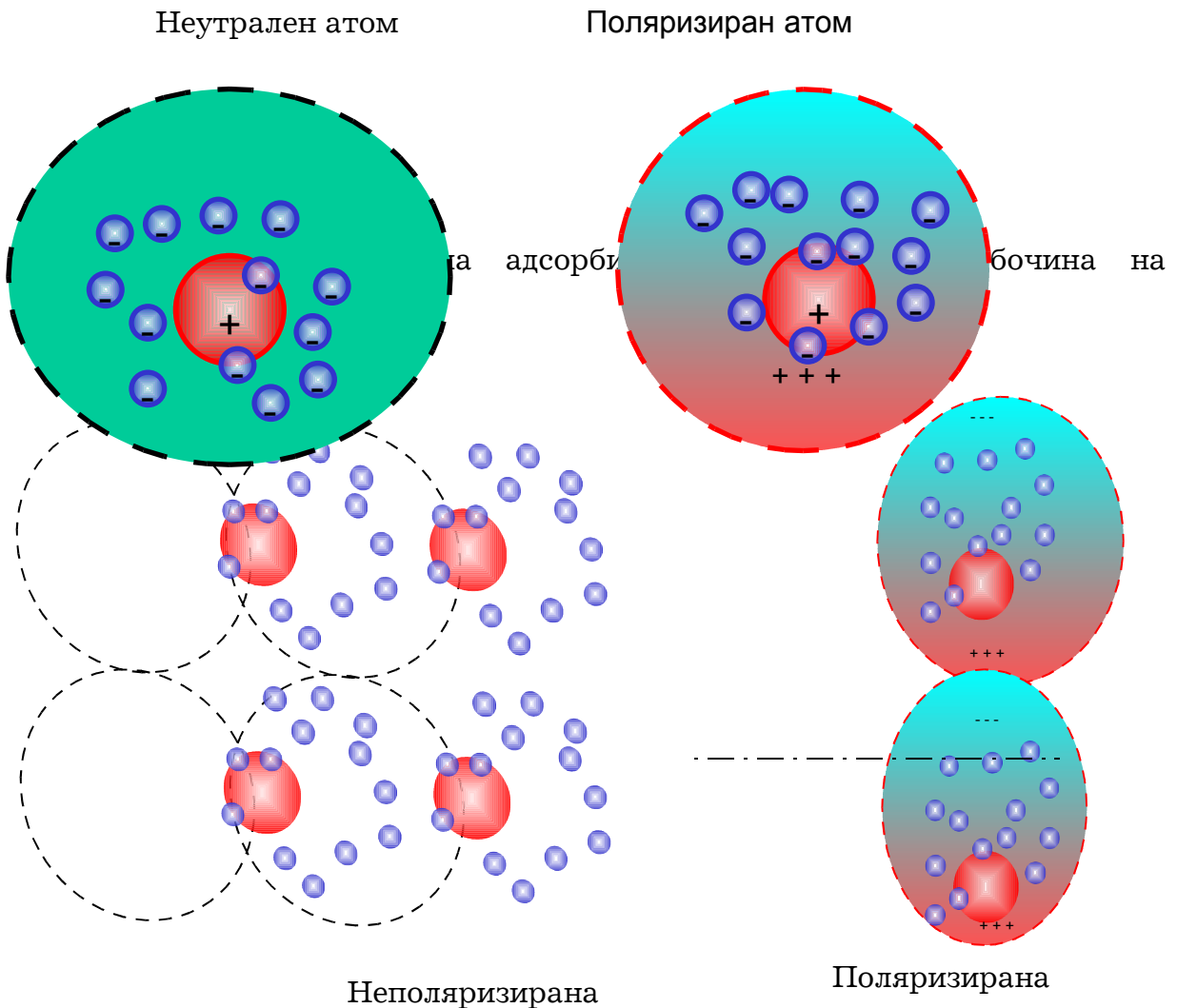
- Дисоциация - отделяне от използваната среда на активни атоми;

ДИСОЦИАЦИЯ

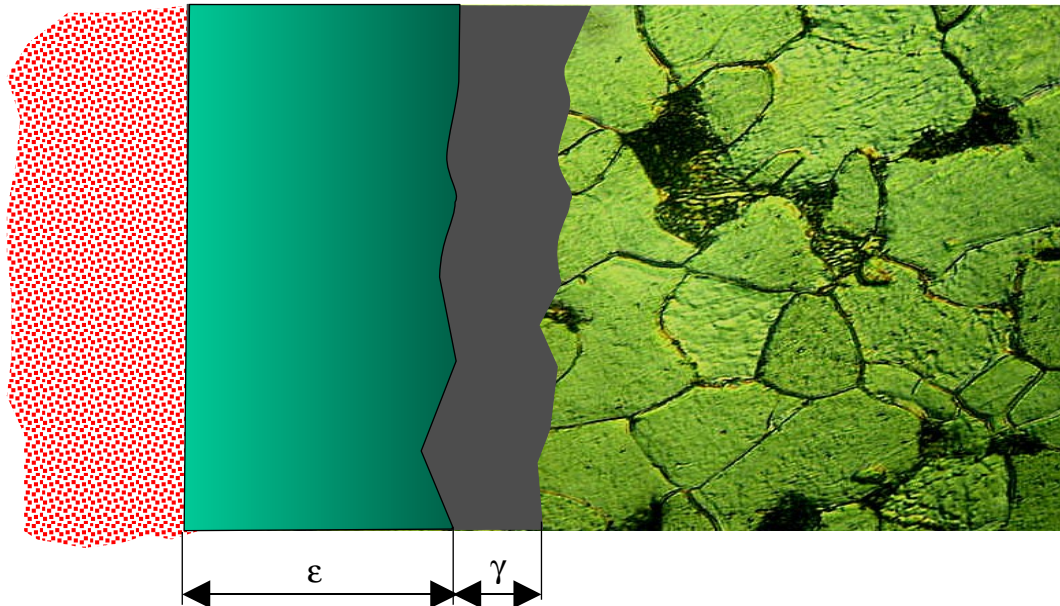


- Адсорбция - отлагане на активните атоми върху обработваната метална повърхност;

АДСОРБЦИЯ



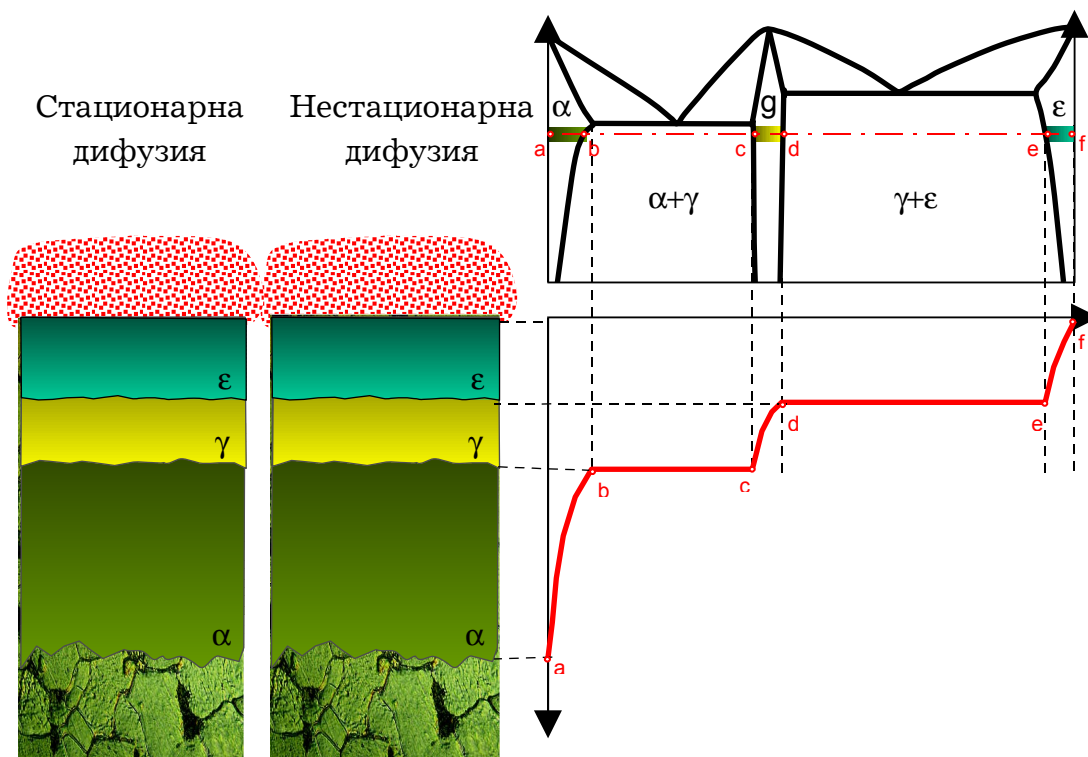
- Дифузия.
  - Най-често протича *реакционна* дифузия (фиг. 7.21), което представлява насочена дифузия на елемент (и) в твърда среда, водеща до формирането на многофазен дифузионен слой, в който фазите се редуват в отделни слоеве, спазвайки фазовия порядък в диаграмата на състояние, образувана от дифузанта и матрицата.



Фиг. 7. 21. Реакционна дифузия

При дифузия на един елемент в друг се образуват само еднофазни слоеве, подреждането на които в дълбочина на дифузионния поток следва порядъка на фазите в диаграмата на състояние на двата елемента. Двухазни слоеве се образуват, когато се извършва дифузия на един елемент в сплав от други два елемента, или когато дифундират едновременно два елемента в трети, т.е. образува се трикомпонентна сплав. Всеки еднофазен слой е с градиент на концентрация, отговарящ на изотермичното сечение на фазовото поле в диаграмата на състояние.

Ако се разгледа дифузията на В елементи по изотермата  $a - f$ , може да се проследи образуването на много фазни дифузионни слоеве (фиг. 7.22).



Фиг. 7. 22. Реакционна дифузия за двукомпонентни системи

Съвременната ТО и ХТО най-често се провежда в газова среда. Тя може да бъде с обикновена или с контролируема атмосфера. Обикновената атмосфера е окислителна, поради което за отговорни ТО и особено при ХТО не се използва. Нагриването в такава атмосфера води до интензивно окисляване и обезвъглеродяване на стоманите, крайно вредни повърхностни процеси. Контролируемите атмосфери се характеризират с нисък окислителен потенциал и определен навъглеродяващ потенциал. Когато в тях се добавят освен въглеродосъдържащи компоненти и други компоненти (N, B, S и др.), те имат сложен химически потенциал (азотен, боров, серен и т.н.).

Контролируемите атмосфери се получават в специални термични инсталации, наречени газгенератори. В тях се подават въглеродороди, изгарящи в катализираци нагreti до определена температура обеми с добавяне на кислород (въздух). В зависимост от степента на изгаряне на въглеродородите и продуктите от тяхната дисоциация, контролируемите атмосфери биват:

- екзо атмосфери – след пълно изгаряне със основен състав ( $N_2+CO_2$ ). Те са неутрално-окислителни. Използват се за нискотемпературни ТО и ХТО (до 700 °C);

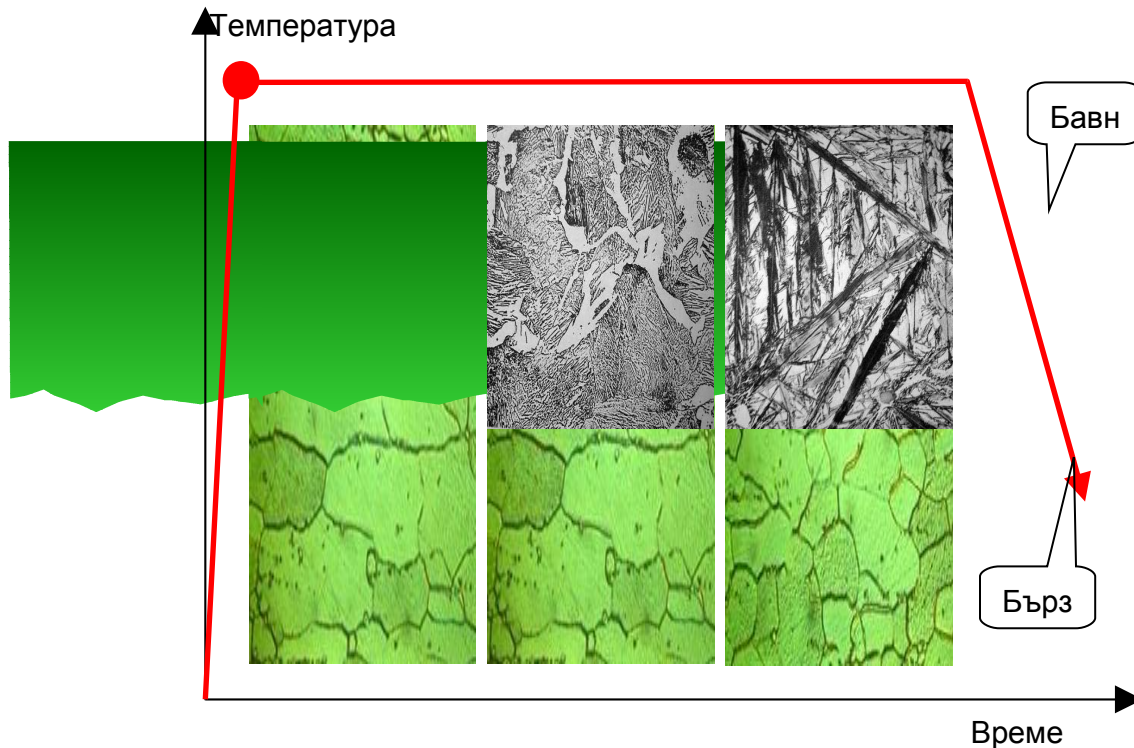
- ендо атмосферни- след непълно изгаряне със основен състав ( $N_2+H_2+CO$ ). Те са неутрално-навъглеродявци. Използват се за високотемпературни ТО и ХТО (над  $700^{\circ}C$ );

### Класификация на методите на насищане с С и N

C	N	C+N
Навъглеродяване (цементация)	Азотиране (нитриране)	Карбонитриране (нитроцементация)
↓	↓	↓
“Твърда”	Газово	Газово карбонитриране
Газова	Течно	Течна нитроцементация
	Йонно	

Цементацията е метод за обогатяване на повърхността с въглеродни атоми. Процесът се извършва при високи температури, лежащи в аустенитната област на желязо въглеродната диаграма. След навъглеродяването се извършва двойно закаляване - за издребняване на структурата в сърцевината на обработваното изделие и второ - за повишаване на повърхностната твърдост. В резултат се получава структура, която е различна на повърхността - мартензитна, и ферито-перлитна в сърцевината (фиг. 7. 23).





Фиг. 7. 23. Кинетика на процеса цементация

## КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Кои са основните процеси при термично обработване на стоманите? Дефинирайте понятията температура на нагриване и скорост на охлаждане.
2. Съществува ли разлика между закаляване, непълно отгряване и нормализация?
3. Кога се провежда и какво представлява отвърщането?
4. Каква е структурата на закалената стомана?
5. Какви са температурите на нагриване за закаляване на стоманите? С каква скорост трябва да се охлади стоманата при закаляване?
6. Когато искаме да запазим формата на стоманеното изделие, получено в резултат на студена пластична деформация, а искаме да намалим твърдостта и крехкостта, какво термично обработване извършваме?
7. Има ли разлика в температурите на нагриване при пълно и рекристализационно отгряване?
8. Каква е разликата в структурата на перлита, получен при равновесно охлаждане от аустенит, от тази на перлита, получен в резултат на високотемпературно отвърщане?
9. Какви структури се получават при отвърщане на закалена евтектоидна стомана до различни температури?
10. С каква цел се провежда нормализацията на стоманите? Какви са температурите на нагриване за нормализация?
11. Какви са температурите на нагриване за рекристализационно отгряване?
12. Може ли да се закали стомана 20? От какво зависи закаляемостта на стоманите?
13. Кои стомани са цементуеми? Може ли да се подложи на цементация стомана У8?

## Тема 8

### ВИДОВЕ ВЪГЛЕРОДНИ СТОМАНИ И ЧУГУНИ

Стоманата е основен технически материал, използван в промишлеността. Широката употреба на въглеродните стомани за изработване на машини, уреди и инструменти е обусловена от съчетанието на комплекс от механични, физични и технологични свойства. Освен това от икономическа гледна точка производството на стомана е относително евтино.

#### СТОМАНИ СТАНДАРТИ

По настоящем България преминава на европейските норми на означение (таблица 1 и 2), като все още е в гратисен период и са валидните старите означение съгласно БДС.

Таблица 1. Въглеродни стомани

Обикновено качество	EN 10025 (БДС 2592 -77)
Качествени	BDS EN 10083-1 (1996) BDS EN 10084 (1998) BDS EN 10111 (1998) BDS EN 10130 (1998)
Ресорно-пружинни	BDS EN 10083-1 (1996) EN 10132-4
Котлостроителна	BDS EN 10028-2 (1996)
Автоматна	BDS EN 10087-1 (1998)
Арматурна	BDS EN 10027-1 (1996)
Инструментална	BDS EN ISO 4957 (1999)

Таблица 2. Легирани стомани

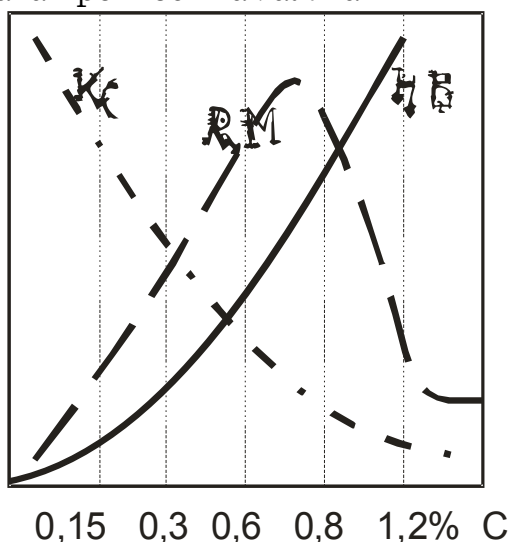
Конструкционна	BDS EN 10083-1 (1996) BDS EN 10084 (1998)
Корозионно устойчиви	BDS EN 10088-1 (1998)
Корпусна	BDS EN 10027-1 (1996)
Огнеупорни	BDS EN 10096 (1998)
Магнитомеки	BDS EN 10027-1 (1996)
Лагерни	EN ISO 683-17 (1999)
Бързорезни	BDS EN 10087-1 (1998)

	ISO 4957
Инструментални	BDS EN ISO 4957 (1999)

## ВЛИЯНИЕ НА ВЪГЛЕРОДА И ПРИМЕСНИТЕ ЕЛЕМЕНТИ ВЪРХУ СВОЙСТВАТА НА СТОМАНИТЕ

Вече е известно, че въглеродните стомани са желязо-въглеродни сплави със съдържание на въглерод под 2,14%. Освен желязо (97-99,5%) и въглерод тези сплави съдържат неизбежни спътници, наречени примеси, които се получават в резултат на различните металургични операции. Такива примесни елементи са Si, Mn, S, P, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Повечето от тези елементи са вредни и стремежът на производителите е да се намали съдържанието им в стоманата до незначително.

Най-голямо влияние върху свойствата на желязо-въглеродните стомани оказва *въглеродът* (фиг.8.1). Установено е, че с увеличаване на въглеродното съдържание значително нараства твърдостта (HB) на стоманите, а намалява ударната им жилавост (КС). Якостта на опън (R<sub>m</sub>) се увеличава до 0,83%С, след което поради нарасналата крехкост намалява.



Фиг. 8.1. Влияние на въглерода върху твърдостта (HB), якостта на опън (R<sub>m</sub>) и якостта на удар (Кс)

От благоприятните примеси в стоманата най-голямо влияние имат манганът и силицият.

Манганът достига до 0,8% в желязо - въглеродните сплави, разтваря се добре в аустенита и ферита. Той попада в стоманата при нейната дезоксидация и обезсеряване. Манганът повишава якостта и

износоустойчивостта на стоманите, като при това намалява незначително пластичността.

Силицият има подобно на мангана влияние. Служи също за дезоксидиране, но  $\text{SiO}_2$  влошава някои от механичните свойства на стоманата.

Сярата и фосфорът са изключително вредни примеси в стоманите. Сярата не се разтваря в желязото, а образува с него химичното съединение  $\text{FeS}$ , което увеличава крехкостта в температурния интервал (800-1000) °C. Това явление се нарича *червена крехкост* и е изключително вредно при горещата пластична деформация на стоманите. Десулфитизацията на стоманите се провежда с Mn, който свързва сярата в ламели:  
 $\text{FeS} + \text{Mn} = \text{MnS} + \text{Fe}$ .

Фосфорът също окрехкостява стоманата, но при студена пластична деформация и при ударни натоварвания. Този вид крехкост се нарича *студена крехкост*.

Газовете  $\text{O}_2, \text{N}_2, \text{H}_2$  образуват неметални включения (оксиди, нитриди), които силно влошават механичните свойства на сплавите. Особено вредно е влиянието на водорода, който предизвиква образуването микропукнатини, наречени *флокени*. Радикален метод за избягване на наличието на вредните примеси е леенето във вакуумна среда, което за съжаление е много сложен и изключително скъп технически процес и се прилага само при леене на специални стомани.

## ВИДОВЕ ВЪГЛЕРОДНИ СТОМАНИ

Основен класификационен признак на стоманите е въглеродното им съдържание. В зависимост от въглеродното съдържание стоманите се делят на нисковъглеродни - до 0,3% C; средно въглеродни - 0,3 до 0,5% C и високовъглеродни - от 0,5 до 2,14% C.

Таблица 2. Класификация на стоманите

Спрямо т. S	По въглеродно съдържание	По %C	По твърдост	По структура	По термично обработване	По предназначение
подевтектонни	нисковъглеродни	0,1 0,2 0,3	много меки меки меки	ферит ферит и перлит	за цементиция	конструкционни

подевтек- тоидни	средно въглеродни	0,4 0,5 0,6 0,7	средно твърди	ферит и перлит	за закаляване	конструк- ционни
евтек- тоидна		0,8		перлит		инструмен- тални
надевтек- тоидни	високовъг- леродни	0,9 1,0 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5 1,5	много твърди	перлит и вторичен цементит	за закаляване	инструмен- тални

В табл. 2 е посочена една от класификациите на въглеродните стомани, приета от специалистите по металознание в Техническия университет.

Според метода на производство стоманите биват *бесемерови, томасови, кислородно-конверторни, мартенови и добити в електрически пещи*. Най-евтини и нискокачествени са томасовите и бесемеровите, а най-висококачествени и скъпи - електростоманите.

Според основния начин на обработка се различават *лети, ковани и валцувани* стомани. При равни други условия лятата стомана има по-ниски механични свойства от останалите.

В зависимост от степента на дезоксидация (отделяне на газовете при производството на стоманата) стоманата може да е спокойна, полуспокойна и кипяща. В отделните марки стомана това се означава с индексите "сп" - спокойна, "пс" - полуспокойна и "кп" - кипяща. Кипящата стомана има най-ниски механични качества.

Качеството на стоманата се определя от съдържанието на вредни примесни елементи /сяра и фосфор/ и от наличието на неметални включения. Според допустимото количество на примесни елементи стоманите се делят на стомани с обикновено качество (до 0,06% S и 0,08% P), качествени стомани (до 0,04% S и 0,04% P) и висококачествени (до 0,03% S и 0,03% P) - означавани в края на означението с буква **A**.

## **ВИДОВЕ СТОМАНИ ПО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ**

Въглеродните стомани поради ниската им себестойност, задоволителните механични свойства и възможността им за лесна обработка обхващат 80-85% от общата употреба на стомана в света. Свойствата им

основно се определят от съдържанието на въглерод - с увеличаването му до 0,83% се повишава непрекъснато якостта на опън, границата на провлачане и твърдостта, но намалява пластичността. При съдържание на въглерод над 0.3% стоманата може да се закалява.

## **КОНСТРУКЦИОННИ СТОМАНИ**

### **Конструкционни стомани обикновено качество**

Това са стоманите със съдържание на въглерод под 0,7%. От тях се валцуват различни профили, ламарина, тръби, изтегля се тел, изковават се различни изковки. Стоманите са разгледани съгласно българския държавен стандарт. За означенията по Евронорма да се разгледат стандартите, посочени в таблица 1.

### СТОМАНИ Група А.

За тези стомани е гарантирана механичната им якост. Химичният им състав не се гарантира. Означават се с индекса "Ст" и цифра от 0 до 7, която определя номера на стоманата в стандарта.

Примерно означение: АСт 0, АСт 1, АСт 2 пс, АСт 4 кп, АСт 5 сп и др.

### СТОМАНИ Група Б

Това са стомани, за които заводът производител гарантира химичния им състав и не гарантира механичните им свойства. Означават се с главна буква Б, след нея индекса "Ст" и цифри след индекса от 0 до 7.

Пример: БСт 0, БСт 1 пс, БСт6 кп и т. н.

### СТОМАНИ Група В.

Това са стоманите с гарантирани както химичен състав, така и механични свойства. Означава се с главна буква В, индекса за стомана и цифри от 0 до 7.

Пример: ВСт2 пс, ВСт3 кп, ВСт 5 пс.

Стоманите от отделните марки се използват за изработване на различни части в металните конструкции. За неотговорни детайли се използват стоманите от група А - за обшивки, ограждения, арматура и др; за неотговорни детайли, които могат да се заваряват, обработват чрез студена пластична деформация и т.н. - група В.

## **Конструкционни качествени стомани**

Тези стомани в сравнение със стоманите обикновено качество са по-еднородни, притежават по-малко примеси, по-добри механични свойства и могат да се термообработват. Добиват се в сименс-мартенови и електропечи. Означението на стоманите от тази група е само с едно двуцифрено число без буква, което показва процентното съдържание на въглерод, умножено по 100. Например 45 (0,45% C), 20,30,65 и др.

### Нисковъглеродни качествени стомани

Това са стомани със съдържание на въглерод до 0,25%. Включват стомани марки 08,10,15,20,25. Притежават малка якост, но добра пластичност. Обработват се чрез студена пластична деформация - щамповане, изтегляне, заваряване и др.

### Средновъглеродни стомани

Съдържат въглерод от 0,3 до 0,5%. Имат по-висока якост и по-ниска пластичност в сравнение с предишната група стомани. Използват се за най-различни детайли в общото машиностроене: оси, валове, валци, зъбни колела, фриktionни дискове, винтове, болтове, гайки, клинове, шпонки и др. Това са стомани 30, 45 и 50.

### Високъвглеродни стомани

Стомани с въглерод от 0,55 до 0,65%. Използват се за високо натоварени детайли - валове, оси, мотовилки, бандажи, ресори, пружини и др. Притежават висока якост, еластичност, жилавост, износоустойчивост, които се получават в резултат на термична обработка. Към тази група влизат стомани марки 55,60 и 65.

## **Автоматни стомани**

Това са стомани с повишено съдържание на фосфор и сяра (до 0,15% фосфор и до 0,30% сяра), поради което имат по-добра обработваемост с режещ инструмент и се обработват на автоматизирани стругове, откъдето идва и името им. Произвеждат се 4 марки автоматни стомани - А12, А20, А30 и А40. Буквата означава, че са автоматни, числото - процентното въглеродно съдържание, умножено по 100. Тези стомани се използват за изработване на неотговорни свързващи елементи.

## **ИНСТРУМЕНТАЛНИ СТОМАНИ**

Съдържанието на въглерод в тях е от 0,7 до 1,3%. Добиват се в сименс-мартенови пещи и се доставят на пръти, профили и блокове. Произвеждат се 7 марки качествени и 7 марки висококачествени стомани - У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13 и У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А. Буквата У в марката означава, че стоманата е въглеродна инструментална, а числото - въглеродното съдържание в проценти, умножено по 10 (например У10 - 1%С). Поради високото съдържание на въглерод тези стомани могат да се закаляват до висока твърдост и за това от тях се изработват инструменти като секачи, чукове, щанци. От У10, У11 и У12 - се изработват метчици, плашки, а от У13 - пили. Тъй като нямат достатъчна топлоустойчивост инструментите, изработени от тези стомани, са само за ръчна работа.

## **ВИДОВЕ ЧУГУНИ**

Чугуни са групата на нековките високовъглеродни (над 2,14% С) технически сплави на желязото, чиято форма се получава само чрез леење. Главният сплавен елемент в чугуна е въглеродът и от неговия вид и форма се определят свойствата и видът на чугуна. Освен въглерод в чугуна се съдържат силиций, манган, фосфор, сяра, които, както вече знаем, са неизбежни спътници на техническото желязо.

### **В зависимост от вида на въглерода чугуните се делят на:**

- Бял чугун - въглеродът е в свързана форма във вид на железен карбид ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), наречен цементит. Ломът на тези чугуни е със светъл цвят, много са твърди, съответно много крехки и не се поддават на обработка с режещ инструмент.
- Сив чугун - по-голямата част от въглерода е под формата на графит. На графита се дължи по-тъмният металносив цвят. Свойствата на тези чугуни се определят в зависимост от влиянието на 3 основни фактора: а) вида на стоманената основа; б) количеството на графита и в) формата на графитните включения.
- Избелен чугун - при тези чугуни повърхността на отливките е със съдържание на цементит, а сърцевината - на графит.

### **В зависимост от формата на графитните включения чугуните биват:**

- Обикновен сив чугун (фиг. 8. 2,а) - графитът има пластинчата форма. Тази дендриитна форма на графита влошава якостните свойства на чугуна,



защото в някои случаи се явява като вътрешен концентратор на напрежения.

- Високояк сив чугун (фиг. 8.2,б) - графитът има глобуларна форма. Това са чугуните с най-добри механични качества.
- Ковък или още се нарича темперован чугун (фиг. 8.2,в)- графитните включения са разположени в звездообразни гнезда. Името на този вид чугун не означава, че чугуният може да се подлага на пластична деформация.
- Вермикулярен (фиг. 8.2,г)- по свойства, механични и технологични, той се разполага между чугуна с пластинчат графит (ЧПГ) и ЧСГ. Това го прави подходящ за машинни детайли, изработвани досега от модифицирани ЧПГ и ЧСГ, като цилиндри за компресори, вилки, карета и др. В България все още не е достатъчно популярен.

Всеки един от видовете сиви чугуни може да бъде с феритна, ферито-перлитна или перлитна метална основа.

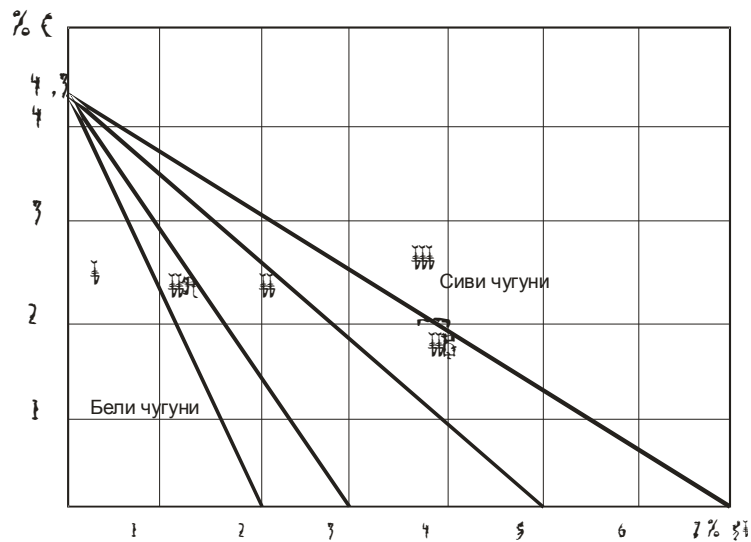
1 \ 2	ПЛАСТИНЧАТА ФОРМА	СФЕРИЧНА ФОРМА НА ГРАФИТА	ЗВЕЗДО ОБРАЗНА ФОРМА	ВЕРМИКУЛЯРЕН
Ф				
Ф+П				
П				
	а)	б)	в)	г)

Фиг. 8. 2. Видове сиви чугуни според структурата им

За получаване на благоприятна форма на графитните включения се използват различни технологични методи:

- 1) прегряване над температурата на топене, с което се намалява броят на кристализационните графитни центрове;
- 2) модифициране /вносяне/ в стопилката на модификатори, представляващи изкуствени кристализационни центри;
- 3) обработване на стопилката с Mg.

По принцип отделянето на графит от стопилката зависи от скоростта на охлаждане и от условията за осъществяване на дифузионните процеси. Съществена роля играят постоянните примеси в стопилката. Въглеродът и силицийт поддържат образуването на графита и се наричат графитизатори. Тяхното влияние може да се проследи в диаграмата на Мауер (фиг. 3). На нея се различават 5 области . При съдържание на силиций до 2% след охлаждането на стопилката се получават бели чугуни. Наличието на 2 до 3% Si води до образуването на чугуни с цементит-ледебуритна структура (мелирани сиви чугуни). При съдържание на силиций над 3% се образуват сиви чугуни: 3 до 5% Si - феритно-перлитни сиви чугуни и над 5% Si - феритни сиви чугуни. С най-добри якостни свойства са сивите чугуни с перлитна метална основа.



Фиг. 8. 3. Диаграма на Мауер

Манганът притежава антиграфитизиращи свойства, но при съдържание до 1% не оказва влияние върху графитизирането на чугуна.

Чугунът е първокласен леярски материал. От чугун се леят най-сложни (леки или много тежки) машинни части, чиято форма не би могла да се получи по никакъв друг начин. Главно на това технологично свойство се дължи извънредно широката му употреба - средно 50%, а в някои случаи и над 85% от теглото на машините се пада на чугуна.

Якостта на чугуна основно зависи от структурата му. Имайки предвид, че чугунът представлява една стоманена основа с графитни включения, то и механичната якост ще зависи от якостта на стоманената му основа, а така също и от количеството, формата и големината на графитните включения. Най-малка е якостта при обикновения сив чугун, а най-голяма - при

високоякия. В зависимост от якостта чугуните се делят на три групи: с ниска (100 - 120 МПа), средна (200 - 400 МПа) и висока якост (над 400 МПа). Чугуните с висока якост (т.е. чугуните с глобуларен графит) притежават и известна пластичност и поради тези свои свойства в някои случаи заместват стоманите.

Твърдостта на чугуна е в порядъка от 190НВ до 275НВ.

Уморната якост на чугуните също зависи от вида на графитните включения и от формата на отливките - и при най-малките надрези концентрацията на напреженията расте неимоверно и уморната якост пада.

Основно значение на чугуните е много добрата им способност да поглъщат вибрации. Отличните им антифрикционни свойства ги правят незаменими при изработването на триещи се детайли.

Означенията на чугуните се определят от българския държавен стандарт, а в последните години след 2006 от Европейските стандарти:

- БДС 1799-74 определя 6 марки сив чугун с пластинчат графит. Означението им се извършва с буквен символ СЧ (сив чугун) и число, показващо якостта на опън, умножено по 10 в (МПа) - СЧ10, СЧ15, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35. Например в означението СЧ10 -  $R_m=100$  МПа.

- БДС 6990-84 определя 8 марки чугун със сфероиден графит, означени с буквен символ ВЧ (високояк чугун) и две числа, отделени с тире. Първото число означава якостта на опън  $R_m$  (МПа), а второто - относителното удължение  $A$  в (%).

ВЧ 300-22, ВЧ 400-15, ВЧ 450-10, ВЧ 500-2 и др.

- БДС 4867-75 определя 11 марки ковък чугун, които в зависимост от начина на термообработка се делят на отливки от бял ковък чугун, от черен ковък чугун, от перлитен ковък чугун. Тези чугуни се бележат с буквения символ КЧ и две числа, отделени с тире. Първото число, умножено  $\times 10$ , означава якостта на опън в (МПа), а второто - относителното удължение в (%). КЧ 35-4, КЧ 40-5, КЧ 32-8, КЧ 35-10, КЧ 45-7 и др.

От обикновените сиви чугуни се изработват неотговорни лети детайли: капачки, фланци, стойки, плочи, различни тежести. Изработват се и детайли, които изпитват ниски динамични натоварвания, а също и работещи в условия на сухо триене и триене със смазки - цилиндрови блокове на двигатели, картери, спирачни барабани, корпуси на металорежещи машини; детайли, подложени на средни динамични натоварвания като корпуси, картери, тела на помпи и металорежещи машини, различни стойки. Изработват се и детайли, работещи при високи динамични и статични натоварвания или в условия на силен износ - зъбни и верижни колела, спирачни барабани, пръстени и др.

От чугуни със сфероиден графит се изработват колянни валове на автомобилни и тракторни двигатели, картери, зъбни и верижни колела, прокатни валове, тела на парни турбини и др.

Ковкият чугун се отличава с много добра тънколивност и затова се използва предимно за тънкостенни отливки със сложна форма, които не могат да се леят от стомана. Изработват се отливки за съединители, стойки, скоби, държачи, картери на редуктори, заден мост на автомобили, при които се изисква повишена пластичност и якост. Детайли, работещи при големи и особено големи динамични и статични натоварвания или в условия на силен износ: съединители, колянни валове, звена и ролки на верижни конвейери, спирачни барабани и мн. др.

## **КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ**

1. Какво е стомана? Какво означава подевтектоидна, евтектоидна и надевтектоидна стомана? Кое определя вида на структурите и свойствата им?
2. Каква е разликата между ниско- и високовъглеродните стомани?
3. Какви са свойствата на стоманите в зависимост от въглеродното им съдържание?
4. Кои стомани са конструкционни и кои инструментални?
5. Стоманите обикновено качество от група А могат ли да се подлагат на термична обработка?
6. От какво се определя качеството на една стомана?
7. По какво се различават котлостроителните стомани от останалите? Кои техни свойства гарантира завода-производител?
8. Напишете една марка стомана конструкционна качествена и намерете мястото и' в желязо-въглеродната диаграма. Опишете структурата и' при стайна температура. Какви свойства има тази стомана?
9. Какво означава записът: 08кп? По какво се различават кипящите от спокойните стомани?
10. Какво различава инструменталните от конструкционните стомани?
11. Какво означава написана буква "А" след означението на една стомана (например У9А)?
12. Каква стомана трябва да се избере, за да се изработи цистерна, която ще превозва газ под налягане?
13. Изберете стомани за изработването на следните инструменти: чук, пила, лист на ръчна ножовка.
14. От каква стомана трябва да се изработят серия неотговорни гайки чрез рязане на струг с ЦПУ?
15. Какво е чугун?
16. Колко вида чугуни познавате?
17. Могат ли и бял, и сив чугун да имат едно и също въглеродно съдържание?
18. Каква е структурата на сивите чугуни? По какво си приличат и по какво се различават обикновените сиви чугуни от високояките?

## ТЕМА 9 ЛЕГИРАНИ СТОМАНИ

### **ВЛИЯНИЕ НА ЛЕГИРАЩИТЕ ЕЛЕМЕНТИ ВЪРХУ СВОЙСТВАТА НА СТОМАНИТЕ**

Легираните стомани са значително по-скъпи от въглеродните и въпреки това се налага използването им за изработване на детайли и конструкции, към които се предявяват по-специални изисквания. Например материалът на някои отговорни детайли трябва да бъде едновременно с висока якост, пластичност и жилавост, а въглеродните стомани не могат да притежават и трите качества едновременно. В много случаи се изисква висока корозионна устойчивост, магнитни свойства, нисък коефициент на топлинно разширение и т. н., свойства, които въглеродните стомани не притежават. Ето защо се произвеждат специални легирани стомани, в които различните легиращи елементи влияят по-различен начин върху свойствата на металите.

Съществено влияние върху режима на ТО и свойствата на обработените стомани оказват легиращите елементи. На първо място легиращите елементи влияят на мястото на характерните точки в желязо-въглеродната диаграма. Установено е влиянието на различните елементи върху положението на  $\alpha$ - и  $\gamma$ -областите. Например елементи като кобалт, манган, никел и др. разширяват  $\gamma$ -областта, а елементи като хром я стесняват. По принцип изоморфните на  $\gamma$ -желязото (решетката им е еднаква с неговата) елементи, разширяват  $\gamma$ -областта, докато изоморфните на  $\alpha$ -желязото елементи я стесняват. Съществуват обаче и изключения. Легиращите елементи изместват и положението на критичните точки в диаграмата. Различните легиращи елементи влияят на положението на  $t_S$  в диаграмата по различен начин. При закаляване една въглеродна стомана трябва да се загрее най-напред над  $A_3$  (до аустенитната област), за да добие структура аустенит, и след това да се охлади с подходяща скорост. При съдържание на 12% манган евтектоидът ( $t_S$ ) преминава в аустенит още при температура 600 °C, която е с около 127 °C по-ниска от тази в желязо-въглеродните сплави. Очевидно е голямото влияние на легиращите елементи върху температурата на закаляване, а така също и върху другите температури на ТО.

Легиращите елементи изместват кривите на изотермично разпадане на аустенита. По принцип те преместват тези криви надясно, което означава, че намаляват критичната скорост на охлаждане при закаляване. Освен това изместването на кривите надясно повишава прокаляемостта на стоманите. При критична скорост по-малка от скоростта на въздуха протича перлитно разпадане на аустенита; при критична скорост много по-голяма от тази на

въздуха стоманата се закалява на мартензит, ако началната температура на аустенит-мартензитно превръщане  $M_n$  е по-висока от стайната температура; при критична скорост по-малка от скоростта на въздуха и понижена  $M_n$  стоманата запазва аустенитната си структура. Тъй като критичната скорост на охлаждане е свързана с устойчивостта на аустенита, а пък разпадането на аустенита е свързано с дифузията на елементите, то всеки фактор, който забавя протичането на дифузионните процеси, повишава устойчивостта на аустенита и следователно понижава критичната скорост. Легиращите елементи стабилизират аустенита само когато са разтворени в него, а ако се намират в стоманата във вид на карбиди, намаляват неговата устойчивост, защото се явяват като кристализационни центрове.

Наличието на легиращи елементи оказва влияние и върху свойствата на стоманите при отвърщане. Някои легирани с хром и манган стомани при отвърщане проявяват склонност към окрежкостяване. Това довежда до понижаване на жилавостта при температури, по-високи от 200-300 °C. Причината за появяването му все още не е добре изяснена. Предполага се, че се дължи на неблагоприятно разпределение на отделящите се при отвърщането вторични фази, които се появяват при бавно охлаждане, а остават в твърдия разтвор при бързо охлаждане.

Описаното влияние на легиращите елементи върху критичната скорост на закаляване, върху прокаляемостта и върху температурите на превръщане е от огромно значение за различните видове термично обработване на детайли и части с различно тегло и конфигурация.

Това е особено важно, тъй като легираните стомани почти не се използват без термообработване.

## **КЛАСИФИКАЦИЯ НА ЛЕГИРАНИТЕ СТОМАНИ**

В различните страни легираните стомани се класифицират и означават по различен начин. У нас основен показател на класификацията е предназначението на стоманата. В зависимост от предназначението си легираните стомани биват конструкционни, инструментални и стомани със специални свойства. В таблица 1 е посочена една възможна класификация на легираните стомани.

Таблица 1. Вияние на основните легиращи елементи върху свойствата на стоманата

C	Cr	Ni	Mn	Si	Mo	W	V
40	топлоустойчивост	аустенитни Cr-Ni стомани и стомани с особени физични свойства					
20	корозоустойчивост		аустенитни Mn-Cr и Mn-Cr-Ni-корозо- и топлоустойчиви			бързорезни (рапидни)	бързорезни
16	пассивация	Cr-Ni корозоустойчиви, топлоустойчиви	аустенитни износоустойчиви- Cr-Mn-Ni-N				
12					повишена устойчивост срещу петниста корозия		
8	топлоустойчивост	Mn-Ni - двуфазни			повишава устойчивостта на корозоустойчивите стомани в активно и пасивно състояние	повишава твърдостта и износоустойчивостта на инстр. стомани	
4	устойчивост срещу водород		нисколегирани стомани - повишена прокалиемост и подобрени механични характеристики	подобрява магнитните загуби в електростоманите			
2	начало на устойчивостта срещу водород		0,9%	нисколегирани конструкции стомани - повишена якост, граница на еластичност, прокалиемост			
1	нисколегирани (Mo, V) Повишава прокалиемостта, механичните			0,5%	повишена топлоустойчивост на нисколегирани стомани	повишена топлоустойчивост на нисколегирани стомани (Cr, V, Mo)	повишава топлоустойчивостта и стабилността след отвярщане
0,6	-те свойства, топло и износоустойчивостта				повишена температурна на отвярщане, намалена крехкост при отвярщане на конструкция стомана		
0,4				повишава топло- и износоустойчивостта на Cr-Ni стомани в силно реактивни среди (HNO <sub>3</sub> )	повишена температурна на отвярщане, намалена крехкост при отвярщане на конструкция стомана		
0,3					0,1%		издребнява кристалните зърна
0,2							
0,1							

## **КОНСТРУКЦИОННИ ЛЕГИРАНИ СТОМАНИ**



Използват се за изработване на натоварени и отговорни детайли. Общото съдържание на легиращи елементи в тях не надвишава 5-6%. Съдържанието на въглерод е до 0,7%.

От своя страна конструкционните стомани биват стомани за навъглеродяване (до 0,3%С) и за закаляване.

Примерно означение на стомани от тази група:

15 X - 0,15%С и 1%хром, за навъглеродяване;

40 X - 0,40%С и 1%хром, за закаляване;

18 ХГТ - 0,18%С, 1%манган и титан, за навъглеродяване.

Конструкционните стомани носят името на основния легиращ елемент в тях.

**Хромовите стомани** са едни от най-широко използваните, защото са сравнително евтини и притежават висока якост, твърдост и износоустойчивост. Широко приложение имат 15X и 20X за изработване на детайли, подлежащи на навъглеродяване: втулки, оси и валове, клапанови повдигачи, бутални болтове и др., от които се изисква голяма повърхностна твърдост и мека пластична сърцевина. От стомани с по-високо въглеродно съдържание (30X, 35X, 38ХА, 40X) се изработват по-отговорни детайли: шпилки, зъбни колела, червяци, автомобилни полуоси и др., които се подлагат на термично обработване.

**Мангановите стомани** съдържат 0,7-1,8% манган. Те се характеризират с добра обработваемост чрез рязане, якост, твърдост и др. Манганът е сравнително евтин и недефицитен елемент. Стомани 15Г, 20Г, 30Г, 35Г2, 40Г, 45Г, 50Г2 и др. се използват за изработване на колянни и карданни валове, зъбни колела, мотовилки и други среднонатоварени детайли.

**Силициевите стомани** са с висока якост и еластичност. Стоманите с по-високо съдържание на силиций (55С2, 60С2, 60С2А, 70С3А и др.) се използват за изработване на пружини и ресори в автомобилно-, тракторостроенето, в жп транспорта и други отрасли на машиностроенето.

**Хром-никеловите стомани** също са разпространени стомани. Хромът повишава твърдостта, а никелът пластичността. Чрез изменение на съотношението им могат да се получат стомани с якост между 750 и 1700 МПа и ударна жилавост между 400 и 3000 кJ/m<sup>2</sup>. Нисковъглеродните хром-никелови стомани 12ХН2А, 12ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХН, 20ХН3А се използват за детайли, които се подлагат на навъглеродяване: бутални болтове на двигатели с вътрешно горене, разпределителни валове, зъбни колела, червяци, палци, втулки и др. По-високъвглеродните стомани 30ХН2А, 30ХН3А и др. могат да се подобряват и се използват за зъбни колела с постоянно зацепване, водещи зъбни колела, силови шпилки и др.

**Хром-силициевите стомани** са устойчиви срещу окисление при високи температури и се използват предимно за подобряеми детайли, от които се изисква висока якост и износоустойчивост: клапанови седла на двигателите с вътрешно горене, валове, зъбни колела, съединители и др. Представители на тези стомани са 33ХС, 38ХС, 40ХС, Х9С2 и др.

**Хром-алуминиевите стомани** са предназначени за азотиране. Хромът и алуминият образуват нитриди по повърхността на стоманите, които придават голяма твърдост и износоустойчивост на стоманите. Типични стомани са 35ХМЮА, 38Х2МЮА.

**Хром-мангановите стомани** се използват като заместители на хром-никеловите стомани. Произвеждат се марките 15ХГ, 20ХГ, 35ХГ2А и др.

**Хром-манган-силициевите стомани** са известни под името хромансил - 20ХГС, 25ХГС, 30ХГС, и се използват основно в самолетостроенето.

## **ИНСТРУМЕНТАЛНИ ЛЕГИРАНИ СТОМАНИ**

Основна тяхна особеност е високата им прокаляемост, която позволява закаляването им в дълбочина, без да се напукват и изкривяват инструментите, изработвани от тези стомани. Според предназначението си биват стомани за режещи инструменти, стомани за щампи и щанци и стомани за измерителни инструменти.

**Стомани за режещи инструменти.** 9Х1, 9ХС, ХВ4, ХВГ, 9ХВГ са нисколегирани инструментални стомани и се използват за изработване на инструменти, работещи при ниски температури - метчици, плашки, фрези, свредла, райбери, дървообработващи инструменти и др. Когато трябва да се запазват режещите свойства при загряване до 650 °С, се използват т. нар. бързорезни стомани - Р9, Р18, Р6М5, Р9М4К8 и др. В съставът им влизат волфрам, кобалт, молибден. Скоростта им на рязане е 3-4 пъти по-голяма, отколкото с въглеродна стомана, но волфрамът е много скъп.

**Стомани за щампи** са стоманите за инструменти, които деформират метала в горещо състояние и следователно трябва да притежават добри механични свойства при високи температури. От стоманите 5ХНМ, 5ХГМ, 4ХМФС, 6ХВ2С, 6ХВГ, 40Х5МФ и др. се изработват щампи на паровъздушни и пневматични преси, поансони и пресформи, матрици и др.

Стоманите, които деформират метала в студено състояние, трябва да притежават висока ударна якост, твърдост, износоустойчивост и малка деформируемост. На тези изисквания отговарят стоманите Х6ВФ, Х12, Х12М, Х12МФ, 7ХГ2ВМФ и др.

**Стомани за измерителни инструменти.** Тези стомани трябва да са твърди, износоустойчиви и да не са склонни към стареене. Цилиндричните

калибри се изработват от X, ШХ15 (хромът при тези стомани не е 15, а 1,5%), резбовите калибри - от ХВГ, а плоските измерителни инструменти от стоманите 20, 20Х, 50, 55 и др.

## СТОМАНИ СЪС СПЕЦИАЛНИ СВОЙСТВА

**Неръждаеми стомани** са стоманите, устойчиви срещу корозия. Според състава си тези стомани се делят на:

- **хромо**ви - 08Х13, 10Х13, 12Х13, 20Х13. От тях се изработват детайли с повишена пластичност, подложени предимно на ударно натоварване, като клапани на хидравлични преси и помпи, лопатки на турбини и др. Стоманите 30Х13, 40Х13, се използват за изработване на режещи, хирургични и измерителни инструменти.

- хром-никелови стомани - 08Х17Т, 10Х17Н14М2Т, 17Х18Н9Т, 12Х18Н10Т и др., които са устойчиви срещу киселини и могат да работят в силно агресивни среди. От тях се изработват топлообменници, съединители, тръби, заварени цистерни, корпуси, дъна, фланци на химични апарати и др.

**Огнеупорни** стомани. Те са устойчиви на окисляване при високи температури. Най-разпространени са стоманите Х9С2, 15Х25Т, 15Х28, 20Х25Н20С2. Използват се за части на нагревателни пещи, вентилатори за горещи газове, горелки, топлообменници, клапани на двигатели с вътрешно горене и др.

**Топлоустойчиви** стомани. Запазват механичните си свойства при високи температури. 1Х10С2М, 4Х14Н14В2М се използват за работа при температури до 700 °С. При по-високи температури - 700 до 1200 °С се използват стомани със съдържание на никел, ванадий, молибден (ХН70ВМЮТ, ХН35ВТ).

**Износоустойчиви** стомани. Типичен представител на тази група е стомана Г13. Това са стомани, подложени на интензивен износ. Намират приложение при изработването на верижни прешлени на трактори и влекачи, мелнични брони, челюсти на каменотрошачки и др.

Многообразието на легираните стомани е огромно и не е възможно да се обхване в един кратък учебник. По принцип при избор на материал за изработване на конкретен детайл се имат предвид основните механични свойства, икономическите показатели, ергономичните и екологични фактори и се подхожда строго индивидуално.

## КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Има ли разлика между легиращ и примесен елемент?
2. С каква цел се легира стоманите?

3. Какви са принципите на означаване на легираните стомани съгласно БДС? На какво място в поредицата от цифри и букви се поставя хромът? Какво означава буквата "А", записана в края на означението?
4. Кои стомани са цементуеми, кои закаляеми?
5. По какво си приличат и по какво се различават стомани У8 и Р6М5? Кога се използва стомана Р6М5?
6. Когато е необходима голяма твърдост и износоустойчивост при динамични натоварвания, се използва износоустойчива стомана. Дайте пример за такава стомана.
7. Кои стомани са киселиноустойчиви? Дайте пример за киселиноустойчива стомана със съдържание на хром 18% и никел 8%.
8. Кои стомани са устойчиви срещу окисляване при високи температури? Дайте примери.
9. Какви стомани се използват за работа при високи температури - 700 - 1200°C?  
Комбинацията от кои легиращи елементи прави стоманите топлоустойчиви?
10. Определете вида и предназначението на изброените стомани: 12ХН3А, 38ХМЮА, 55С2АФ, ХВГ, Р18 и 0Х17Н9Т.

## Тема 10 НЕЖЕЛЕЗНИ МЕТАЛИ И СПЛАВИ

### ОБЩИ ПОНЯТИЯ

Към тази група спадат всички метали и сплави, които не съдържат или съдържат в малки количества желязо.

Технически цветни метали (нежелезни) се наричат медта, алуминият, цинкът, магнезият, оловото, калаят, никелът и титанът.

### МЕД И МЕДНИ СПЛАВИ

**МЕД.** Медта е един от най-широко използваните нежелезни метали с характерен жълто-червен до розово-червен цвят. Плътността на медта е  $8,95 \text{ g/cm}^3$ , якостта на опън ( $R_m$ ) - (200 - 270) МПа, твърдостта - (35-42)НВ във валцовано състояние, температура на топене  $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура на кипене  $2600 \text{ }^\circ\text{C}$ , специфична електропроводимост  $60 \text{ MS/m}$ , топлопроводност  $394 \text{ W.m}^{-1}\text{deg}^{-1}$ . Медта е със стенноцентрирана кубична решетка.

В природата медта се среща във вид на руди и рядко самородна.

Намира приложение поради високата си **електропроводимост**, като се използва основно за проводници (около 50% от добиваното количество); поради високата **топлопроводимост** намира приложение за изработване на радиатори и промишлени апарати за хладилната техника и химическата промишленост.

Медта е извънредно пластична. От нея могат да се изтеглят много тънки листове ( $\approx 2,6 \mu\text{m}$ ). При леене не дава плътни отливки, тъй като в течно състояние поема много газове, които освобождава при охлаждане. При продължителен престой на влага придобива покритие от меден карбонат, наречено патина, което я предпазва от по-нататъшно окисляване, но е силно токсично. При действие на киселини медта дава отровни съединения. Особено добре се запоява с различни припои.

Върху свойствата на медта силно влияние оказва наличието на примеси. Присъствието и на най-малки количества довежда до понижаване на електро- и топлопроводимостта, а така също и на механичните свойства. Части, от които се изисква голяма механична якост, не се изработват от чиста мед, а от медни сплави.

### МЕДНИ СПЛАВИ

**МЕСИНГИ.** Това са сплавите на мед и цинк.

а/ Обикновеният месинг е със съдържание на мед 57 - 80%, останалото е цинк. У нас се произвеждат няколко марки: CuZn43, CuZn41, CuZn38, CuZn32,

CuZn30. Означението на месингите е съгласно БДС 2086-71 и 13710-76. На първо място се поставя химичният символ на медта - Cu, след което символът на елемента с най-голямо процентно съдържание, изразено с цяло число. От CuZn32, CuZn30 се изработват тънки ламарини, ленти, тел, тънкостенни тръби и др. Тези месинги се обработват лесно чрез гореща и студена пластична деформация. Месингите CuZn43, CuZn41 са евтини и притежават добри механични свойства, поради което намират широко приложение в машиностроенето. Леят се добре, обработват се леко чрез пластична деформация. Произвеждат се във вид на прътове, тръби, ленти, профили.

б/ Специални месинги са месингите, легирани с алуминий, манган, олово, никел, желязо в количество най-много до 4%. При означаването им освен мед и цинк се поставят и първите букви на елемента, който съдържа: Al - алуминий, Sn - калай, Pb - олово, Ni - никел, Mn - манган, P - фосфор и др. и число, означаващо количеството на съответния елемент в цяло число проценти.

*Примерно означение:* CuZn23Al6Fe3Mn2 - това означава месинг със съдържание на 66% мед, 23% цинк, 6% алуминий, 3% желязо и 2% манган.

Легиращите елементи придават допълнителни свойства на месингите. Алуминиевият месинг е корозоустойчив, силициевият - притежава висока якост, корозоустойчивост и от него се изработват отливки под налягане. Мангановият месинг има висока якост и корозоустойчивост в агресивни среди. Произвеждат се също калаени, оловни, манганово-силициеви и други месинги.

**БРОНЗИ** са сплавите на медта с калай и на медта с други елементи с изключение на цинка.

Маркират се съгласно БДС 14010-77 и 14009-77 подобно на месингите. Например CuSn6Zn6Pb3 означава бронз, който съдържа 6% калай, 6% цинк, 3% олово и останалото до 100% е мед.

Калаените бронзи, носещи името обикновени бронзи, имат добра якост, твърдост и добри антифрикционни свойства. Известни марки са CuSn10, CuSn11Ni4Pb3, CuSn10Zn3 и др., наричани още леярски бронзи. От бронзи, съдържащи олово (CuSn10Pb2, CuSn11Pb1,5), се изработват плъзгащи лагери, тъй като са пластични и могат лесно да се деформират. Примесите от сяр, олово, антимон и др. намаляват пластичността им. Понастоящем се предпочита калаените бронзи да се заместват с други сплави поради дефицитността на калай.

В безкалаените бронзи калаят е заменен с други елементи. Познати са алуминиевите бронзи, които са силно антифрикционни, корозоустойчиви и

имат много добри механични свойства. Използват се алуминиевите бронзи CuAl5, CuAl7, CuAl10; силициево-мангановият бронз CuSi1Mn3, силициево-никеловият CuSi1Ni2, мангановият бронз CuMn5, берилиевият CuBe2, които според свойствата си намират приложение за изработване на различни изделия: парна арматура, червячни колела, зъбни колела, лагерни втулки и много други специални детайли, от които се изисква корозоустойчивост, износоустойчивост, антифрикционни свойства и т.н.

Известни са и други медни сплави, които имат своето място в техниката. Медно-никеловата сплав с добавка на цинк, наречена алпака и съдържаща 15% никел, 20% цинк и 65% мед, се използва в ядрената техника за изработка на корозоустойчиви и топлоустойчиви детайли. Сплавта копел с 44% никел притежава високо електрично съпротивление и се използва в електронагревателни и други уреди.

## **АЛУМИНИЙ И АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ**

**АЛУМИНИЙ.** Алуминият има следните характеристики: плътност -  $2,7\text{g/cm}^3$ , якост на опън - 60-80 МПа, твърдост - 25НВ, сиво-бял цвят. Той е със стенноцентрирана кубична решетка.

Корозоустойчив е на въздух, притежава висока пластичност, топло- и електропроводимост. Обработка се чрез леене, пластична деформация и рязане.

Означава се чрез Al и число, което означава дробната част от процентното съдържание на алуминий над 99%. Например Al 95 съдържа 99,95% алуминий. Чистият алуминий се използва за кондензатори, електропроводници и фолио, тел, листове, тръби, съдове и др.

**АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ.** В зависимост от начина на производство алуминиевите сплави се делят на леярски и деформируеми.

Леярските алуминиеви сплави се означават с Al и знака на съответния химичен елемент. В зависимост от основния легиращ елемент се делят на алуминиево-медни 2-12% мед, алуминиево-силициеви с 11-13% силиций, наречени силумини, алуминиево-магнезиеви 9-11% магнезий. По принцип с увеличаване количеството на евтектиката се подобряват леярските свойства, но твърдите кристали Si поради голямата си крехкост силно намаляват пластичността на сплавта. За да се подобри пластичността, тези сплави се модифицират с натрий или смес от натриеви соли. Силумините не се подлагат на уякчаваща термична обработка и от тях се отливат малко натоварени детайли. От AlSi11, AlSi11Mg1, AlSi7Mg2 се изработват части на двигатели с вътрешно горене - картери, цилиндрични глави, болтове и др. AlSi5Cu5,

AlSi5Cu2 са по-широко известните алуминиево-медни сплави. Те се използват за отливане на картери, охладителни ризи за цилиндри, за бутала на двигатели с вътрешно горене и др. AlMg10, AlMg5Si2 са най-използваните алуминиево-магнезиеви сплави. От тях се изработват високо-натоварени части в самолетостроенето.

Деформируемите алуминиеви сплави се образуват чрез сплавяне на алуминия с мед, магнезий и манган. Деформируеми сплави с висока якост са сплавите на Al с Cu. Сплавите, съдържащи от 0,5 до 5,7% Cu, при охлаждане под 548 °C отделят вторична фаза CuAl<sub>2</sub>, която винаги уякчава съответната сплав. За подобряване на ефекта от термичното обработване тези сплави се легираат с Mg, Si, Fe и др. Типичен представител на тази група сплави е дуралуминият - сплав на алуминия с 4% мед. Дуралуминиеви сплави са AlCu4Mg, AlCu4Mg2. Недостатък на дуралуминият е ниската му корозионна устойчивост. Използва се за изработване на високонатоварени части в автомобили, вагони, самолети; ковките алуминиеви сплави имат повишена пластичност в горещо състояние. Сплавите AlCuMg или AlMgZnCu например се използват за изработване на силови детайли със сложна форма като конзоли, опори и др., получавани чрез коване и щамповане; топлоустойчиви сплави са тези, които съдържат мед, никел, титан, желязо, манган. Могат да се прилагат до температури 250-350 °C.

## **ТИТАН И ТИТАНОВИ СПЛАВИ**

**ТИТАН.** Поради високата си якост в съчетание с голямата си пластичност титанът намира приложение предимно в авиацията и ракетостроенето, както и в съвременните скоростни влакове.

Той е бял метал с относителна плътност  $\gamma = 4,5 \text{ g/cm}^3$  и температура на топене 1672 °C (с други думи, титанът е труднотопим метал). Чистият титан (99,5%) е много пластичен, но наличието и на най-малко количество примеси довежда до рязко намаляване на пластичността и увеличаване на твърдостта му.

Подобно на железните сплави титанът може да се легира, като при това може да разтваря неограничено някои елементи - O, N, V, Zr, Nb, Mo, Sn, а други да разтваря ограничено или да образува с тях интерметални съединения (Ge, B, Al, Cr, Mn, Ni, Cu, W).

**Титановите сплави** се класифицират в зависимост от структурата им, получена след нормализация (охлаждане на въздух) и се делят на  $\alpha$ -,  $\beta$ -, и ( $\alpha + \beta$ )-сплави.

*$\alpha$ -сплавите* имат средни якостни свойства и ниска пластичност при нормална температура. При отрицателни температури обаче придобиват



високи механични показатели. При високи температури механичните им свойства са относително добри. Тези сплави главно се легираат с алуминий. Основен недостатък при тях е склонността им към водородна крехкост.

*β-сплавите* са най-пластични, но не намират приложение поради високата себестойност на  $\beta$ -стабилизаторите.

*( $\alpha+\beta$ )-сплавите* са с най-добро съчетание на механични и технологични свойства. Добре се коват, шамповат и режат. Легирането им с V, Mo, Cr допълнително повишава механичната им якост. Тези сплави намират най-широко приложение в практиката.

Титанът с кислорода от въздуха образува  $TiO_2$ , който се отлага на повърхността на съответния детайл и играе ролята на защитен слой срещу корозия.

В уредостроенето титанът се използва като газопоглъщаем материал, повишаващ вакуума в електронните лампи.

## **МАГНЕЗИЙ И СПЛАВИТЕ МУ**

**МАГНЕЗИЙ.** Той е най-лекият метал, с относителна плътност  $1,74 \text{ g/cm}^3$ . Това е метал с характерен сребристобял цвят и силен метален блясък. Температурата на топене на магnezия е  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ , а на кипене -  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Кристалната решетка на магnezия е хексагонална плътнопаквана. Якостта му на опън варира в границите от  $100 \text{ MN/m}^2$  в лято състояние до  $200 \text{ MN/m}^2$  в ковано. Твърдостта му по Бринел е  $300\text{-}350 \text{ MN/m}^2$ . При високи температури магnezият се съединява с азота, а на въздух изгаря със силен блясък. На практика намират приложение сплавите на магnezия с цинк, алуминий:  $MgAl_3$ ,  $MgAl_4Zn$  и др.

## **МЕТАЛИ С ВИСОКА ТЕМПАРАТУРА НА ТОПЕНЕ**

Към тази група се отнасят металите с температура на топене над  $1539 \text{ }^\circ\text{C}$  като редкоземните метали *хафний, рутений, осмий, рений*, като достъпните - *цирконий, хром, ванадий*. С най-висока температура на топене и в същото време достъпни материали са волфрам, молибден, ниобий и тантал.

Тези метали имат кубична обемноцентрирана решетка, а механичните им характеристики зависят от степента на чистота, от работната им температура и от деформационното уякчаване.

Характерна особеност за тази група метали е високата им крехкост, която рязко се повишава с намаляване на температурата. Волфрамът и молибденът не могат да се обработват поради ниската си жилавост дори при стайна температура. Ниобият и танталът имат добра жилавост при нормални

и понижени температури, но повишават крехкостта си при нагриване поради силното газопоглъщане.

Свойствата на хафния се влияят значително от наличието на примеси на цирконий в него. От всички елементи цирконият и хафният са двата най-трудни за отделяне един от друг. Благодарение на доброто му поглъщане на топлинни неутрони, отличните механични свойства и изключително голямата му устойчивост на корозия хафният се използва за направата на пръти за регулиране на мощността в ядрените реактори. Той се намира в много форми, в т. ч. във вид на фолио, шлака и прах. Fino смленият хафний е самовъзпламеняващ се и може спонтанно да се запали при контакт с въздух. Металът се използва в ядрените технологии заради високата температура на топене и способностите му да поглъща част от протоните при ядрения синтез.

Хафният се използва още в газонапълнените лампи и в тези с нажежаема жичка, като ефикасен газопоглъщател при продухване с кислород и азот, както и в плазменото рязане, поради способността му да отделя електрони във въздуха. През последните години той се използва при разработването на по-нови ядрени оръжия. Учените твърдят, че той може да се използва за направата на мощни експлозивни или "мръсни бомби". Хафният, чиито атоми се активизират при облъчване, отделя енергия под формата на смъртоносно гама излъчване. Енергийната сила на един грам хафний се равнява на 50 кг тротил.

Материалите от тази група намират приложение в електровакуумните апаратури, където могат да работят в условията на високи температури, ниско налягане и под въздействие на електрични и магнитни полета. Използват се също за осветителни тела, а поради добрите корозионноустойчиви свойства някои техни сплави се използват в химическата промишленост.

## **СПЛАВИ С НИСКА ТЕМПЕРАТУРА НА ТОПЕНЕ**

**ЦИНК.** Цинкът е с плътност -  $7,14 \text{ g/cm}^3$ , якост на опън - (20-180) Мра, твърдост (30-36)НВ. Притежава ниска температура на топене -  $419 \text{ }^\circ\text{C}$ . Цинкът има синкавобял цвят и силен метален блясък. Притежава добра тънколивкост, а при  $150^\circ\text{C}$  става ковък. Кристализира в хексагонална решетка без полиморфни превръщания. Приложение намира във вид на ленти, ламарина и тел. Използва се за поцинковане на ламарини и като сплавен елемент. Основни сплавящи елементи в техническите сплави на цинка са алуминий и

мед. Цинковите сплави намират приложение като антифрикционни лагерни материали и като припой в електротехниката.

**КАЛАЙ.** Метал с плътност -  $7,3 \text{ g/cm}^3$ , якост на опън - (20-40) МПа, твърдост (4-5,6)НВ. Цветът на калая е сребристобял. Той е мек, пластичен и може да се валцува на много тънки листове. Използва се за покриване на ламарина, известна в практиката под името бяло тенеке. Основно калаят намира приложение за изработване на съдове и фолио за хранителната промишленост. В техниката се използва като припой и за изработване на антифрикционни детайли. Поради това, че е много скъп и дефицитен, е необходимо да се заменя с други елементи.

**ОЛОВО.** Плътността му е  $11,34 \text{ g/cm}^3$ , якостта на опън - (11 - 30) МПа, твърдостта (2,4 - 5)НВ. Оловото е тежък, лесно топим метал със синкавобял цвят. Устойчиво е срещу действието на сярната киселина и затова се използва за изработване на съдове, в които тя се произвежда и транспортира. Широко приложение намира при производството на акумулатори, чиито плочи се изработват от сплави на оловото с антимон и оловен диоксид. Около 20% от произвежданото олово се използва за обвивка на кабели, най-често подземни. Оловото се произвежда във вид на блокове, листове, тръби и фолио. Оловото се използва като сплавен елемент в различни антифрикционни сплави. Недостатък на оловото и неговите съединения е, че е отровен.

В таблица 1. са посочени някои характеристики на нежелезните метали.

Таблица 1. Характеристики на нежелезните метали

Елемент	Атомен номер	Температура на топене,оС	Отн. плътност, g/m3	Rm, N/m <sup>2</sup>	A <sub>10</sub> , %	НВ, МПа
Sn	50	231,9	7, 296	20	100	4 - 5
Pb	82	327,4	11, 340	14	30-70	3 - 4
Zn	30	419.4	7, 136	130	55	33
Cd	48	321	8, 650	70	50	22
Bi	83	271,3	9, 800			7
Sb	51	630,5	6, 620	11		30 - 58

### КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Кои метали се наричат нежелезни? Колко вида нежелезни метали познавате?
2. Какви са характерните особености на титана? Може ли да се обработва чрез рязане?

3. За какво се използва чистата мед? А чистият алуминий? В какъв случай се предпочита използването на алуминиеви проводници?

4. Може ли да се използва магнезият при високи температури?

5. Какво приложение намират калаено-оловните сплави?

6. Как се нарича алумениева сплав с 4% мед? Къде намира приложение? Какви са свойствата и?

7. Кои титанови сплави имат най-добро съчетание на механични и технологични свойства?

8. На какво се дължи корозионната устойчивост в алуминия? Необходими ли са допълнителни мерки за повишаването и?

9. Кои метали се наричат труднотопими? Къде намират приложение?

10. Коя сплав носи името алпака?

11. Какви са свойствата на цинка? Къде намира приложение?

## Тема 11 МАТЕРИАЛИ СЪС СПЕЦИАЛНИ СВОЙСТВА

### ПРОВОДНИКОВИ МАТЕРИАЛИ

Това са материалите, чието специфично съпротивление е в рамките на  $10^{-8}$  до  $10^{-5}$   $\Omega \cdot m$  и нараства с повишаване на температурата. Електропроводимостта на твърдите тела се определя от електронния строеж на атомите им. Физичното обяснение на това явление се разглежда от т. нар. зонна теория, която го обяснява чрез енергетичните зони, образувани от отделните електронни слоеве. В зависимост от ширината на тези зони се определя енергията на електрона, необходима за преминаването му от една в друга зона.

Основните параметри, определящи свойствата на проводниковите материали, са: специфичното електросъпротивление ( $\rho$ ) или специфичната електропроводимост ( $\gamma$ ), температурният коефициент на специфичното съпротивление ( $\alpha_\rho$ ), коефициентът на термоелектродвижещото напрежение ( $K$ ) и коефициентът на топлопроводимост ( $\gamma_T$ ).

**Специфичното електросъпротивление** на проводник със съпротивление  $R$ , дължина  $l$  и сечение  $S$  се определя по формулата  $\rho = R \frac{S}{l}$   $\Omega \cdot m$ .

Реципрочната стойност на  $\rho$  се нарича **специфична електропроводимост**. При висока честота на тока неговата плътност намалява към центъра на сечението на проводника и съпротивлението е по-голямо. Наблюдава се т. нар. повърхностен или скин ефект.

Средният температурен коефициент на специфично електросъпротивление на проводник се изчислява чрез зависимостта

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_0} \cdot \frac{\rho_T - \rho_0}{T - T_0},$$
 където  $\rho_0$  и  $\rho$  са стойностите на съпротивлението съответно

при температури  $T$  и  $T_0$ . По този начин специфичното електросъпротивление на проводникови материали в зависимост от температурата ще се определя чрез израза

$\rho_T = \rho_0(1 + \alpha_\rho \cdot \Delta T)$ , където  $\alpha_\rho$  е температурен коефициент на специфичното съпротивление.

За повечето от чистите метали в твърдо състояние този коефициент трябва да бъде приблизително равен на  $4 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ . Сплавите образувачи твърди разтвори, имат нелинейна зависимост на  $\alpha_\rho$  от концентрацията на сплавта. Това позволява да се създават сплави с предварително зададена стойност на температурния коефициент. В случай на механично натоварване

съпротивлението на проводника се изменя в зависимост от вида на напрегнатото състояние:

$\rho_{\sigma} = \rho(1 \pm \phi\sigma)$ , където  $\phi$  е коефициент, а  $\sigma$  - приложеното напрежение (+ при опън, - при натиск). Това влияние много силно се проявява при сплавите ( $\phi = 0,25$ ) и по-слабо при чистите метали ( $\phi < 0,2$ ).

В зависимост от стойностите на специфичното съпротивление проводниковите материали се делят на две групи: материали с висока проводимост, когато  $\rho < 1 \cdot 10^{-7} [\Omega \cdot m]$ ; материали с високо съпротивление, когато  $\rho > 3 \cdot 10^{-7} [\Omega \cdot m]$ .

### **Термоелектродвижещо напрежение**

При допирание на два метала се получава контактна потенциална разлика. За различните двойки метали тази разлика се колебае в доста широки граници: от 0,1 до няколко волта. Ако между контактуващите метали се затвори ел. верига с температурна разлика ( $T_1 - T_2$ ) в двата и края, то във веригата се получава термо електродвижещо напрежение (ЕДН):

$U = K (T_1 - T_2)$ , където  $K$  е коефициент на термоелектродвижещо напрежение.

Това явление намира приложение при измерване на температурата, като подбрани двойки метали с по-голяма стойност на термоелектродвижещо напрежение образуват т. нар. термодвойки. В измервателните апарати и уреди обаче това явление е вредно поради възникването на шумови сигнали. За тяхното намаляване се използват метали и сплави с минимален коефициент на термоелектродвижещо напрежение спрямо медта.

### **Коефициент на топлопроводимост**

Специфичната топлопроводимост е пропорционална на специфичната електропроводимост:

$\gamma_{\phi} = \gamma \frac{L_0}{T}$ , където  $L_0 = 2,45 \cdot 10^{-8}$  е числото на Лоренц, а  $T$  - абсолютната температура на метала.

## **МАТЕРИАЛИ С ВИСОКА ПРОВОДИМОСТ**

Материали с висока проводимост са тези, които отговарят на следните основни изисквания: да имат минимално електросъпротивление, високи механични характеристики, добра обработваемост и технологичност, способност за контакт с малко преходно съпротивление при спояване и заваряване, добра корозоустойчивост. Най-широко приложение в практиката намират материалите, изброени по-долу.

**Медта** е основният материал, от който се изработват изолирани и неизолирани проводници. Вече беше споменато (тема 9), че чистата мед притежава редица ценни технически свойства. Голямата пластичност, високата електро- и топлопроводимост, малката окислителна способност обуславят широкото използване на медта като проводников материал. Всички примеси намаляват електропроводимостта на медта. Особено силно е влиянието на примеси като арсен, силиций, фосфор, желязо, които образуват твърди разтвори. Мед, която съдържа кислород, е застрашена при нагриване от т. нар. “водородна болест” - вътре в метала се образуват пукнатини и пори, тъй като протича абсорбция на водорода в медта.

Медта за проводници се произвежда като твърдо изтеглена (МТ), с добри якостни свойства, но ниска пластичност, и меко изтеглена (ММ) с много добра пластичност, която се използва за направа на намотки и кабели.

За проводникови изделия, към които се предявяват повишени изисквания към твърдостта и якостта им, се използват и различни медни сплави като месинг, берилиев и кадмиев бронз, защото кадмият и берилият увеличават значително твърдостта на медните сплави. Тези сплави се използват за направата на контактни пера, контакти и др.

**Алуминият** е вторият по значение след медта проводников материал с добри електрични и технологични свойства. Проводимостта на алуминия е 60% спрямо тази на медта. По принцип за изработването на проводници се използва алуминий с голяма чистота, тъй като примесите намаляват електропроводимостта му. Особено силно е влиянието на титана и мангана, които намаляват проводимостта на алуминия с повече от 30%. В последно време приложението на алуминиевите проводници все повече нараства и в редица случаи замества дефицитната мед, особено в производството на кондензатори и силови трансформатори. Предимства на алуминия са неговото широко разпространение, корозионна устойчивост и добра технологичност. Недостатък са по-ниската електропроводимост и сравнително ниските якостни показатели, а така също и силната галванична корозия при контактуване с мед. Когато е необходима по-висока якост на изделието, се използват алуминиеви сплави като сплавта алдрай (сплав на алуминий с магнезий, силиций, желязо), която е с добри механични характеристики, добра проводимост и еднаква специфична плътност. Сплавите на алуминия с Mg, Si, Fe се използват за изработване на екрани, шасита и различни конструктивни елементи.

**Желязото** като проводников материал значително отстъпва на медта и алуминия, но е по-евтин от тях и е с по-добри якостни свойства. Примесите

намаляват проводимостта, затова като проводников материал се използва мека стомана с въглерод до 0,15%.

При железните проводници поради голямата магнитна проницаемост се наблюдава силно изразен повърхностен ефект и главно се използват за направа на шини, трамвайни релси, телефонни и телеграфни кабели и др. За намаляване на скин-ефекта в далекосъобщителната техника се използват биметалните проводници, представляващи стоманено жило, покрито с мед.

**Среброто** е с най-голяма електропроводимост. Притежава ниско контактно съпротивление, корозионна устойчивост и е с относително ниска цена. Използва се главно за посребряване на медни проводници, с което се намаляват загубите в медта при високи честоти; освен това се металзира диелектриктът при слюдни и керамични кондензатори; в някои тежко натоварени контакти и др. Трябва да се отбележи, че среброто спада към дефицитните метали.

## **СВРЪХПРОВОДНИЦИ**

Понастоящем са известни множество различни материали, при които се наблюдава явлението свръхпроводимост. Към тях се отнасят както чисти метали, така и сплави, интерметални съединения.

Възможностите за практическо използване на свръхпроводимостта се определят от стойностите на температурата на прехода и критичния интензитет на магнитното поле. Най-голямо приложение са намерили дву- и трикомпонентните съединения на базата на Nb и V, а също и сплавите от системата Nb-Ti, които имат добри механични характеристики.

Свойствата на свръхпроводниците се използват при трансформатори с висок к.п.д., за намотки на електромагнити, както и при различни физични и ядренофизични изследвания.

Проводниковите материали, които рязко намаляват електросъпротивлението си при криогенни температури (77,4 °K), се наричат криогенни проводници. В това отношение най-добри качества има берилият (Be), чиято електропроводимост при криогенни температури е 3,5 пъти по-голяма от тази на медта и 5 пъти от тази на алуминия.

## **ПРОВОДНИКОВИ СПЛАВИ С ВИСОКО СЪПРОТИВЛЕНИЕ**

Сплавите с високо съпротивление се делят на:

- 1) реостатни и
- 2) топлоустойчиви съпротивителни сплави.

**Реостатните сплави** се употребяват за направа на прецизни резистори, за пускови и регулиращи реостати. Основните изисквания към тези сплави са



високо специфично съпротивление, стабилност, корозионна устойчивост при работна температура, ниско е. д. н. при допир с мед и други метали. Освен това сплавите трябва да имат много добра технологичност - да могат да се изтеглят на тънки проводници.

Най-широко разпространение са намерили сплавите на медна основа.

Манганинът и сплавите от този тип новоконстантин, изабелин се използват за изработка на прецизни съпротивления. Манганинът представлява сплав на 86% Cu, 12% Mn и 2% Ni. Легирането с никел понижава термоелектродвижещото напрежение и подобрява електричните характеристики. Манганинът може да се изтегля на много тънки проводници с диаметър до 0,02 mm. За получаване на стабилни характеристики след изтеглянето проводниците се подлагат на специална термообработка, която се извършва във вакуум. Работната температура на манганиновите проводници е до 100 °C.

Константанът и никелинът са от групата на медно-никеловите сплави. Константанът се състои от 60% Cu и 40% Ni, а на никелинът - 67% Cu, 3% Mn и 30% Ni. Основен недостатък на тези сплави е голямото им термоелектродвижещо напрежение. Използват се за направа на термодвойки за измерване на температури до 700 °C и за жични резистори. Сплавите добре се обработват и имат по-добра топлинна устойчивост от манганина. Работната температура на тези сплави е до 400 °C.

За изработването на прецизни резистори се използват някои благородни метали с прибавка на хром, кобалт и други елементи.

**Топлоустойчивите сплави** обикновено са на основата на Ni, Cr, Fe и Al. Техните работни температури достигат до 1730 °C. Най-известна сплав от тази група е нихром, който се състои от 20% Cr, 78% Ni и останалото желязо. Работната температура на нихрома е от 700 до 1000 °C. Други топлоустойчиви сплави са Fe-Cr-Al, наричани фехрали. Топлоустойчивостта им нараства с увеличаване съдържанието на алуминий и хром, но се влошават технологичните им свойства. У нас се използва шведският лиценз сплав кантал, която е сплав на Cr, Al, Co, Fe.

### **Материали за термодвойки**

Необходимо условие за съществуване на термодвойка е голямото термоелектродвижещо напрежение. На фиг.11.1 може да се проследи влиянието на температура върху термоелектродвижещото съпротивление на различни метали:

- 1 — платина-платина родий,
- 2 — хромел-алюмел,

- 3 — мед-константан,
- 4 — желязо-константан,
- 5 — желязо-копел и
- 6 — хромел-копел.

В зависимост от стойността на граничните температури при продължителна работа, термодвойките се разпределят по следния начин: а) платина-платина родий — до 1600 °С; б) хромел-алюмел — до 1000 °С; в) хромел-копел, желязо-копел, желязо-константан — до 600 °С; г) мед-копел, мед-константан — до 350 °С.

## **МАТЕРИАЛИ ЗА КОНТАКТИ**

Електрическите контакти се отличават помежду си по конструкция, условия на работа и характер на износване. Делят се на три основни групи: прекъсвачи, неподвижни и плъзгащи.

Прекъсвачите контакти са предназначени за периодично прекъсване и включване на електричната верига. Работят при сравнително най-трудни условия, тъй като по време на работа възникват електрична искра или дъга, има ерозия и корозия, а също така настъпва и износване. Това създава условия за разтопяване, окисляване или разрушаване на материала, от който са изработени контактите. В зависимост от мощността им контактите се разделят на контакти за малка мощност, които се изработват от благородни метали (най-често от сребро или неговите сплави и платина), и контакти за голяма мощност, които се изработват от волфрам или молибден и техните сплави или от металокерамични материали.

Към неподвижните контакти принадлежат различните болтове, шпилки, контакти, получени чрез спояване на два метала и др. Тези контакти трябва да имат ниско преходно съпротивление, да бъдат корозионно устойчиви и да не се окисляват. За да се подобри контактът и да се защити от окисляване, основният метал се покрива с корозионноустойчив и проводим метал. Обикновено стоманените контакти се посребряват. За неподвижни контакти освен стомана се използват мед, бронз, алуминий, цинкови сплави.

Плъзгащите контакти се използват в различни превключватели, ножови контакти, четки, пръстени и др. Тези контакти осигуряват прехода от неподвижните към подвижните части на устройствата. Те биват пружинни и електрографитни. Пружинните се изработват от берилиев или кадмиев бронз, а електрографитните от природен графит и сажди. В последно време намират приложение и контакти от металокерамични композиции с меден или сребърен прах и графит.

## ПРИПОИ

**Оловото и калаят** са главната съставка на различните припои (табл. 1). Когато металните конструкции работят в агресивни среди или във влажен климат, оловото и калаят се използват като защитно покритие на стоманените детайли.

Чрез припоите се образуват неподвижни контактни съединения и се закрепват отделни проводници или елементи на конструкции. В зависимост от температурата на топене припоите се делят на твърди припои с  $T_T$  по-голяма от  $500\text{ }^\circ\text{C}$  и меки - с  $T_T$  по-малка от  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . Прибавянето на сребро и антимоно повишава температурата на топене на оловно-калаените припои, а бисмутът и кадмият я понижават.

Таблица 1. припои

Основни компоненти	Температура на топене, $^\circ\text{C}$	Материал, който се споява с дадения припой
Калай 18% Олово 82%	277	за стомана, поцинкована стомана, мед, месинг, олово
Калай 30% Олово 70%	256	за стомана, мед, месинг, медни проводници
Калай 40% Олово 60%	235	за стомана, месинг, монтажни съединителни проводници
Калай 50% Олово 50%	218	за стомана, месинг, монтажни съединителни проводници
Калай 61% Олово 39%	190	за детайли, които не допускат висока температура на нагряване, за херметизация и др.
Калай 50% Олово 32% Кадмий 18%	145	мед, медни сплави, посребрена керамика
Калай 33.4% Олово 33.3% Бисмут 3.3%	130	мед, медни сплави, посребрена керамика

## Флюси

Това са спомагателни материали, осигуряващи получаването на надеждни спойки. Трябва да отговарят на следните изисквания:

- да имат температура на топене  $50\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$  по-ниска от температурата на топене на припоя, с който се използват;

- добре да се разливат по повърхността на основния метал и припоя, като образуват покритие (филм), защитаващи ги от вредното въздействие на околната среда;
- да намаляват повърхностното напрежение на разтопения припой, за да осигурят пълното му прилепване към основния метал;
- да не променят своя състав при тези температури, при които се осъществява спойката;
- лесно да се отделят от повърхността на детайлите след спояването;
- да не предизвикват корозия.

Според въздействието което оказват на спояваните метали флюсите се подразделят на няколко групи:

**Безкиселинни флюси.** Най-масово употребявани от този вид флюси е колофонът. Употребява се течен колофон (30% разтвор в етилов спирт). Тук спадат е всички други флюси, изработвани на основата на колофона, с добавка на неактивни вещества – спирт, глицерин и др. Безкиселинните флюси могат да се употребяват при спояване на предварително добре почистени (по механичен, химичен или друг начин) повърхнини.

**Активирани флюси.** Така се наричат флюсите, изработени на основата на колофон, с добавка на активатори – неголеми количества солнокиселинен или фосфорокиселинен анилин, силициева киселина, солнокисел диетиламин и т. н.

Употребяват се при спойки на желязо и железни сплави, мед и медни сплави, цинк,

нихром, никел и др. Този флюс е достатъчно активен, поради което използването му позволява спойката да се осъществи без предварително почистване на оксидите от повърхнината на основния метал. Остатъците от този флюс (и на флюсите от този вид изобщо) не действат кородиращо на основния метал, поради което не е необходимо да се почистват.

**Активни (киселинни) флюси.** Изработват се на основата на активни вещества: солна киселина, хлористи и флуористи съединения на металите и т. н. Активните флюси интензивно разтварят оксидните образувания по повърхността на металите,

благодарение на което осигуряват висока адхезия, а следователно и висока механическа здравина на спойките. Остатъкът от тези флюси след спояването предизвикват интензивна корозия на спойката и основния метал. Затова те се използват само в случай, когато е възможно щателно промиване и пълно отстраняване на остатъка от флюса след спояването.

**Антикорозионни флюси.** Те са на основата на фосфорната киселина с добавка на различни органични съединения и разтворители, а също и на

основата на органични киселини. Остатъкът на тези флюси не предизвиква корозия.

## **МАТЕРИАЛИ С ОСОБЕНИ ТОПЛИННИ И ЕЛАСТИЧНИ СВОЙСТВА**

### **Сплави със зададен температурен коефициент на линейно разширение**

Много често в уредостроенето са необходими сплави с определени стойности на коефициента на топлинно разширение. Интерес представляват сплавите, които отговарят на едно от следните изисквания:

- сплави с минимални стойности на коефициента на линейно разширение, намиращи приложение в точни уреди, апарати и устройства;
- сплави с определен предварително зададен коефициент на линейно разширение в широк интервал на работната температура - служат за спояване с неорганични диелектрици, стъкло, слюда, керамика;
- сплави със зададен коефициент на линейно разширение, значително различаващ се от този на другите метали - от тях се създават чувствителни към температурата елементи.

Всички тези сплави имат строго определен състав и се наричат прецизни.

Зависимостта на коефициента на линейно разширение  $\alpha$  от температурата е линейна при металите с пълна неразтворимост в твърдо състояние, а при бинарните сплави се изменя в зависимост от разтворимостта на елементите в твърдо състояние. Съгласно закона на Курнаков при механична смес коефициентът на линейно разширение се изменя линейно, а при образуване на твърд разтвор зависимостта е нелинейна, но изменението на коефициента на сплавта е в границите на съответните стойности за отделните компоненти. Това се обяснява с влиянието на феромагнитните ефекти.

Най-широко използвани сплави с изброените свойства са сплавите на основата на Fe-Ni и Fe-Pt. Особено широко приложение са намерили сплавите на желязо-никелова основа, наречени инвари. При тях коефициентът  $\alpha$  се изменя по сложна зависимост, като при съдържание на никел 36%  $\alpha$  има минимална стойност -  $1,5 \cdot 10^{-6}$ . Тази сплав се означава с 36Н и запазва почти постоянни размери в температурния интервал -80 до +100 °С. Горната граница на този интервал се повишава с увеличаване съдържанието на никел в сплавта. Сплав със съдържание 48% никел има коефициент на топлинно разширение, идентичен с този на платината и стъклото и се нарича платинит. Когато в сплавта вместо никел има 6% кобалт, сплавта се нарича суперинвар и при нея коефициентът на линейно разширение има още по-малка стойност. Сплавта ковар, съдържаща никел, желязо и 18% Со, намира приложение

за спояване с молибденови стъкла. За изработването на детайли, споявани със стъкло (например в телевизионните кинескопи), се използват и различни феритни желязо-хромови стомани.

Тези свойства на изброените сплави се използват при чувствителните към температурата елементи, които се изработват от термобиметали. Термобиметалът представлява материал във вид на студено изтеглена лента, съставена от два или повече слоя с различни коефициенти на топлинно разширение. Слойът, който е с по-голям коефициент на линейно разширение, се нарича активен и се изработва от желязо-никелова сплав, където съдържанието на никел е 20-25%, или от желязо-медни сплави. Слойът с по-нисък коефициент се нарича пасивен и се изработва от инвар или от суперинвар.

### **Проводникови материали за термодвойки**

Термoeфектът намира голямо приложение за измерване на температури. За тази цел се изисква между споените (заварените) краища на разнородните метали (термодвойката) да възниква по-голямо термоелектродвижещо напрежение (ТЕДН).

От материалите за термодвойки се изисква да имат висока работна температура, голям и по възможност слабо зависещ от температурата коефициент на ТЕДН, малко специфично съпротивление  $\rho$ .

Чистите метали не притежават едновременно всички тези качества, поради което са изработени специални сплави:

Копел (56% мед и 44% никел) с  $\rho=0,46 \cdot 10^{-6}$ ,  $\Omega \cdot m$ ;

Алюмел (94,5% никел, по 2% алуминий и манган, 1% силиций и 0,5% кобалт) с  $\rho=0,305 \cdot 10^{-6}$ ,  $\Omega \cdot m$ ;

Хромел (90% никел и 10% хром) с  $\rho=0,68 \cdot 10^{-6}$ ,  $\Omega \cdot m$ ;

Платинородий (90% платина и 10% родий) с  $\rho=0,19 \cdot 10^{-6}$ ,  $\Omega \cdot m$ .

### **Сплави с особени еластични свойства**

Към тази група спадат прецизните сплави с постоянен модул на еластичност, който не зависи от температурните промени. Основно изискване към тях е да запазват своята еластичност и размери при продължителна експлоатация, независимо от неизбежните сезонни или денонощни температурни колебания.

Сплавите от тази група са на основата на Fe-Ni-Cr и се наричат елинвари. Състоят се от 36% никел, 48% хром и останалото желязо и тази сплав се означава с НЗ6Х8. Използват се за направата на еластични елементи

и пружини на точни уреди и механизми като резонатори, камертони, детайли на часовници и др.

### **Сплави с памет на формата**

Това са сплави, които притежават способността да възвръщат първоначалната си форма и размери, нарушени в резултат на пластична деформация.

Ефект за запаметяване на формата си притежават много малко сплави. Най-често използваните сплави с такива способности са високоникелови безвъглеродни сплави на желязна основа като сплавта Н30. Някои медни сплави, легирани с 10-12% алуминий, също притежават тази способност. Тези сплави при бързо охлаждане преминават бездифузионно в мартензитно състояние. При следващо нагриване мартензитната структура директно преминава в аустенит, без други междинни превръщания. На това се дължи и ефектът на запаметяване - възвръщане на първоначалната форма и размери. При стоманите това е невъзможно дори и при много висока скорост на нагриване.

Тази група сплави намират приложение за изработване на антени за спътници, електрически пещи, сушилни, температурни предпазители.

### **МАТЕРИАЛИ ЗА ЯДРЕНАТА ЕНЕРГЕТИКА**

Основният принцип в сега действащите ядреноенергетични установки е използване на енергията от делене на тежките ядра в горивото чрез преобразуването и' в електрична. Верижната реакция се осъществява в ядрен реактор, като процесът е съпроводен с мощни йонизиращи лъчения. Това налага да се предявяват специфични изисквания към материалите, използвани в ядрената енергетика:

- за ядреното гориво се изискват материали с висок коефициент на делене на ядрата и получаване на ефективен брой неутрони, както е при тория и плутония;

- за обвивката на топлоотделящите елементи, в които се намира горивото, е необходимо минимално сечение на захват на неутроните;

- за елементи от регулиращите системи основно изискване е висок захват на неутроните, което е характерно за В, Cd, Hf, Ag, In.

Конструкционните материали, които намират приложение в ядрената енергетика, трябва да съчетават комплекс от якостни и пластични характеристики, добра технологичност, висока корозионна, топлинна и радиационна устойчивост.

От особено значение са радиационните ефекти, като основната част от тези въздействия са предизвикани от т.нар. бързи неутрони. Вследствие на високи дози на облъчване с флуенс ( $F > 10^{17}$  Н/см<sup>2</sup>) се наблюдава значително нарастване на границата на провлачане и по-слабо на якостта на материала. Повишава се твърдостта, но се намаляват пластичните характеристики, т.е. материалът се уякчава и окрежкостява. Това води до увеличаване на критичната температура за крехко разрушаване, което се изразява най-общо чрез зависимостта

$$\Delta T_F = A \cdot \left( \frac{F}{10^{18}} \right)^{\frac{1}{3}},$$

където  $\Delta T_F$  е увеличението на температурата вследствие на

йонизиращите лъчения;  $A$  - коефициентът, представляващ функция на химичния състав (P, Cu);  $F$  - натрупаната доза (флуенс).

Комбинацията от топлинно и радиационно въздействие води и до т.нар. радиационно пълзене, радиационно нарастване и радиационно набъбване, предизвикано от процесите на делене. Тези ефекти са основен критерий при избора на материали и тяхното изследване е гаранция за надеждната работа на ядреноенергетичните съоръжения.

Например за изработване на корпусните детайли се използват ферито-перлитни и аустенитни стомани, а за парогенератори и топлообменни апарати се използват никелови и титанови сплави.

## **ЯДРЕНО ГОРИВО**

За ядрено гориво се използват изотопи на урана, тория и плутония, както и някои от сплавите им.

### **(УРАН <sup>235</sup> U)**

Уранът е 92-ият елемент от периодичната система. Представлява тежък метал с плътност 19 g/cm<sup>3</sup> и температура на топене 1130 °С. Има три алотропни вида -  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Кристалната решетка на  $\alpha$ -U е образувана от гофрирани слоеве, което предопределя силната анизотропия на механичните и физичните му свойства. Използването на чист уран като гориво е ограничено поради голямата му зависимост от собствените йонизиращи лъчения. Повишената му устойчивост се постига чрез сплавяне. Най-често намират приложение  $\alpha$ -сплавите, които се получават при легиране с малки количества Cr, Mo, Zr, Al. Тези сплави се използват до температури 450°С.  $\gamma$ -сплавите са сплавите, легирани с Zr, Mo, Nb, които основно работят до 600°С.

### **ПЛУТОНИЙ (<sup>239</sup> Pu)**

Плутоният е 94-ият елемент от периодичната система и се получава от изгарянето на естествен <sup>235</sup>U. Има 6 алотропни модификации и температура



на топене 640 °С. От всички фази с голяма пластичност е само δ-фазата, която се подлага на обработване под налягане в инертна среда поради високата и химична активност.

Чрез легиране с Al, Zr, Ti, Tl, Th, Ce се фиксира δ-фазата на плутония, а чрез сплавяне с урана се получава ядрено гориво за реакторите на бързи неутрони.

### **ТОРИЙ (<sup>232</sup> Th)**

Торият е химичен елемент с атомен номер 90. При облъчване от него се получава <sup>233</sup>U, който представлява вторично ядрено гориво. Торият има две алотропни модификации α, β и температура на топене 1695 °С. Сплавя се с уран и плутоний с цел намаляване на нежелателните радиационни ефекти като радиационно нарастване и набъбване.

### **КЕРАМИЧНО ЯДРЕНО ГОРИВО**

Съединенията на U, Pu, Th с неметали (O, C, N, P и др.), които имат висока температура на топене, голяма плътност на горивото и устойчивост при облъчване, се обединяват в една група с име керамично ядрено гориво. В зависимост от състава горивото бива: окисно, неокисно и диспергирано.

От окисните съединения най-голямо приложение имат UO<sub>2</sub> с температура на топене 2880 °С и PuO<sub>2</sub>, което се използва в реакторите с бързи неутрони. Най-използваеми неокисни горива са карбидите на: UC, UC<sub>2</sub>, PuC, ThC и др. В диспергираното ядрено гориво топлинната фаза е разпределена в неактивна матрица, за която е използван Al, Be, Mg, Zr, Nb, W и др.

### **МАТЕРИАЛИ ЗА ОБВИВКАТА НА ТОПЛОТДЕЛЯЩИТЕ ЕЛЕМЕНТИ**

Отличителна черта за конструкционните материали, използвани в активната зона на реактора, са не само високата корозионна устойчивост, но и минималният неутронен захват. Материалите, от които се изработва обвивката на топлоотделящите елементи, се избират според този критерий и се подреждат в следния ред: Be, Mg, Zr, Al, Fe.

Алуминиевите и магнезиевите сплави имат сравнително ограничено приложение поради ниската си топлоустойчивост. Най-голямо приложение имат сплавите на циркония, който се отличава с висока температура на топене - 1852 °С, и висока пластичност. Известни в практиката са сплави от типа циркалой (Zr - легиран с Sn, Fe, Cr или Ni), както и по-високолегираните сплави на Zr с Nb, които издържат при по-високи температури.

Берилият притежава отлични физични свойства, относителна плътност 1,85 g/cm<sup>3</sup>, температура на топене 1284 °С, много висок модул на еластичност,

химична инертност и др., но високата му токсичност и крехкост създават редица трудности при използването му.

Аустенитните стомани и сплави на базата на никел издържат при температури около 700 °C и намират приложение при реакторите на бързи неутрони.

## **МАТЕРИАЛИ ЗА РЕГУЛИРАЩАТА СИСТЕМА**

За регулиращата система се използват материали с висок неутронен захват, като практическо приложение намират съединенията на В, Cd, Ag и In, както и на редкоземните елементи Gd, Eu, Su, Lu.

За  $\gamma$ -излъчването най-икономичен и ефективно поглъщащ материал е оловото, а при високи температури е необходимо да се използва волфрам или тантал.

## **МАГНИТНИ МАТЕРИАЛИ**

### **Основни понятия**

Известно е, че магнитното поле се поражда от движещи се електрични заряди. От друга страна движещи се в магнитно поле заряди изпитват действието на сили. Различават се 5 вида магнетизъм: *диамагнетизъм, парамагнетизъм, феромагнетизъм, антиферомагнетизъм и феримагнетизъм*. Веществата, за които са свойствени тези видове магнетизъм, се наричат съответно *диамагнетици, парамагнетици, феромагнетици, антиферомагнетици и феримагнетици (ферити)*.

*Диамагнетизмът* се проявява в материали, при които има пълно компенсирание на всички орбитални и спинови магнитни моменти. Диамагнетици са например всички инертни газове, вода, цинк, злато, живак и др. Под влияние на магнитно поле с индукция  $B$  в тях се получава намагнитеност  $i$   $H$ , насочена противоположно на  $B$ . Диамагнетизмът е свойствен за всички вещества.

*Парамагнетиците* имат положителна магнитна възприемчивост със стойност от порядъка  $10^{-3}$ – $10^{-6}$ , т.е.  $\chi \gg 1$ . *Парамагнетизмът* е явление, което се наблюдава във вещества, чиито атоми (молекули или йони) притежават постоянен магнитен момент, дължащ се на некомпенсирани магнитни моменти, обусловени от орбитални движения на електроните. При отсъствие на външно магнитно поле тези моменти са ориентирани във всички посоки равновероятно, поради което тялото не притежава намагнитеност. Парамагнетици са например Al, Pt.

*Феромагнетиците* са вещества, притежаващи свойството силно да се намагнитват във външно магнитно поле и частично да съхраняват

намагнитеността си при премахване на полето. Имат положителна магнитна възприемчивост, достигащи до  $10^5$ -  $10^6$ , т.е.  $\gg 1$  *m s* , респективно  $\gg 1$ . *r m*. Изследванията показват, че феромагнетизмът има не орбитален, а спинов произход. Феромагнетици са химични елементи (метали) с недостроени вътрешни електронни слоеве, съдържащи електрони, чиито спинови магнитни моменти не са взаимно компенсирани. Такива са желязо (*Fe*), кобалт (*Co*), никел (*Ni*), гадолиний (*Gd*). Свойства на феромагнетици притежават и някои сплави, несъдържащи феромагнитни елементи - например системите манган-антимон (*Mn-Sb*), манган-алуминий- сребро (*Mn-Al-Ag*) и др. Във феромагнетиците има спонтанно намагнитени макрообласти с размери от порядъка  $10^{-4}$  -  $10^{-6}$  m, в които всички магнитни моменти на атомите (молекулите или йоните) са еднопосочно ориентирани

*Антиферомагнетиците* се характеризират с антипаралелно ориентирани на некомпенсирани магнитни моменти на съседни атоми (молекули, йони). Те са подобни на слаби парамагнетици. Антиферомагнетик е например хромът (*Cr*).

*Феримагнетизмът* е некомпенсиран антиферомагнетизъм. Наблюдава се, когато насочените антипаралелно некомпенсирани магнитни моменти на съседни атоми (молекули, йони) са с различни големини или когато не е еднакъв броят на противоположно насочените моменти. Феримагнетизъм могат да притежават само химични съединения. Съдържат *Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>* и един или повече оксиди на двувалентни (по-рядко едновалентни) метали.

*Феримагнетиците (феритите)* имат доменна структура, магнитната им възприемчивост и съответно относителната магнитна проницаемост са много по-големи от *1*, следователно те , подобно на феромагнетиците притежават способността силно да се намагнитват във външно магнитно поле. Някои ферити се отличават с голямо специфично съпротивление. Въпреки, че по същността на магнитните си свойства диамагнетиците, парамагнетиците и антиферомагнетиците се различават помежду си, относителната им магнитна проницаемост *r m* е почти една и съща, близка до *1* и практически еднаква с тази на вакуум. Ето защо тези 3 групи вещества се отнасят към немагнитните материали.

Феромагнетиците и феритите образуват групата на силно магнитните вещества. Макар, че природата на магнетизма им е различна, те имат сходни магнитни свойства и често не се прави разлика между тях от потребителска гледна точка, освен в случаите, когато се използват някои техни специфични особености. В електротехниката и електрониката те се прилагат като *магнитни материали*.

Използваните в електротехниката и електрониката материали се класифицират на :

1. Магнитно меки – характеризирани се с малък коерцитивен интензитет и голяма относителна магнитна проницаемост. Хистерезисният им цикъл е тесен.

2. Магнитно твърди – с голям коерцитивен интензитет и малка относителна магнитна проницаемост. Хистерезисният им цикъл е широк. Условна гранична стойност на  $H_c$ , по която се различават магнитно меките и магнитно твърдите материали е  $m4 kA$  .

3. Магнитни материали със специално предназначение.

Магнитно меките материали се делят на нискочестотни и високочестотни. Вторите са с повишено или високо специфично съпротивление.

Магнитно твърдите се делят на материали за постоянни магнити и за запис и съхранение на информация. Магнитните материали със специално предназначение са :

- а) с правоъгълен хистерезисен цикъл;
- б) магнитострикционни;
- в) термомагнитни;
- г) материали с постоянна относителна магнитна проницаемост в слаби полета ;
- д) материали с голяма магнитна индукция на насищане.

### **Най-често използвани магнитни материали**

#### ***Магнитно меки материали за ниска честота***

Магнитно меките материали се характеризират с голяма магнитна проницаемост, малък коерцитивен интензитет и малки загуби от хистерезис. Към магнитно меките материали се отнасят:

*Електролитно желязо* – получава се чрез електролиза на разтвор от железен сулфат или железен двухлорид.

*Карбонилно желязо* – получава се чрез термично разлагане на железен пентакарбонил. Употребяват се при производството на цели ядра за постоянен магнитен поток. Използват се за високочестотни ядра, които се изработват от пресован железен прах с електроизолационни свързващи вещества.

*Електротехническа стомана*. Характерно за този вид материал е въвеждането на силиций в състава му. С това се цели повишаване на електричното съпротивление и магнитната проницаемост и намаляване на коерцитивния интензитет и загубите от хистерезис. Количеството на

въведения в състава силиций не трябва да надхвърля 4%, тъй като в противен случай се получава много крехък материал. За да се повиши магнитната проницаемост, в последните години започна производството на стомана чрез горещо и студено изтегляне и специална термообработка. В резултат се получава т. нар. текстурована стомана, чийто кристали са ориентирани по посока на изтеглянето. Електротехническа стомана се употребява за магнитопроводи в електрическите съоръжения. Съдържащата по-голям процент силиций (наречена трансформаторна) ламарина служи за направа на магнитопроводи на трансформатори и дросели, а тази с по-малък процент (наречена още динамоламарина) – за направа на магнитопроводи в електрическите въртящи се машини. Студено изтеглената ламарина се произвежда във вид на ленти, от които се навиват магнитопроводи, което от една страна позволява механизирание на тази операция, а от друга – намалява размерите на трансформаторите с 25 – 40%. Необходимо е да се подчертае, че независимо от относително високото електрично съпротивление, което електротехническата стомана притежава, за да се намалят до минимум загубите от вихрови токове, магнитопроводите се събират от отделни листове, изолирани по между си.

*Желязно-никелови слави.* Сплавите със съдържание на никел от 35 до 85% се наричат пермолой. Те се характеризират с висока начална и максимална относителна магнитна проницаемост, която достига 200000, и малък коерцитивен интензитет – 1,6А/м. Недостатъците на този вид сплави са малкото електрично съпротивление и зависимостта на магнитната проницаемост от честотата (за честоти над 100Hz). Употребяват се главно в съобщителната апаратура, в телефонната и радиопромишлеността за производство на магнитопроводи за релета, индукционни бобини, магнитофонни глави, магнитни екрани и др.

*Сплави на желязото със силиций и алуминий.* Сплав със състав желязо, силиций-9,5%, алуминий – 5,6% се нарича *алсифер*. Тя се характеризира с твърдост и крехкост, високи начална и максимална магнитна проницаемост и малък коерцитивен интензитет. Алсиферът се употребява при производството на магнитни екрани и корпуси на уреди. Смлян на фин прах, той се използва при производството на магнитопроводи, които работят при висока честота.

### ***Магнитно меки материали за висока честота***

*Магнитодиелектрици* – двукомпонентни магнитни материали от прах на магнитно-мек материал (карбонилно желязо, алсифер, магнетит -  $FeO.Fe_2O_3$ ) и диелектрик (шеллак, фенолформалдехидна смола, полистирол,

течно стъкло, керамика), който изолира една от друга феромагнитните частици и същевременно ги свързва механично. Намират приложение при производството на сърцевини за бобини, работещи при висока честота в слаботоковата техника.

*Ферити* - голяма група магнитни материали, известни още като магнитни керамики. Получават се по методите на керамичната технология от метални оксиди като изходни материали, които се отнасят към групата на полупроводниковите материали и диелектрици според поведението им в електричното поле. Това означава, че те имат високо специфично съпротивление, с което удовлетворяват едно от изискванията към високочестотните магнитни материали. Феритите представляват система от един или няколко метални оксиди (по-често на двувалентен и по-рядко на едновалентен метал), които заедно с двужелезния триоксид ( $Fe_2O_3$ ) участват в сложна кристална структура. Тяхната химична формула в обобщен вид е  $MO.Fe_2O_3$ , където с  $M$  е означен металният йон ( $Mn, Ni, Cu$  и др.).

Феритите, в които участва само един метален оксид освен  $Fe_2O_3$ , се наричат моноферити, а такива с повече оксиди – полиферити.

Технологията на производството на феритите се състои в синтез на твърди разтвори от магнитни и немагнитни оксиди. Синтезът се осъществява чрез изпичане на еднородна по състав смес от фино смлени прахове на изходните материали при температура в интервала от 1100 до 1400°C и определен газов режим. По време на изпичането се получава материал с плътна еднородна маса и хомогенна кристална структура.

Според функцията, която изпълняват феритите се разделят на магнитно меки, с правоъгълен хистерезисен цикъл. Феритите се разделят на групи и според състава – никел-цинкови ( $Ni-Zn$ ), манган-цинкови ( $Mn-Zn$ ), манган-магнезиеви ( $Mn-Mg$ ), манган-медни ( $Mn-Cu$ ), литий-никелови ( $Li-Ni$ ) и др.

Никел-цинковите ферити ( $NiO.ZnO$ )  $Fe_2O_3$  имат широко разпространение поради голямата начална магнитна проникваемост, ниския коерцитивен интензитет и малките загуби. Началната магнитна проникваемост на тези ферити е от няколко единици за високочестотните до няколко хиляди за нискочестотните. Стойността и зависи от съдържанието на немагнитния цинков оксид. Никел-цинковите ферити намират приложение в честотния обхват от 0,1 до 100MHz. Поради ниската точка на Кюри те имат повишена температурна нестабилност. Използват се за изработването на магнитопроводи за трансформатори, ядра на бобини и дросели, към които не се поставят изисквания за висока температурна стабилност. Никел-цинковите ферити с малки стойности на началната магнитна проникваемост ( $\mu_{rH} < 150$ ) имат повишена температурна стабилност, поради което могат да се използват

за работа в слаби магнитни полета. Всички никел-цинкови ферити притежават висока магнитострикция.

Манган-цинковите ферити ( $MnO.ZnO$ )  $Fe_2O_3$  са другата група широко използвани ферити. Те се прилагат за работа до по-ниски честоти от никел-цинковите. Приложението им е същото. Нямаат висока магнитострикция и са с по-висока температурна стабилност.

### **Магнитно твърди материали**

Магнитно твърдите материали се характеризират с голям коерцитивен интензитет и голяма магнитна енергия. Основната им употреба е за направа на различни видове постоянни магнити.

Към тази група спадат следните материали:

- Закалена въглеродна стомана – най-евтиния магнитно твърд материал с остатъчна магнитна индукция до 0,9Т и коерцитивен интензитет до 4760А/м. Основен недостатък е липсата на стабилност и размагнитване под влияние на механични въздействия.
- Лети сплави:
  - Ални – сплав на желязото, никела и алуминия с остатъчна магнитна индукция до 0,55Т и коерцитивен интензитет до 43 800 А/м.
  - Алниси - сплав на желязо, никел, алуминий и силиций с остатъчна магнитна индукция до 0,4Т и коерцитивен интензитет до 63 500 А/м.
  - Алнико - сплав на желязото, никела, алуминия, кобалта и медта с остатъчнамагнитна индукция до 1,25Т и коерцитивен интензитет до 43 800 А/м.

Общ недостатък на всички изброени сплави са трудностите при изработването на изделия с точни размери и невъзможността за механично обработване.

През последните години в качеството на магнитно твърди материали се използват бариеви, стронциеви и кобалтови ферити. Те са известни под наименованието *оксидни магнити*. Характеризират се с коерцитивен интензитет от 108 до 264 kA/m и  $W_{max}$  от 4,8 до 32k J/m<sup>3</sup>. Получават се чрез пресоване на прах от съставни компоненти и изпичане при висока температура. Изработените по този начин детайли са с достатъчно точни размери и не изискват допълнителна обработка. Бариевите ферити имат голяма стабилност на магнитните свойства във времето, но зависят от температурата; по-евтини са от летите сплави (до 10 пъти). Кобалтовите ферити са значително по-скъпи: магнитните им свойства се изменят по-малко при изменение на температурата.

През последните години се появиха достъпни по цена редкоземни метали с достатъчна степен на чистота. Благодарение на големия коерцитивен интензитет и максимална специфична енергия на съединенията от вида  $RCo_5$  - където R е редкоземен елемент (например итрий, церий, самарий и др.) намират приложение за производството на магнити. Тяхната голяма употреба зависи от разработването на приложими технологични методи, вкл. от създаването на мощни намагнитващи уредби и разработването на съответни конструкции на магнитни системи. Граничните теоретични магнитни стойности на материалите от вида  $RCo_5$  са в границите  $H_c$  от 10000 до 20 000 kA/m и  $W_{max}$  - от 90 до 112 kJ/m<sup>3</sup>.

### ***Аморфни метални сплави***

Аморфните метални сплави (металните стъкла) са нови материали, които се отличават от обикновените метали и сплави по това, че при тях атомите не са подредени в кристална решетка. С други думи те по структурата си не се различават от силикатните стъкла или полимерните аморфни материали. Качествено новата (в сравнение с класическите метални сплави) структура на металните стъкла има определени последствия за техните механични, електромагнитни, химични и други свойства.

До около 1960 г. термообработката на металните сплави обикновено се е свеждала до нагриването им в твърдо състояние до определена температура, престояването им известно време при тази температура и последващата им закалка при стайна или по-ниска температура със зададена скорост, не превишаваща 10<sup>3</sup> °C/s. Тези начини на термообработка позволяват да се управлява кристалната микроструктура на металните сплави и по такъв начин съществено да се влияе върху техните физикомеханични и други свойства. При това обаче не може да се постигне качествено изменение на самата структура, която се запазва кристална. Постигнатите ефекти се свеждат до изситняване на кристалната им структура.

При аморфните метални сплави или металните стъкла се постига появата на аморфна структура. Физичните принципи, на които се основава получаването на металните стъкла и разработването на технологии за производството им, следват дългогодишна металургична традиция. Пол-Дюве – САЩ и Мирошниченко и Сали – ОНД са първите изследователи, на които принадлежи идеята за реализиране на изключително бързо охлаждане на металните сплави от стопилка със скорости от порядъка на милиони градуси в секунда. Тази идея се основава на следните съображения: 1/ При достатъчно висока температура металните сплави се намират в течно състояние, тъй като системата има най-ниска свободна енергия, когато атомите и се намират в



хаотично, неподредено състояние. 2/ От термодинамична гледна точка тази хаотична структура съответства на равновесното състояние на системата при дадените условия. При охлаждането на металната стопилка под някаква определена температура, системата се характеризира с най-ниска свободна енергия в кристално, а не в течно състояние. При това атомите на отделните компоненти се групират в определени кристални образувания – фази. Те могат да бъдат една или няколко и се характеризират с определен тип кристална решетка. Образоването на кристалните фази от стопилка обаче е процес, който е свързан с дифузионното движение на атомите към отреденото им място в кристалната решетка и поради това изисква определено време за завършването си. Поради това всяка стопилка може да бъде преохладена под равновесната температура на начало на кристализацията. Ако охлаждането се проведе умерено бързо, образуването на кристални фази не може да се избегне, но е възможно реализирането на така наречените неравновесни структури с излишък или недостиг на атоми от определен тип, а в някои случаи се постига и качествено изменение на типа на кристалната решетка.

Какво би станало, ако металната стопилка се охлади “безкрайно бързо”? С понижаването на температурата вискозитетът на стопилката нараства по експоненциален закон с нарастване на преохлаждането. Това силно затруднява дифузионното придвижване на атомите и им пречи да се групират в подредени кристални образувания. Когато стойността на вискозитета достигне  $10^{13}$  Pa.s, атомите стават практически неподвижни. Реализира се така нареченото стъкловидно състояние, което по структура не се различава от течностите, но притежава физикомеханични свойства, които го правят практически неразлично от твърдите тела с кристална структура. При лабораторните си експерименти Дюве е използвал апаратура, наречена по-късно “оръдие на Дюве”, с чиято помощ разтопена метална капка се изхвърля с огромна скорост от газова ударна вълна срещу масивна медна плоча. При тази схема на работа скоростите на охлаждане на стопилката достигат и надвишават  $10^8$  °C/s.

По този начин са били застъклени редица сплави на основата на металите злато, паладий, желязо, никел, кобалт, мед, цирконий и др. в комбинация с така наречените елементи – аморфизатори – силиций, бор, фосфор и въглерод. Аморфните сплави на основата на желязо, мед и титан притежават по-добри якостни характеристики в сравнение с конвенционалните високояки стомни. Поради това са перспективни за изработването на композиционни материали с висока якост.

При феромагнитните метални стъкла отсъствието на кристална структура води до силно намаление на магнитната им анизотропия, в резултат

на което те притежават отлични магнитномеки свойства. В същото време те притежават отлични механични показатели, което представлява една необичайна комбинация. Също така те притежават много добра корозионна устойчивост, което е характерно за материалите с хомогенна структура. Съчетанието на отлични магнитномеки характеристики със специфично електросъпротивление, което е няколко пъти по-високо от това на магнитномеките кристални материали (силициева ламарина), използвани за разработването на магнитопровода за силови трансформатори предлага като потенциална възможност силно понижаване на загубите от хистерезис.

Общоприет понастоящем принцип за класификацията на аморфните метални сплави е според химичната природа на елементите, от които се формират. Тези сплави се делят на два основни типа: метал-неметал и метал-метал. Вторият тип се подразделя на комбинацията редкоземен метал-преходен метал и комбинацията преходен метал-цирконий или хафний.

Сплавите метал-неметал понастоящем наброяват стотици или дори хиляди комбинации, поради което изброяването им е невъзможно. Характерното при тях е, че те се състоят от 70 - 80 атомни % от преходните метали желязо, кобалт и никел, самостоятелно или в комбинация, и 20 - 30 атомни % от така наречените неметал-аморфизатори бор, силиций, фосфор и въглерод. Тъй като аморфната структура в първо приближение може да се разглежда като изотропна, това има за резултат много ниски стойности на коерцитивия интензитет, на хистерезисните загуби и висока относителна магнитна проницаемост.

Всичко казано по-горе е вярно и за сплавите тип преходен метал-цирконий или хафний. Като правило тези сплави съдържат около 10 атомни % цирконий или хафний, като областта на съществуване на аморфната фаза съществено се разширява при добавката на няколко атомни процента бор. Свойствата на тези аморфни сплави са подобни на сплавите от тип преходен метал-неметал и приложението им вероятно ще бъде подобно на тяхното.

Различните типове аморфни метални сплави могат да бъдат класифицирани по отношение на потенциалното и настоящото им приложение като магнитномеки материали по следния начин:

а) аморфни сплави на основата на желязото, характеризиращи се с висока индукция на насищане, сравнително ниска проницаемост и висок коефициент на магнитострикция. Те се използват главно в електротехниката за експлоатация при промишлени честоти (50 - 60Hz). Този начин на приложение изисква използването на относително големи количества аморфни метални сплави, главно за изработване на магнитопроводи на силови

трансформатори. Това автоматично поставя на първо място изискването за приемлива цена на новите материали.

б) аморфни метални сплави на основата на елементите желязо, никел и отчасти кобалт, които се характеризират със средно висока индукция на насищане и средно висока магнитна проникваемост и чиито магнитномеки свойства се запазват на приемливо високо ниво при честоти до 100 - 200кНз. Тяхното приложение е в прибори с импулсен режим на работа, трансформатори към импулсни захранващи устройства, тороиди, използвани в импулсни линейни ускорители и пр.

в) аморфни метални сплави на кобалтова основа с относително ниска индукция на насищане, но с отлични високочестотни свойства и практически нулев коефициент на магнитострикция. Поради високата им цена тези сплави са подходящи за специални приложения, изискващи малка маса (магнитни глави, сензори и датчици).

### ***Магнитни материали със специално предназначение***

#### ***Материали с правоъгълен хистерезисен цикъл ( ПХЦ)***

Използват се при разработване на запомнящи и логически устройства в изчислителната техника, автоматиката, в многоканални системи за радиовръзка и др.

Магнитопроводът има 2 устойчиви състояния – намагнитеност до магнитни индукции  $+ Br$  и  $- Br$  , които съответстват на 1 и 0 от двоичната бройна система. Най-разпространени материали с ПХЦ са манган-магнезиевите ферити. Използват се също манган-медни и литий-никелови ферити.

Разработени са магнитно меки сплави с ПХЦ: желязо-никелови и желязо-никел-кобалтови, легирани с молибден ( $Mo$ ), мед ( $Cu$ ) или други метали.

Например:  $Fe-Ni$ ,  $Fe-Ni-Mo$ ,  $Fe-Ni-Mo-Cu$ ,  $Fe-Ni-Co-Mo$ . Изработват се във вид на ленти с дебелина до 10  $mm$ .

Използват се тънки магнитни слоеве, нанесени върху подложки по метода на вакуумно изпарение - вещество се нагрява във вакуум, от него се отделят атоми, които се отлагат върху покривната повърхност.

#### ***Магнитострикционни материали***

Като магнитострикционни материали се използват метали, сплави и ферити. Широко приложение има чистият  $Ni$  , никел-кобалтови сплави, желязо-алуминиевата сплав алфер. Особено голяма магнитострикция

притежава системата желязо-платина (  $Fe-Pt$  ), но рядко се използва поради високата цена.

Магнитострикционните метали и сплави се обработват във вид на пластини, които се събират в пакети. От феритите широко приложение намират: кобалтов ферит, желязен ферит (магнетит) ( $FeO \cdot Fe_2O_3$ ), литиев ферит, никел-кобалтов ферит. Най-важна област на приложение на магнитострикцията са магнитострикционните преобразуватели. Магнитострикционните преобразуватели се прилагат в дефектоскопията, в различни технологични устройства за ултразвукова обработка на материали и др.

### **Термомагнитни материали**

Характерна особеност на тези материали е силната зависимост на относителната магнитна проницаемост  $r_m$  от температурата  $q$  и съответно резкият ход на зависимостта  $B(q)$  при  $H = const$ . От гледна точка на приложение в техниката най-голям интерес представлява температурният интервал от  $-60$  до  $+1000^\circ C$ . Използват се за компенсация на температурни грешки, предизвикани от изменения на индукцията на постоянни магнити и/или промяна на съпротивленията на намотки в електроизмервателни уреди.

### **Материали с постоянна относителна магнитна проницаемост в слаби полета**

Към сплавите с постоянна магнитна проницаемост в слаби полета ( до  $160 - 240 A/m$  ) се отнася перминвар (  $Fe - Ni - Co$  ) с процентно съдържание на компонентите съответно  $25, 45, 30\%$ . За този материал началната относителна магнитна проницаемост  $r_m$  е  $300$  и се запазва при интензитети до  $240 A/m$ .

Магнитните параметри на перминвата са чувствителни към влиянието на температурата и механичните напрежения. По-добра стабилност има сплавта изоперм, съдържаща  $Fe, Ni, Al$  или  $Cu$ . За нея в зависимост от състава  $r_m = 30$  до  $80$  и незначително се изменя в магнитни полета с интензитет до няколко стотин  $A/m$ .

### **Материали с голяма магнитна индукция на насищане $B_s$**

От феромагнитните метали най-голяма е магнитната индукция на насищане за желязото –  $B_T S = 2,1 - 2,2$ . Когато се изискват намалени размери и тегло на магнитопроводите, се използват материали с повишени стойности на  $B_s$ . За тази цел най-подходяща е сплавта пермендюр ( $B_s = 2,43 T$ ). Съдържа  $Fe, Co$  ( $50$  до  $70\%$ ) и ванадий ( $V$ ) ( $1,5 - 2\%$ ). Прилага се в електроизмервателни уреди, за изработване на телефонни мембрани, полюсни накрайници и др.

### **Контролни въпроси**

1. Колко вида материали познавате според тяхната проводимост?
2. Кои са основните параметри, определящи свойствата на проводниковите материали?
3. От кои материали се изработват най-добрите проводници?
4. Какво е предназначението на припоите?
5. Кои проводникови материали са с високо съпротивление?
6. Опишете резисторните сплави. Къде намират приложение?
7. Какви изисквания се предявяват към материалите, от които се изработват контакти? Има ли разлика между материалите за плъзгащи и за неподвижни контакти?
8. Кои са основните параметри, характеризиращи магнитните свойства на материалите?
9. Кои материали се наричат магнитномеки?
10. Какво представляват сплавите пермалой и алсифер и къде намират приложение?
11. Към коя група принадлежат сплавите инвар и суперинвар? Какви основни свойства притежават?
12. Кои са основните изисквания към материалите за обвивката на топлоотделящите елементи?

## Тема 12

### НЕМЕТАЛНИ МАТЕРИАЛИ

#### ОПТИЧНИ МАТЕРИАЛИ

Основен оптичен материал е стъклото, чието получаване е известно още от древността. В Египет то се е изработвало от шихта, състояща се от кварцов пясък, сода и варовик. Нуждите от оптични уреди налагат производството на оптично стъкло, което се развива най-напред в Германия, Франция и Англия, а впоследствие и в Русия. Понастоящем се произвеждат над 150 марки оптични стъкла.

**Стъкла.** Така се наричат всички аморфни тела, получени чрез преохлаждане на разтопена маса основни и киселинни оксиди. В резултат на постепенно увеличаване на плътността те придобиват механичните свойства на твърдите тела. При тези вещества процесът на преминаване от течно в стъклообразно състояние е обратим и има всички характерни особености на аморфното вещество. Над  $T_f$  ( $T_f$  - температура на остъкляване) е налице разтопена стъклообразна маса, а под  $T_d$  стъкломасата е в твърдо състояние. Интервалът между  $T_d$  и  $T_f$  се нарича интервал на размекване, масата се намира в еластично-пластично състояние и по време на преминаването му стават всички промени на свойствата.

В състава на неорганичните стъкла влизат стъклообразуващите оксиди на силиция, бора, фосфора, германия, лития, калция и др., които изменят физико-химичните свойства на стъкломасата - с увеличение на температурата динамичният вискозитет намалява. Може да се каже, че промишлените стъкла представляват сложни многокомпонентни системи.

Според състава си стъклата се делят на силикатни, алуминиево-силикатни, боросиликатни др. В зависимост от съдържанието на модификатори стъклата биват алкални, алкалоземни, тежки, труднотопими и др. Според предназначението си стъклата биват технически (оптични, светотехнически, електротехнически, химически и др.), строителни (прозоречни, витринни, армирани) и битови. За инфрачервената област се използват несиликатни стъкла ( $As_2S_3$ ,  $Sb_2S_4$ ,  $CaSe_xS$ ).

**Безцветното стъкло** е най-често използваното стъкло. Общоприето е безцветните стъкла да се делят на кронови и флинтнови. Кроновите стъкла съдържат малки количества оловен оксид (под 3%), а флинтните - над 3%.

**Цветното стъкло** се характеризира със способността си да пропуска избирателно различни части на ултравиолетовия, видимия и инфрачервения спектър. Това стъкло се получава от същите изходни материали, както и безцветното, но с известни добавки на соли и окиси на тежките метали като

Co, Ni, Cr, Ti и Mo. Използва се за направа на светофилтри, прожекторни, сигнални и други елементи.

**Фотохромните** стъкла са оптични стъкла, които променят своята прозрачност във видимата част на спектъра в зависимост от степента на осветяване и продължителността на облъчване. Това се постига чрез внасяне на халогениди на среброто, талия, кадмия и други химични елементи. В техниката тези стъкла се използват за холографски запис, в очната оптика, в космическата техника и т.н.

### **Органично стъкло**

В началото на XX в. започва производството на органично стъкло. Основни представители на органичното стъкло са триакрилът и полиметилметакрилата (плексиглас). Тези материали имат някои предимства в сравнение с неорганичното стъкло. Те са с по-малко относително тегло и с по-висока спектрална пропускливост. Лесно се формоват, заваряват и лепят. Наред с предимствата обаче техните недостатъци, проявяващи се в по-ниски якостни свойства, високи коефициенти на линейно разширение, натрупване на статично електричество, което замърсява повърхността, ги правят използвани само в неотговорни оптични системи. Като материали за оптични лещи обаче са незаменими.

### **Оптични кристали**

Оптичното стъкло е незаменим материал при изработването на оптични системи, работещи във видимия спектър, но не може да се използва за ултравиолетовата и по-голямата част от инфрачервената област. Тогава приложение намират различни видове кристали. Оптичните кристали имат по-широк спектрален диапазон, по-добри стойности на показателя на пречупване и механични, електрични и химични свойства, значително различаващи се от тези на оптичните стъкла. По своето оптично действие се делят на оптично изотропни кристали и на едноосни и двуосни кристали. Най-широко употребявани са изотропните кристали, които предимно са кубични. Това са NaCl, KCl, LiF, NaF, CaF<sub>2</sub>, KBr, SiO<sub>2</sub> - кристален кварц и други стъкла, оптична керамика, електроколби и др.

### **Основни свойства на стъклата**

Свойствата на стъклата се определят от химичния състав и структурата им, а така също и от повърхностните и вътрешните им дефекти.

Стъклата се характеризират с изотропност, крехкост, спектрален коефициент на пропускливост, добра химична устойчивост, малко относително тегло и сравнително ниска себестойност. Те имат ниска якост на опън и огъване, голяма твърдост, която се определя по метода на Моос, ниска ударна якост и много голяма крехкост.

Важни специфични свойства на стъклата са светлопрозрачността, показателят на пречупване и показателят на поглъщане, светлоразсейване и др. Обикновено силикатните стъкла (при дебелина 10 mm) пропускат 90%, отразяват 8% и поглъщат около 1% от видимата светлина. Ултравioletовото лъчение се поглъща почти напълно. Величините, характеризиращи оптичните им свойства, са: показателят на пречупване за дадена дължина на вълната, средната дисперсия и коефициентът на дисперсия, характеризиращ разсейването, наличието на провлачности и мехури и др. Съществува стандартна база за определянето им.

Електричните свойства на стъклото се характеризират с високо специфично електросъпротивление ( $10^{11}$  до  $10^{16}$   $\Omega \cdot m$ ), висока диелектрична проникваемост и малки загуби.

Термоустойчивостта на стъклото характеризира неговия живот при различни температури. Коефициентът на линейно разширение за стъклото е от порядъка  $5,6 \cdot 10^{-7}$  за кварцовото стъкло до  $90 \cdot 10^{-7}$  за строителното. Стъклото има ниска топлопроводимост и малко температурно разширение.

Механичната якост и термоустойчивостта на стъклото се повишават чрез закаляване и термично уякчаване. Закаляването се състои в нагриване до високи температури и бързо и равномерно охлаждане във въздушна струя или масло. По този начин нарастват статичната и ударната якост с над 7 пъти.

## **СИТАЛИ**

Ситалите представляват особен вид неорганичен електроизолационен материал с поликристална структура. Получават се от стъклото чрез стимулирана кристализация. Поради тази причина заема място между обикновеното стъкло и керамиката.

Ситалите се характеризират с повишена механична якост и могат да имат в зависимост от синтеза както малък, така и голям температурен коефициент на линейно разширение. В сравнение със стъклото притежават по-високо специфично съпротивление и диелектрична якост. Във връзка с това ситалите намират широко приложение: от изработване на конструктивни детайли до използване в микроелектрониката.

В зависимост от катализатора, предизвикващ кристализацията, ситалите се разделят на две групи - термоситали и фотоситали. При първите като добавки се използват  $TiO_2$ ,  $FeS$ , флуориди, фосфиди на алкални метали, при фотоситалите -  $AgCl_2$ , злато, платина и други елементи, отделящи се от окисите, които влизат в състава на стъклото, под влияние на ултравioletовите лъчи с дължина на вълната от 260 до 360 nm.



Термоситалите се използват за изработване на детайли с високи диелектрични качества, голямо изолационно съпротивление и механична якост: основи на тънкослойни интегрални схеми, за защитни кожуси на полупроводникови интегрални схеми, за микромодули, за галети на превключватели и др. От фотоситалите могат да се изработват детайли с много сложна форма, например фотомаски за цветни телевизори.

## **КЕРАМИЧНИ МАТЕРИАЛИ**

Керамиката е неорганичен материал, който се получава чрез отливане в специални форми или от формована минерална маса в процеса на високотемпературно нагряване. Техническата керамика включва изкуствено синтезирани керамични материали с различен състав. Състои се от кристална и стъкловидна фаза. Кристалната фаза съставлява основната маса и определя свойствата на керамиката, а стъкловидната, макар че намалява механичните свойства, подобрява обработваемостта на керамиката. Различните съставки на керамиката се раздробяват, смилат, смесват и се пресоват под налягане в специални пресформи. При леенето нагрятата до аморфно състояние маса се отлива във форма, която след изстиването на неорганичния материал се счупва, и се изважда готовото изделие.

Керамиката по своя състав бива оксидна (на базата на оксиди на алуминий, цирконий, магнезий, берилий) и безоксидна (съединения с въглерод - карборунди, бор - бориди, азот - нитриди, и силиций - силициди).

От техническите керамики най-широко приложение намира порцеланът - има плътен, силно спечен, покрит с глазура череп, с водопоглъщаемост до 0,5%. Притежава висока термична и химична устойчивост и много добри електроизолационни свойства. Непропусклив е за течности и газове. В зависимост от състава на керамичната маса порцеланът бива два вида - твърд и мек.

Твърдият порцелан - електропорцелан, порцелан за химична апаратура, за лабораторни и други цели, се характеризира с висока химична, термична и механична устойчивост и отлични диелектрични свойства.

Мекият порцелан - фелдшпатов, бисквитен, фритов и костен, съдържа повече топлини съставки, поради което се изпича при по-ниски температури - 1250 - 1300 °C. По поръзност и физико-механични характеристики отстъпва на твърдия порцелан, което определя по-ограниченото му приложение - главно за производство на домакински съдове и на художествени изделия.

Каменината е друг вид керамика с плътна, остъклена в различна степен структура (череп). Характеризира се с висока механична и химична устойчивост. Непропусклива е за вода и газове. Използва се за изработка на

различни химични съдове и за строителни материали - тръби, подови плочки, тухли и др.

Към групата на керамиките с шуплив череп спадат теракотата, строителната керамика и грънчарските изделия, които намират приложение основно в бита и строителството.

## **ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ**

Пластмасите са материали с основен компонент естествено или изкуствено полимерно съединение и различни ингредиенты.

### **СЪСТАВ НА ПЛАСТМАСАТА**

По-голяма част от съвременните пластмаси съдържат три основни съставки: свързващо вещество, пълнител и прибавки.

#### **СВЪРЗВАЩО ВЕЩЕСТВО**

Това са полимерите, получени по синтетичен път или в готов вид от природата. Полимерите са съединения, чиято молекула е изградена от голям брой (poly - много) повтарящи се сегменти - атоми или атомни групи (носещи името мономери), свързани помежду си по определен начин. Така например в полиетилената повтарящото звено е етиленът  $-CH_2=CH_2-$ , в полистирола – стирола. Молекулите могат да имат линейна, разклонена, мрежова и пространствена структура. Линейната структура осигурява много висока якост при едновременна добра пластичност. При разклонената структура страничните групи увеличават разстоянието между отделните вериги, което обуславя по-малката им якост, но по-добрата термопластичност в сравнение с линейните. При пространствените структури отделните вериги са съединени с напречни връзки. Колкото повече са те, толкова полимерът е по-трудно разтворим и е по-крехък. Линейните и разклонените структури са основа на термопластичните, а пространствените - на термореактивните пластмаси.

Термопластични пластмаси са тези, които не претърпяват съществени химични изменения при нагряване. Изделията, изработени от тях могат да се преработват многократно.

Термореактивните пластмаси претърпяват необратими изменения при нагряване - преминават в гъсто провлачено състояние и се втвърдяват. Поради това изработените от тях изделия не могат да се претопяват и преработват отново.

Синтетичните пластмаси се получават в резултат на процеси на полимеризация или поликондензация на мономерите.

**Полимеризацията** е процес, при който се извършва свързване на няколко мономери чрез разкъсване на двойни, тройни връзки или на

циклични атоми в една сложна, без да се отделят странични нискомолекулни продукти. Елементарния състав на полимера и изходните продукти е един и същ. Чрез полимеризация се получават полиетилен, полистирол, поливинилхлорид и др.

**Поликондензацията** е процес на образуване на високомолекулни съединения, при който се отделят странични нискомолекулни продукти /вода, хлороводород, амоняк и др./. Чрез нея се получават фенолформалдехидни, карбамидформалдехидни, полиестерни, органосилициеви и други смоли. Елементарният състав на полимера е винаги различен от състава на изходните продукти.

### **ПЪЛНИТЕЛИ**

Те се поставят предимно в термореактивните пластмаси и представляват прахообразни, влакнести или слоести материали, които се смесват механично със свързващото вещество и другите добавки. Пълнителите придават различни свойства на пластмасите: повишават якостта, повишават топлоустойчивостта, намаляват свиваемостта, намаляват себестойността на изделието и т. н. Като прахообразни пълнители могат да се използват: азбест, мрамор, креда, талк, гипс, дървесно брашно и др. Влакнестите пълнители са отделни влакна от памук, лен, линтер, стъкло. Пластмасите с влакнести пълнители имат по-голяма якост от тези с прахообразни. Слоестите пълнители са слоеве от хартия, текстилна тъкан, стъклена тъкан и др., които повишават якостта на пластмасите.

### **ДОБАВКИ**

Прибавките са допълнителни материали, поставени в пластмасите, за да им придадат определени качества - пигменти (за придаване на определен цвят), пластификатори (придават еластичност, студоустойчивост), стабилизатори (предпазват свързващото вещество от стареене), ускорители, втвърдители и др.

### **ОСНОВНИ СВОЙСТВА НА ПЛАСТМАСИТЕ**

- Плътност - пластмасите са многократно по-леки от металните материали. Плътността им варира от 0,9 до 2 g/cm<sup>3</sup>.

- Химична устойчивост - устойчиви са не само на влага, но и на различни киселини, основи, минерални масла и др. Химически най-устойчиви са полиетиленът, полистиролът, полипропиленът и др.

- Електрични свойства - всички пластмаси са изолатори, поради което намират изключително приложение в електротехниката, електрониката и съобщителната техника.

- Механични свойства - поради голямото разнообразие якостта на пластмасите се колебае в широки граници - от 2 до 600 МРа. В зависимост от твърдостта пластмасите се делят на:

- твърди - това са материали с аморфна структура и малка разтегливост; запазват формата си под действие на външно налягане при нормална и повишена температура.

- полутвърди - това са твърди материали с кристална структура и голямо удължение при разрушаване, което е обратимо и изчезва при температура на топене на кристалите.

- меки - имат нисък модул на еластичност и малко остатъчно удължение.

- Антифрикционни свойства - повечето от пластмасите имат нисък коефициент на триене и са силно износоустойчиви. Най-добри антифрикционни материали са флуоропластите, полиамидите, текстолитът и стъклотекстолитът. Пластмасите с азбестов пълнеж (феродото) имат много висок коефициент на триене и малко износване и затова се използват в спирачните системи.

Наред с многото положителни свойства използваните понастоящем пластмаси притежават и много недостатъци:

- ниска топлоустойчивост - всички пластмаси издържат до температури 70 - 200 °С; единствено силиконовите и тефлоновите издържат до 350°С;

- ниска топлопроводност;

- малка повърхностна твърдост - тя е причина за поява на редица повърхностни дефекти;

- стареене - то се изразява в намаляване на повърхностната твърдост, промяна на цвета и дори самоволно разрушаване;

- пълзене - характерно е за термопластичните пластмаси и се състои в бавно деформиране на материала под действие на натоварване.

## **ВИДОВЕ ПЛАСТМАСИ**

Приложението на пластмасите е многостранно.

Конструкционните пластмаси като текстолит, стъклотекстолит, гетинакс се използват за облицоване и изработване на различни елементи и детайли. Тези пластмаси са слоисти и представляват пластични материали, армирани с успоредно разположени слоеве пълнител: хартия при гетинакса, памучна тъкан при стъклотекстолита, стъклена тъкан при стъклопластите, които са пропити с фенолформалдехидна, епоксидна полиестерна или фенолна смола. Предимство на стъклопластите в сравнение с металите е, че за изработването

от тях на голямогабаритни изделия не се изискват специални скъпоструващи съоръжения.

Пенопластите също спадат към групата на конструкционните пластмаси. Получават се от синтетични полимери, като най-разпространеният между тях е пенополиуретанът, известен с търговското име дунапрен. Пенопластите се използват за топлинна и звукова изолация в специални кабинни, камери, вагони и помещения.

Епоксидните смоли с търговско наименование епикокс, епокси и др. много добре се свързват с метал, стъкло и други материали. Характерно за тях е, че преминаването им от течно в твърдо, нестопяемо и неразтворимо състояние се извършва под действие на втвърдители. Епоксидната смола има якост на опън  $(700-900) \cdot 10^5$  Ра, не взаимодейства химически с мазилните материали и се прилага в различни отрасли на промислеността както за лепене, заливане на метали, така и за херметизиране на различни съдове, а също и за изработване на различни изделия. Намират приложение и за изработване на леярски модели, сърцеви кутии, пресформи и др.

Електроизолационни материали: *Полистиролът* (с търговско название тролитул и означение PS) намира приложение в съобщителната техника поради добрите си електроизолационни свойства, висок коефициент на пречупване на светлината, отсъствие на пълзене при ниски температури и абсолютна устойчивост на вода. *Полиетиленът* (луполен, еусполен и означение PP) е с аморфокристален строеж, състоящ се от верижни и разклонени вериги; притежава диелектрични свойства, значителна специфична якост, устойчивост към радиоактивни излъчвания, незначителна хигроскопичност. Той е един от най-широко разпространените електроизолационни материали за проводници и кабели. Често от полиетилен се изработват тънки листове с линейна или мрежеста структура, които се залепват към металите.

*Флуоропластът* (тефлон с означение PTFE) има добри изолационни и механични свойства. Флуоропластите са голяма група полимери от винилен тип, от които в машиностроенето най-широко приложение намират тетрафлуоретиленът и трифлуорхлоретиленът. Тяхна отличителна особеност е високата им кристалитност. По химична устойчивост тетрафлуоретиленът съответства на златото и платината - не се разтваря в органични разтворители, устойчив е на киселини и основи. Намира приложение в ултрависокочестотната техника.

*Полिवинилхлоридът* с търговско название винидур, екадур и др. и означение PVC е аморфен полимер. PVC има сравнително малка топлоустойчивост,

склонен е към деформиране при относително малки натоварвания, което особено силно се проявява при повишени температури. Употребява се за изработване на различни апарати и тръби за химическата и леката промишленост, за изолация на кабели, за производство на лакове, хидроизолационни влакна и др.

Антифрикционни пластмаси : *азболит* - използва се за дискове и накладки в триещи съединители; *фериодо* - това е плетена азбестова лента с основа от медни и месингови нишки, пресована с фенолформалдехидна смола. Използва се за спирачни накладки.

### **КОМПОЗИЦИОННИ МАТЕРИАЛИ С МЕТАЛНА МАТРИЦА**

Това са технически материали, които се състоят от метална матрица (Al, Mg, Ni), уякчени с влакнести материали или финодисперсни частици, които не се разтварят в основния материал. Основна характерна особеност на тези материали е хетерогенната им структура. Много често композиционният материал представлява слоиста структура, в която всеки слой е армиран с голям брой успоредни непрекъснати влакна. Често влакната са сплетени в трислойна структура. Композиционните материали се отличават с много висока якост на опън, износоустойчивост, модул на еластичност и малка склонност към разпространение на пукнатини. Практически е изключено крехкото разрушаване на тези материали. Употребата на композиционни материали повишава якостта на конструкциите при едновременно намаляване на металоемкостта им.

Сплавите на алуминия, магнезия и титана се армират главно с влакна на бор, силициев карбид, титанов борид и алуминиев оксид, които повишават окалиноустойчивостта на материалите.

Дисперсните композиционни материали се различават по своята структура от влакнестите - носещата якостна структура е металната матрица, а дисперсните частици затормозяват движението на дислокациите в нея. Оптималното съдържание на втората фаза се движи в границите от 5 до 10%. Най-широко разпространение са намерили сплавите на основата на алуминия, т. нар. САП-сплави (спечени алуминиеви прахове). САП-сплавите се състоят от алуминий и дисперсни частици на двуалуминиев триоксид. Частиците на оксида, освен че спират движението на дислокациите, повишават якостта на сплавите. Плътността на тези материали е равна на плътността на алуминия и те притежават много добра корозионна устойчивост. Дори могат да заместват титана при работа в температурния интервал от 250 до 500 °С.

Приложението на тези сплави е огромно - използват се за високонатоварени детайли и двигатели в различни транспортни средства; в космическата техника за направа на различни детайли, подложени на високи температури; в автомобилостроенето за облекчаване на шасита, рами, ресори и др. Използването на композиционни материали осигурява увеличаване мощността на двигателите, транспортните и енергийните системи, намаляването на масата на машините и уредите.

## **ПРАХОВО-МЕТАЛУРГИЧНИ МАТЕРИАЛИ**

Прахови се наричат всички материали, които се получават чрез пресоване в специални форми, точно копиращи изделието, и след това изпичане във вакуум или защитна среда при температура 0,75 - 0,8 от температурата на топене на съответния материал. Праховите материали биват порести и компактни. Порести са материалите, които след окончателната им обработка запазват 10 до 35% пори в структурата си. Намират приложение за изработване на антифрикционни детайли като лагери, втулки и различни филтри. Тези материали имат малък коефициент на триене, лесно се сработват, издържат на значителни натоварвания и са с добра износоустойчивост. Лагерите се изработват от сплави на желязото и 1 до 7% графит. Структурата на металната основа трябва да е перлитна, тъй като тя допуска максимални скорости и натоварвания при минимално износване. Сплави на желязо с мед се използват за триещи се изделия (дискове, сегменти) в спирални възли. Тези сплави са с нисък коефициент на триене, добра механична якост и износоустойчивост. Обикновено като твърда смазка се използват графит, олово, сулфиди и др.

Коефициентът на триене за чугуна (без смазочен материал) за праховите материали на желязна основа е 0,18-0,40, а за тези на медна основа - 0,17-0,25. Затова при работа в условия на сухо триене (детайли на спиралки на различни машини) се използват материали на желязна основа.

За филтриращи изделия с форма на тръба, втулка, пластина се използват прахови смеси на базата на Ni, Fe, Ti, Al, корозионноустойчиви стомани, бронзи и други материали с порестост 45-50%.

В електрониката и електротехниката намират приложение магнити от прахови смеси на Fe-Ni-Al (сплави от типа алнико). Не рядко свойствата на праховите магнити са много по-добри от тези на летите.

В оптико-механичните уреди най-широко разпространение намират високояките сплави на Al-Zn-Mg-Cu, които много добре се обработват с металорежещ инструмент.

Сплавите на основата на цветни метали намират място в изделията на електротехническата промишленост и електронната техника. Тези сплави притежават висока топло- и електропроводимост, корозионна устойчивост, добра технологичност при обработване чрез рязане и пластична деформация. Те са немагнитни.

Наред с многото предимства праховата металургия има своите недостатъци. Пресформите са много скъпи и икономически изгодно е приложението им в масовото производство. Освен това по-лесно се изработват детайли с проста геометрична форма с малка маса и размери.

### **Контролни въпроси**

1. Какво представляват оптичните материали?
2. Колко вида биват стъклата според педназначението им?
3. Какви са основните свойства на стъклата? Имат ли електрични свойства? Проводници или диелектрици са стъклата? По какъв начин се повишава качеството на стъклото?
4. Какво представлява безцветното стъкло? Колко вида безцветно стъкло съществува?
5. Какво е оптичен кристал?
6. Какво представлява техническата керамика? Какъв е съставът и?
7. Къде намира приложение порцеланът?
8. Кой са основните компоненти на пластмасите?
9. Каква е разликата между термореактивните и термопластичните пластмаси?
10. Какви основни свойства притежават пластмасите?
11. Къде намират приложение композиционните материали?



## ЧАСТ II

### МЕХАНИЧНИ ТЕХНОЛОГИИ

В предишните глави разглеждахме структурата на материалите, микроструктурата им, фазовите превръщания, различните структурни реакции, свойствата, обусловени от тези структури и процеси, и поведението на материалите в зависимост от външните условия. Тези знания биха имали твърде малка практическа стойност, ако не сме в състояние да създадем конкретен материал с желана вътрешна структура и желана външна форма. Целта на тази глава е да се запознаем с основните технологии за обработване на материалите и техните специфични характеристики.

#### Тема 13

#### ЛЕЕНЕ НА МЕТАЛИТЕ

#### СЪЩНОСТ НА ПРОЦЕСА ЛЕЕНЕ

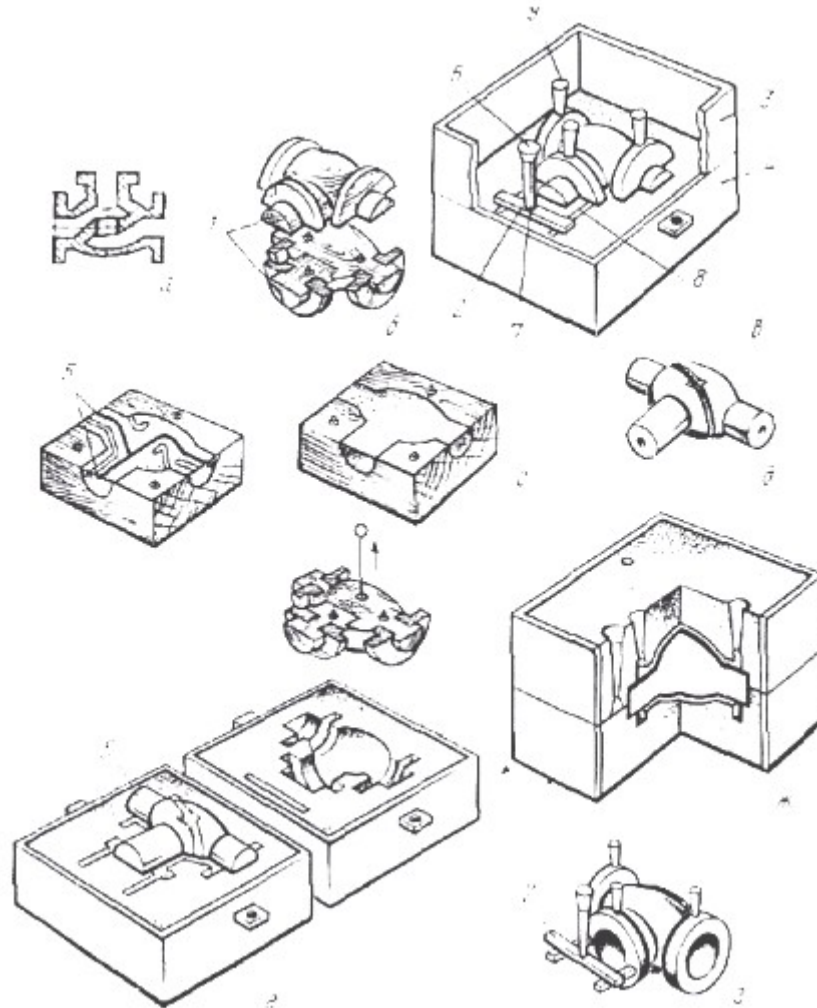
Леенето е най-старият процес за обработване на материалите. В съвременното производство ролята на леенето на металите като технологичен процес е много голяма. Днес 40% от теглото на съвременните агрегати са отливки. Най-голям е дялът на чугунените отливки - 80%, след тях са стоманените - 15%, и останалите 5% са отливки от цветни метали и сплавите им.

Широкото приложение на леенето се обуславя от възможността да се изработват детайли с различни размери и маса. Теглото на някои отливки достига 200 t, а дебелината на стените - до 500 mm. Важно предимство на този технологичен метод са сравнително ниските производствени разходи. Практически няма граница за размер, форма или вид на сплавта, от която може да се направи отливка.

Същността на леярското производство се състои в ***изработването на метални части чрез заливане на стопен метал в предварително приготвена огнеупорна форма, празнината на която представлява точен негативен отпечатък на детайла, който трябва да се получи.***

За отливането на детайл с определена форма е необходимо да се направи модел (фиг. 13.1), който може да е от една част или съставен от две и повече части. Ако в детайла има отвори, предварително в специални сърцеви кутии се изработват леярски сърца. Моделите се формоват в леярски каси, след което касите се отварят, моделът се изважда - той е образувал кухня - отпечатък на бъдещата отливка. Постава се сърцето, касите се затварят, формата се изсушава и през направените във формата канали на леяковата

система се налива стопеният метал. След изстиване отливката се изважда, отстранява се леяковата система, избива се сърцето и се почиства.



Фиг. 13.1. Елементи на изработването на леярска форма:

а - разрез на готовия детайл; б - части на леярския модел; в - изглед на елементите на горната полуформа:

2 - шлакоуловител, 3 - горна полуформа, 4 - долна полуформа, 6 - леякова чаша, 7 - леяк, 8 - питатели, 9 - отливъци; г - двете половинки на кутията за сърца; 5 - арматурата на леярското сърце; д - леярско сърце; е - долна и горна полуформа; ж - вертикален разрез на леярската форма в събран вид; з - отливка.

След това е необходимо да се избере метод на формоване, да се определи положението на отливката в леярската форма и съответно мястото на разделителната повърхност на модела.

За да се проектира отливката, трябва да се определят:

- прибавките за механична обработка и линейното свиване;

- вида и големината на леярските наклони, закръглениа и преходи;
- формата на сърцата и начинът на фиксирането им във формата.

Процесите, свързани с изработването на леярската форма, се наричат *формоване*. То може да се осъществява ръчно или машинно.

Металите, които се използват за заливане, трябва да притежават някои основни свойства, като: *тънколивкост* (способността на метала да запълва и най-тънките стени на отливката; по-висока тънколивкост притежават сплавите образуващи евтектикум), *корозионна устойчивост*, *минимално линейно и обемно свиване* (способността на металите да се свиват под действие на охлаждането). Свиването при чугуните е около 1%, за стомана е около 1,5-2%, а за медни сплави - 1,6%. При резки температурни разлики свиването на метала може да доведе до образуване на всмукнатини и шупли.

## **КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИТЕ НА ЛЕЕНЕ**

Най-древният метод и все още намиращ широко приложение в техниката е методът на леене в пясъчни форми. Непрекъснатото развитие на техниката доведе до разкриване на нови възможности за леярското производство. Тези възможности се състоят в създаване на нови методи, наречани специални методи на леене: кокилно, под налягане, центробежно, със стопяем модел, в черупкови форми.

### **Леене в пясъчна форма**

Леенето в пясъчна форма е най-древният метод на леене, намиращ приложение и до днес за отливане на детайли с много сложна форма, с точни размери и с различно тегло - от няколко грама до 300 тона, при това с различна дебелина на стените. Методът е единственият възможен за изработване на големи изделия, които имат вътрешни кухни със сложен контур.

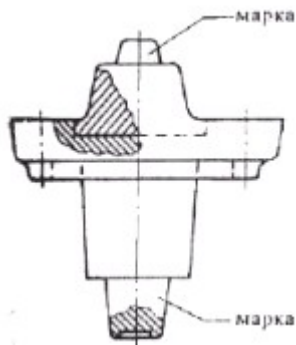
Този вид леене изисква изработването на пясъчна форма и модел на отливката. Изработването на леярска форма е основен процес. За целта се употребяват различни формовъчни материали и смеси, моделна екипировка, формовъчни каси и инструменти.

Основните формовъчни материали са кварцов пясък ( $\text{SiO}_2$ ), формовъчни бентонитни и каолинови глини, различни свързващи материали като водно стъкло, смоли, растителни масла и др. От тези формовъчни материали се получават различни формовъчни смеси, с които се изработват формите. В зависимост от предназначението си смесите биват *облицовъчни* (служат за

непосредствено покриване на модела и са с дебелина на слоя 25 - 30 mm) и *пълнежни* (запълват останалата част от формата). Свойствата, които трябва да притежават формовъчните смеси, са пластичност, якост, газопропускливост, огнеупорност и др., благодарение на които те издържат на високите температури, контактен износ при взаимодействието с течния метал.

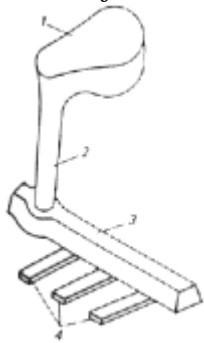
Необходимо условие за правилно леене е изработването на точен модел на отливката (фиг.13.2,б). Леярският модел служи за образуване на кухина във формата, която ще се залее с метал. Изработва се по леярски чертеж, направен съгласно чертежа на детайла (фиг. 13.1) и се прави от дърво за единично производство и от метал - при серийно производство. В моделите винаги се предвиждат прибавки за механична обработка, за свиване на метала, поставят се леярски наклони на вертикалните стени за по-лесно изваждане на отливката от леярската каса, предвиждат се радиуси на закръгление на острите ръбове за намаляване на вътрешните напрежения. За чугунени отливки моделите се боядисват в червено, за стоманени - в синьо, а за отливки от цветни метали - в жълто. Конструктивно моделите се делят на цели, когато са компактни, и делими, когато се състоят от няколко части. На фиг. 13.1,б моделът се дели на две части от делителната линия и в края му са поставени марките за сърца. Когато в отливката трябва да има отвори, предварително се изработват леярски сърца (фиг.13.1,д).

Това се осъществява в специални сърцевеви кутии, които могат да бъдат цели или сглобяеми в зависимост от формата и размерите на сърцата. Очертанията на кухината в кутията отговарят на външните контури на сърцето. Кутиите за сърца обикновено са от дърво или метал.



Леярските форми се изработват в специални сандъци без дъна и капаци, наречени леярски каси: 1 - горна, 2 - долна каса на фиг.13.1,г. Тези форми се изработват с използването на различни инструменти като сита за пресяване на формовъчните смеси, лопати за насипване, трамбовки за уплътняване и трамбоване на пръстта, ланцетки и лъжички за оформяне на модела, шишове за пробиване на отвори за пропускане на газове и др.

Технологията на формоване е сложен процес и изисква спазване на определена последователност. Долната част на леярската каса се поставя върху специална подмоделна плоча, върху която се фиксира долната част на модела или целият модел, ако е неделим. Поръсва се с противополопригарна смес и се насипва с облицовъчна смес. След това касата се запълва с пълнежна смес, уплътнява се и се трамбова. Касата се обръща на  $180^\circ$ , фиксира се горната каса и се поръсва с делителна пръст. Поставят се втората част на модела и леяковата система, която се състои от леякова чаша 3 и отливъци 4. Отново се запълва с формовъчна смес, трамбова се и касата е готова. Внимателно се отделя горната част на касата, изваждат се моделът и леяците, поставят се сърцата 5 за образуване на леярските кухини и касата се затваря. Формата 6 е готова за заливане с течен метал (фиг. 13.1, д). Разтопеният метал се налива през леяковата система, която се състои от наливна чаша 1 (фиг. 13.3), леяк 2, шлакоуловител 3 и питателни канали 4.



фиг. 13.3. Леякова система

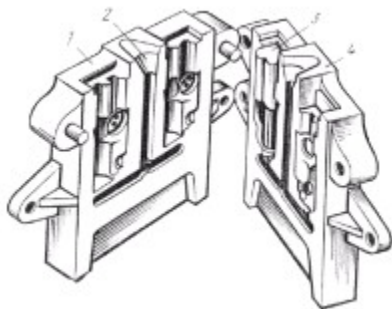
Металът за заливане се топи в различни електродъгови, електросъпротивителни, индукционни пещи. Температурата на метала за заливане на стомана е със  $(100 - 150)^\circ\text{C}$  по-висока от температурата на топене на съответната стомана. За бронз температурата на заливане е  $(1050 - 1200)^\circ\text{C}$ , за месинги  $(1000 - 1100)^\circ\text{C}$ .

След заливане и застиване на метала отливката се изважда от касата, изчиства се от формовъчната смес, отрязват се елементите на леяковата система и в някои случаи се подлага на термична обработка за намаляване на вътрешните напрежения.

Голямото предимство на този начин на леене е възможността за отливане на сложни и различни по форма и размер отливки, а основен недостатък на метода е еднократната употреба на леярската форма.

### **Леене в метални форми (КОКИЛНО ЛЕЕНЕ)**

Леенето в метални форми се прилага при серийно производство, когато е икономически изгодно изработването на скъпоструващи метални форми (фиг. 13.4).



Фиг. 13.4. Общ вид на кокилата. 1 - дясна метална полуформа; 2 - леякова система; 3 - леярско сърце; 4 - лява метална полуформа

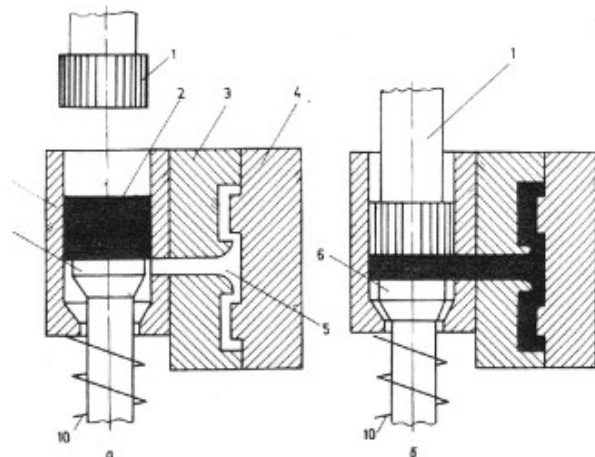
Металната форма (кокилата) се изработва от чугун или въглеродна стомана. Кокилите са от една или две части в зависимост от формата на отливката. При нужда се използват метални или пясъчни сърца. Преди изливане на разтопения метал кокилата се подгръва до около 300 °С, за да се намали температурният градиент на топлоотделяне. Получените отливки имат добър външен вид и са със сравнително гладки стени. Поради бързото топлоотделяне се получава по-равномерен химичен състав и по-плътна структура.

Основен недостатък на този метод е получаването на пукнатини и невъзможността да се отливат тежки детайли.

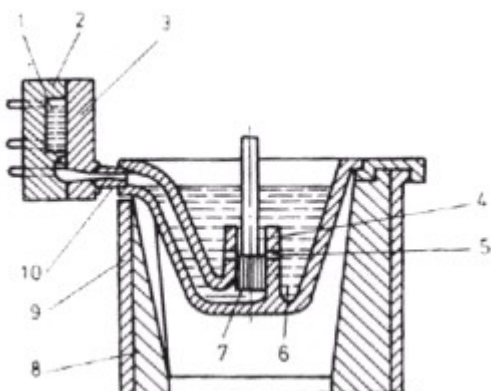
### **Леене под налягане**

Леенето под налягане се извършва в специални машини, където в хидравлично затворена верига стопеният метал се вкарва под налягане 500 МРа в специални форми. В резултат на това получаваните отливки са гладки, с много точна форма и са без дефекти по повърхността. Създаването налягане осигурява бързо и точно запълване на формата. Този метод е приложим за отливане на детайли от цветни метали, за малки тънкостенни отливки от черни метали.

Машините за леене под налягане са два вида: бутални и компресорни. В буталните машини налягането се създава посредством натиск на бутало, така че да се изтласка разтопеният метал в частите на формата (фиг. 13.5 и 13.6). Разтопеният метал се налива в тигел, поставен в камера. Упражнява се налягане посредством бутало. Поради създаденото налягане металът през входни канали навлиза във формата. След застиване отливката се изважда.



Фиг. 13.5. Схема на получаване на отливка чрез леене под налягане: 1-горно бутало, 2-течен метал; 3-неподвижна половина на пресформата; 4-подвижна половина на пресформата; 5-леяк; 6-долно бутало; 7-пресоващ цилиндър; 8-остатък от метала; 9-отливка; 10-пружина.

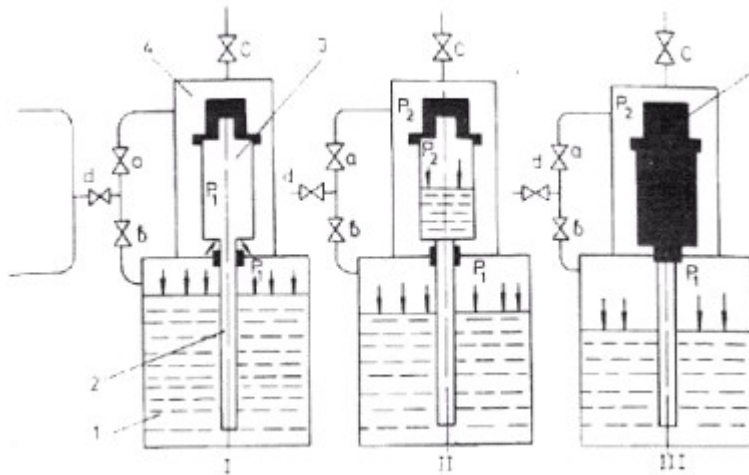


фиг. 13.6. Схема на бутална машина с гореща камера: 1-отливка; 2-подвижна част на пресформата; 3-неподвижна част на пресформата; 4 -цилиндър; 5-отвор за хранване на камерата с течен метал; 6-тигел с течен метал; 7-бутало; 8-облицовка; 9-кожух; 10-наливна втулка.

В компресорните машини се създава налягане върху цялото количество разтопен метал посредством сгъстен въздух. Предимства на метода за леене под налягане са възможността за производство на тънкостенни детайли със сложна форма и възможността за автоматизация на производствения процес. Наред с това обаче съществуват и недостатъци - висока стойност на машините и цялото оборудване. При високи скорости на процеса в отливката се получават пори.

### Леене с противоналягане

Основната идея на този метод, създаден от българските учени акад. Ангел Балеви и проф. Иван Димов, е следната (фиг. 13.7): в леярската форма се задейства газово налягане  $p_2$ , наречено противоналягане. Движението на стопилката се извършва под действието на друго, по-голямо налягане  $p_1$ . Двете налягания се регулират така, че металът, намиращ се в тигел 1, да запълва през канал 2 формата 3 с определена скорост, което е благоприятно за кристализационния процес. Налягането се създава в специални машини от въздух или от газ.



Фиг. 13.7. Схема на леене с противоналягане: 1-тигел с течен метал; 2-леякова тръба; 3-леярска форма; 4-камера.

Предимство на метода е получаването на много точни и прецизни отливки с голяма хидравлична и пневматична плътност. Този метод е патентован в различни страни и по него се произвеждат различни качествени отливки, в частност джантите на световно известни автомобили.

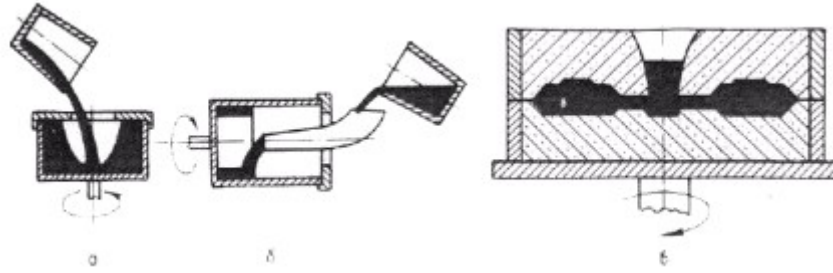
По-важни предимства на леенето с противоналягане са:

- регулиране на скоростта и времето на запълване на формата;
- регулиране на грапавостта на отливките;
- възможност да се лее в неутрална или специална атмосфера;
- регулиране на подаването на течен метал в кристализиращите части на отливката;
- равномерна структура и еднакви свойства във всички части на отливката.

### Центробежно леене

За изработването на ротационни тела се прилага методът на центробежното леене. Разтопеният метал се налива във въртяща се форма (фиг. 13.8).



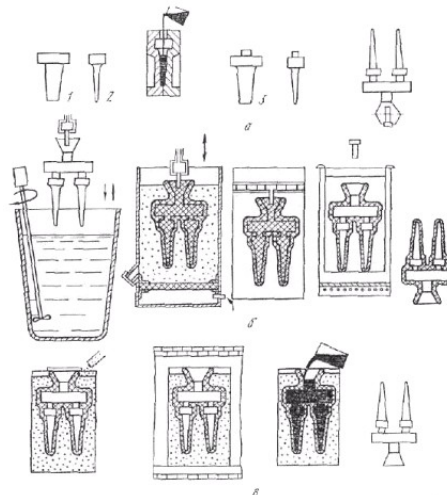


Фиг. 13.8. Схеми на центробежно леење: а) с вертикална ос; б) с хоризонтална ос; в) центробежно леење в пясъчни форми.

При въртенето възникващите центробежни сили притискат метала към стените на формата и той се разпределя равномерно по вътрешната и' кухина. Въртенето може да се извършва около хоризонтална (фиг. 13.8, в) или вертикална (фиг. 13.8, а и б) ос. Оборотите на въртене зависят от диаметъра на отливката, относителната плътност на метала и др. На хоризонталните машини се отливат по-дълги детайли - водопроводни, канализационни и други кухи детайли. На вертикалните ротационни машини се отливат части с малка височина като шайби, втулки. Получените отливки имат чиста повърхнина, дребнозърнеста и плътна структура. Те не съдържат неметални и шлакови включения.

### Прецизно леење

Този метод се прилага, когато е необходимо да се изработят дребни детайли с много точна форма, без да се прилага допълнителна стружкоотнемаща технология (фиг. 13.9). Обикновено се отливат сплави, които трудно се обработват с металорежещ инструмент.



Фиг. 13.9. Етапи на получаване на отливката със стопяеми восъчни модели

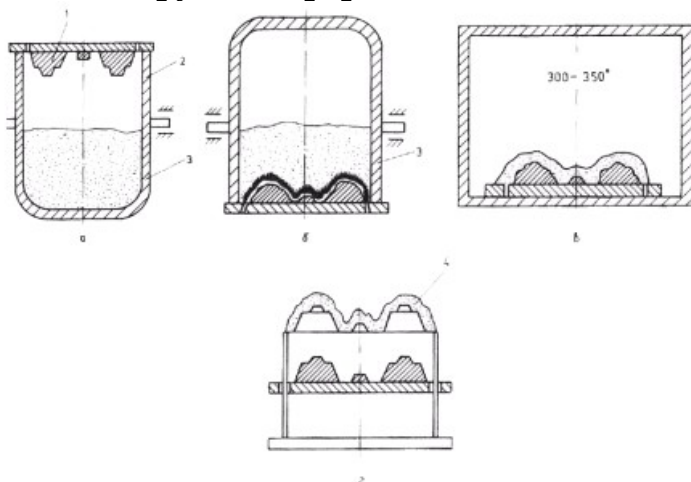
Процесът на производство на тези отливки се състои в следното. В специална метална форма, наречена пресформа, се отлива восъчен модел. Върху получения модел се нанася специална смес (кварцов пясък, смесен с каолин, графит и водно стъкло), която след изсушаване и изпичане образува огнеупорна корица, запазваща точните очертания на модела. След изсушаването и' получената восъчна форма се поставя в гореща вода, при което восъкът се топи и изтича от обвивката си. В образуваната черупка се излива стопеният метал.

На фиг. 13.9 е показана схема на леярска форма за прецизно леене. Восъчните модели 1 са формовани с формовъчен материал 3 в каса 4 с общ леяк 2. За да се получи отливка с по-голяма плътност, отливането се извършва под налягане.

По този начин се получават отливки с извънредно голяма точност и висока гладкост на повърхността. Могат да се отливат сложни детайли с малки размери: части на шевни машини, лопатки на турбини, ръчно оръжие, режещи инструменти и др.

Недостатъци на метода са: вътрешните кухини на детайлите се получават трудно, за всяка отливка е нужен нов модел, процесът на формоване е много продължителен и освен това се влагат скъпи свързващи вещества.

### Леене в черупкови форми



Фиг. 13.10. Етапи за получаването на черупковата полуформа. 1 - блана; 2 - бункер; 3 - формовъчна смес; 4 - черупкова полуформа

При този метод върху метален модел , поставен на плоча и загрят до 250 °С, се посипва смес от кварцов пясък и бакелит (фиг. 13.10). След

образуване на корица моделът се загрява до 400 °С и черупката се втвърдява. Останалата пясъчно бакелитна смес се отстранява чрез обръщане на бункера. Получената черупка се отделя с помощта на специален механизъм. По този начин се изработват две полуформи, които след това се съединяват, укрепват и заливат с метал. Ако е необходимо получаването на отвори, в черупковите форми се залагат сърца подобно на пясъчното леене. След застиване формите се разбиват и се изваждат получените отливки. Те са точни и чисти, а процесът е механизирани и автоматизиран. При този метод не е възможно да се отливат големи и тежки детайли, защото се изразходват скъпи скрепителни материали. Освен това при стопяване на бакелитните смеси се отделят вредни вещества, което е опасно от хигиенна гледна точка.

### **Контролни въпроси**

1. Кои са технологичните етапи на процеса леене?
2. Какво представлява леярската форма? Какви са нейните елементи?
3. Какво представлява леенето в пясъчна форма? Кога и къде намира приложение?
4. Кои метали могат да се леят? Каква трябва да е подготовката на метала, който ще се лее?
5. Кога се прилага кокилното леене? За какви детайли?
6. Каква е разликата между леенето под налягане и леенето с противоналягане? Какво е приложението на двата метода?
7. За леенето на какви детайли е приложимо центробежното леене?
8. Какъв метод на леене трябва да се използва, когато трябва да се получат прецизни отливки?

## Тема 14

### ОБРАБОТВАНЕ НА МЕТАЛИТЕ ЧРЕЗ ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ

Основно свойство на металите е тяхната пластичност. Това означава, че при прилагане на външно въздействие, чиято стойност е над границата на провлачане, те могат да променят формата и размерите си, без да се разрушават. Тази форма се запазва след прекратяване действието на външния товар. Следователно в основата на процесите на пластичната деформация стои възможността в металите да възникват пластични деформации под действие на създадени напрежения.

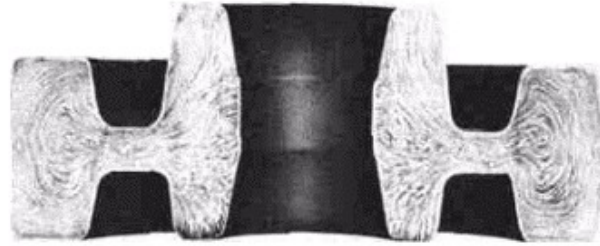
Пластичността на металите е в пряка зависимост от температурата, химичния състав и скоростта на деформация. С повишаване на температурата пластичността на метала нараства значително. С увеличаване вида и количеството на примесите в металите намалява значително пластичността им. Повишеното съдържание на C, Si, Mn, S и P я влошава във въглеродните стомани, а наличието на Cr, W, Mo, V увеличава съпротивлението на легираните стомани срещу пластичното им деформиране. С увеличаване скоростта на деформация материалът губи пластичността си.

Прието е за критерий на пластичността да се отчитат относителното удължение  $A$  [%] и относителното свиване  $Z$  [%]. Колкото по-големи са стойностите им, толкова пластичността на метала е по-голяма.

Протичането на пластична деформация се основава на 2 закона.

- Според закона за **постоянство на обема** обемът на метала преди и след деформация не се изменя.
- Съгласно закона за **най-малкото съпротивление** металът се деформира чрез двойникуване или чрез преплъзване по посока на най-малкото съпротивление.

След пластична деформация металът се уякчава. Равновесната му структура 1 след валцоване (пластична деформация) се деформира - получава се т. нар. деформационна текстура (фиг. 14.1). Ако деформацията се прилага на студено, деформационната текстура се запазва, което води до промяна на механичните свойства на материала. Ако е необходимо отстраняването на тази структура, металът се подлага на нагриване до температура, равна на 0,4 от температурата на топене. Процесът се нарича рекристализационно отгряване. При това металът възвръща първоначалната си структура, снемат се вътрешните напрежения и изчезва текстурата (ориентировката на кристалните зърна). Над температурата на рекристализация протичат процесите на гореща пластична деформация.



Фиг. 14.1. Деформационна текстура

Основни технологични методи на пластична деформация са: коване, шамповане, щанцоване, пресоване, валцоване, изтегляне, огъване.

**Нагриване на метала. Нагревателни устройства** Технологичният процес на гореща пластична деформация започва с нагриване, като целта на това нагриване е да се повиши пластичността на обработваните метали. Температурите на нагриване за пластична деформация лежат в аустенитната област. От начина и средата на нагриване зависи възникването на явления като: окисляване, обезвъглеродяване, прегряване и прегаряне. Като се спазва необходимият интервал на нагриване на металите, се предотвратява възможността от прегаряне и се запазва повърхността от повреждане вследствие на окисление и обезвъглеродяване. Освен това не се допуска уедряване на кристалните зърна, което води до повишаване на крехкостта. Ето защо от съществено значение е видът на нагревателното съоръжение.

Основните изисквания към средствата за нагриване са постепенността и равномерността на нагриване. В тях трябва да е осигурена възможността за точно измерване на температурата. Желателно е да не се допуска окисляване на повърхността на нагривания детайл.

Всеки метал има точно определен температурен интервал на нагриване за пластична деформация. Горната граница се подбира така, че да не се допуска образуване на крехка окисна корица (прегаряне), а долната трябва да е достатъчно висока, че да не се стига до механично уякчаване и образуване на пукнатини при деформиращите процеси.

Нагревателните устройства са различни видове пещи. Според източника на топлина те биват пламъчни и електрически. В зависимост от своето действие биват камерни с периодично действие и методични с непрекъснат работен режим. В методичните пещи нагриването е по-равномерно и се осъществява на два етапа: първо, подгриване на металния блок и второ -- ускорено нагриване до работната температура. Много често се използва и индукционно нагриване.

## КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЕТОДИТЕ НА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ

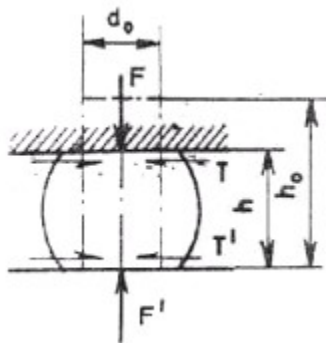
Видовете методи на пластична деформация могат да се проследят на схема 14.2.

### Коване и обемно щамповане

**Коването** е пластично обработване на металите в горещо или студено състояние, при което заготовката се деформира чрез удар или натиск. Този метод датира от векове и отначало се е изпълнявал ръчно.

Различават се два вида коване - свободно и в щампи.

Свободното коване се използва за получаване на заготовки, наречени изковки, които не представляват завършено изделие, а са предназначени за следващо обработване. В резултат на деформирането от заготовка с височина  $h_0$  се получава изковка с нова височина  $h$  (фиг.1). Основните операции на свободното коване са набиване, изтегляне, огъване, усукване, изсичане, пробиване и ковашко заваряване.

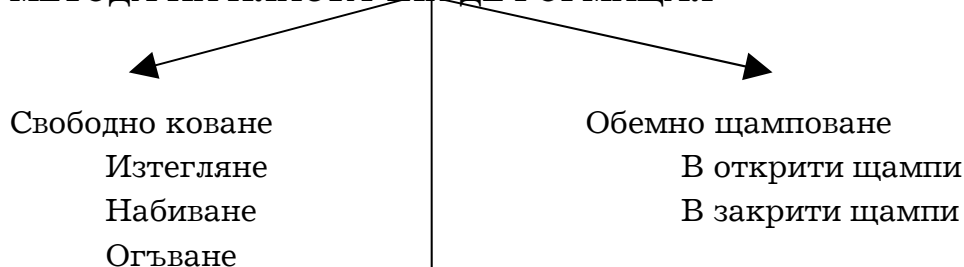


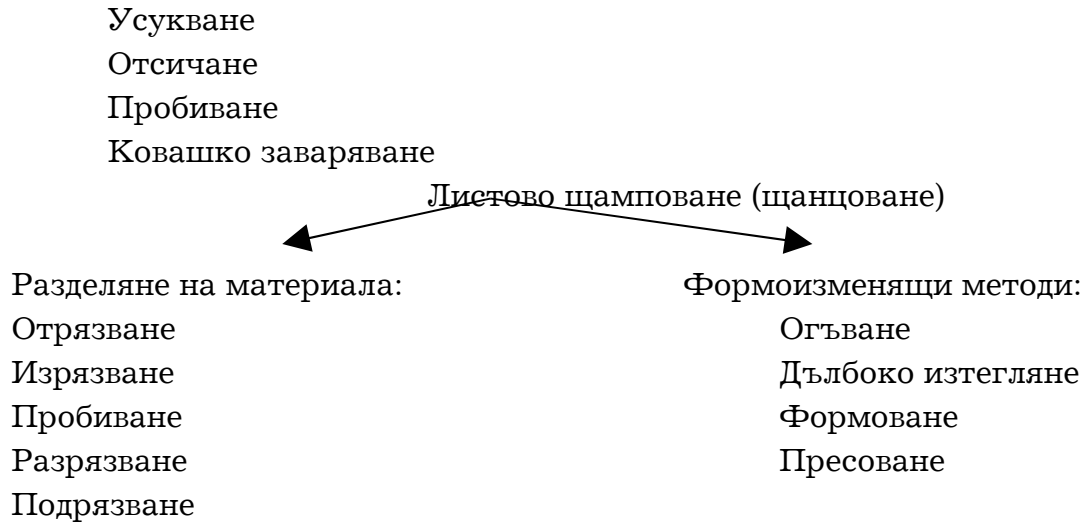
Фиг. 14.2. Свободно коване

Понастоящем коването се извършва на специални машини - чукове или преси. При ковашките чукове, наречени още машини за динамично действие, скоростта на удрящата глава е 7-8 m/s. При ковашките преси въздействието е статично и скоростта на работния инструмент е 0,1-0,3 m/s. Тези машини са пневматични или хидравлични. Коването намира приложение главно в дребносерийното производство.

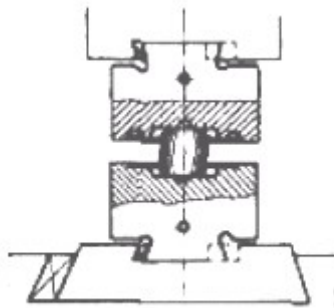
Схема 1.

### МЕТОДИ НА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ





**Щамповането** е метод на пластична деформация, при който нагрятата метална заготовка чрез външно въздействие (натоварване  $P$ ) запълва кухината на метална форма, наречена щампа (фиг. 14.3). Получава се продукт -- изковка с форма и размери, близки до окончателния вид на детайла. За довършване се прилага малка по обем механична обработка. Работният инструмент - щампата, се изработва от специални стомани и се състои от две полуформи. Горната част е закрепена за ударната глава на машината, а долната обикновено е неподвижна и се застопорява върху работната маса на машината. Обикновено в делителната равнина между горната и долната полуформа се оставя кухина за изтичане на излишното количество метал, който след завършване на щамповането се отрязва чрез специална щампа.



Фиг. 14.3. Открито обемно щамповане

Деформационната кухина на щампата се нарича гнездо. В зависимост от сложността на детайла се използват едно- и многогнездови щампи. При многогнездовите се извършва многократно повторение на работния цикъл.

Щамповането има редица предимства пред свободното коване: 1) процесът е краткотраен; 2) могат да се получават изковки със сложна конфигурация; 3) изковките се получават с точни размери.

Щамповането е икономически изгодно при серийно производство поради високата цена на инструмента.

### **Листоно щамповане (щанцоване)**

Щанцоването е метод на пластична деформация предимно в студено състояние. Това е един от най-производителните методи на обработване чрез деформация с голям коефициент на използваемост на материала. На щанцоване се подлагат листови и плоски материали от месинг, мед, алуминиеви сплави, стоманени листове и др. Работният инструмент при щанцоването е щанцата.

Различават се два основни типа операции: разделителни и формообразуващи.

### **РАЗДЕЛИТЕЛНИ ОПЕРАЦИИ**

Към разделителните операции спадат отрязването, изрязването и пробиването.

Отрязването е метод на отделяне на материал по незатворен контур, права или крива линия. Тази операция обикновено се използва за разкрояване и се извършва с ножици.

Изрязването е операция за отделяне на част от метала по затворен контур. По този начин се изрязват различни шайби и други детайли. За изпълнението на тази операция се изработва поансон и матрица по формата на детайла.

Пробиването е операция за получаване на отвори чрез отделяне на материал по затворен контур с методите на пластичната деформация.. Пробиването се осъществява чрез поансона, чиито работни ръбове играят ролята на режещ елемент. Полученият детайл е с променени форма и размери.

Много често е необходимо да се изработват детайли от листов материал с пространствена форма. Тогава на помощ идват операциите огъване, дълбоко изтегляне, загъване (отбортоване), стесняване и формоване.

Чрез огъване се получават различни огънати листови детайли. В зависимост от формата на матрицата се получават различни изделия. С намаляване радиуса на кривината на огънатата повърхнина нарастват вътрешните напрежения и много лесно може да се получат пукнатини, тъй като тези операции обикновено се осъществяват на студено. Ето защо за



различните материали се предписва минимален радиус на огъване, който обикновено е функция на дебелината на листа.

Дълбокото изтегляне е метод за получаване на кухо чашковидно изделие от листов заготовка. То се осъществява със или без притискане на заготовката и прилагане на усилие чрез поансон. При този процес изделието се получава в резултат на придвижване на поансона в отвора на матрицата. За да не се допусне гофриране на ръба на изделието, се прилага притисквателно устройство.

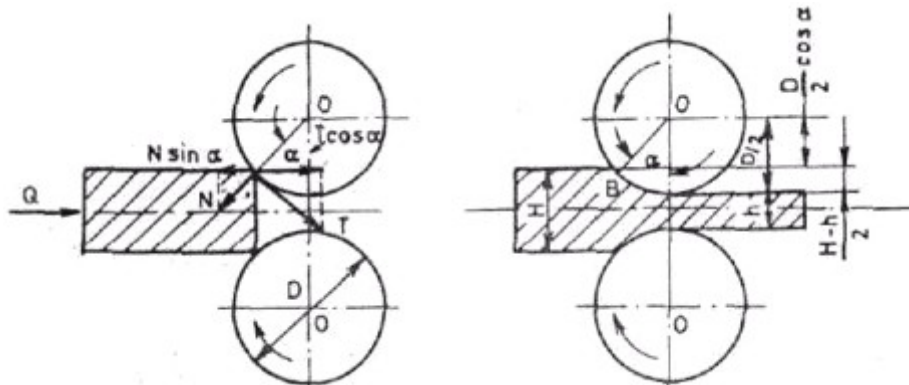
Когато е необходимо да се получи борт по вътрешен контур на детайл, предимно около предварително пробит отвор, се прилага отбортоване.

Формоването е операция, при която се извършва изменение на формата на заготовката посредством местна деформация - например, за получаване цокли на резби, ребра и др.

Инструментите, необходими за формоизменящите операции, са подобни по конструкция на тези за разделящите, но имат заоблени ръбове и не изпълняват режещи функции. Изработват се от специални легирани стомани.

### Валцоване

В процеса на валцоване желаната форма на изделието се придава чрез пластично деформиране на метала между въртящи се в противоположна посока валци (фиг. 14.4). Разстоянието между валците е по-малко от първоначалната дебелина на материала, което създава налягане и металът се смачква и изтегля. Вследствие триенето между обработвания метал 1 и валците 2 се създава постъпателно движение.



Фиг. 14.4. Валцоване

Металите, които се валцоват, предварително се нагряват. На студено се валцоват само изключително пластични метали като олово, калай и някои стомани.

След като металът премине между валците, височината на сечението му  $h_0$  намалява на  $h$ , а дължината му нараства от  $l_0$  на  $l$ . Деформацията може да се определи от полученото:

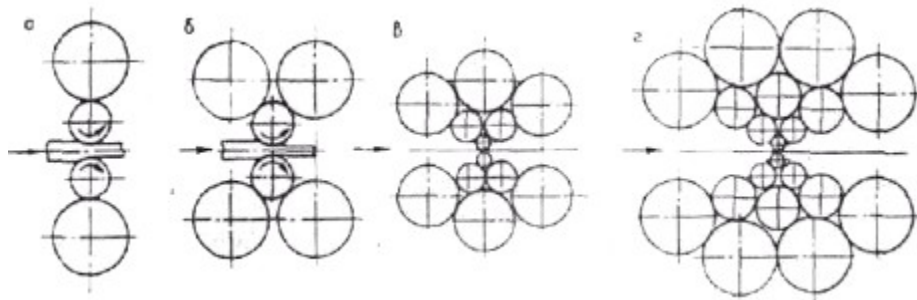
линейно смачкване –  $\Delta h = h_0 - h$ ;

относително смачкване –  $\frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\%$  .

Изтъняването (изтеглянето) за един преход се измерва с  $\lambda = \frac{l}{l_0} = \frac{F_0}{F}$  ,

представляващ коефициентът на изтегляне, където  $F_0$  е напречното сечение на изходния материал, а  $F$  - напречното сечение след преминаване през валците. Условието за движение на метала е  $\text{tg}\alpha < \mu$ , където  $\mu$  е коефициент на триене, а  $\alpha$  - ъгъл на захвата, съответстващ на дъгата на допиране между валците и метала при движение.

Валцоването се извършва с цилиндрични валци, които са гладки, когато ще се изработва листов материал, и калибровани (профилни) - за обработка на прътов материал. При валцоване могат да се използват валцови машини с различен брой валци. В зависимост от този брой те могат да бъдат дву-, три-, четири и многовалцови машини. На фиг. 14.5 са показани схеми на валцоване с различен брой валци. Движение получават средните, а опорните валци се въртят свободно. Валцоването се извършва винаги между средните валци, които носят името работни. Благодарение на това, че се опират на опорните, те не се огъват от натиска на материала, който валцоват.

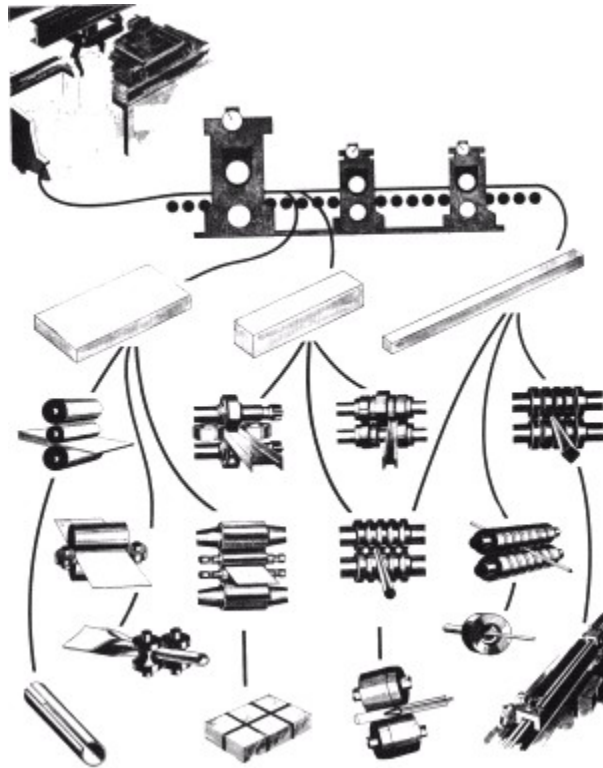


Фиг. 14.5. Различни валцови схеми

Според вида на произвежданите изделия валцовите машини се разделят на машини за предварително валцоване, за валцоване на заготовки и за окончателно валцоване.

Към първата група спадат машините, на които се извършва първоначалното валцоване. На тях се валцоват отлети метални блокове. Тези блокове се получават посредством различни процеси на добиване и преработване. В рудници се добиват съответните руди, които се доставят до пещи, където в присъствието на източник на енергия и различни прибавки се

получава течен метал. Чугунът се получава в доменни пещи, стоманата - в сименс-мартенови, томасови, конверторни, електропещи. Получената стомана се излива във вид на блокове, които след застиване се освобождават от кокилите (формите, в които са изляти) и се нагряват в нагревателни съоръжения (пещи) до температурата на валцоване, след което се валцоват. Продукти на това валцоване са блуми (заготовки с квадратно сечение с размери до 350 x 350 mm) и сляби (заготовки с правоъгълно сечение с минимална дебелина 75 mm и ширина 400 mm) (фиг. 14.6). От слябите след това се валцоват различни листови изделия: ламарини, ленти, листове, заварени (шевни) тръби.

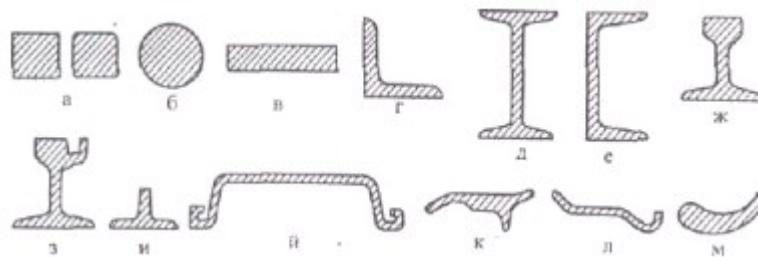


Фиг. 14.6. Схематична диаграма за производството на валцови продукти, разработена от American Iron and Steel Institute

На машините за валцоване на заготовки се обработват различни пръти. Получените заготовки се обработват до готови изделия на машините за окончателно валцоване.

Продуктите на валцовото производство се получават на машините за окончателно валцоване и са многобройни по асортимент. Могат да се разделят на следните видове изделия (фиг. 14.7): 1) сортов валцован материал с прост, сложен и специален профил - релси, греди с ъглов, Т-образен, П-образен, Г-образен и други профили, прътове, тел и т.н.; 2) валцовани ламарини, които са

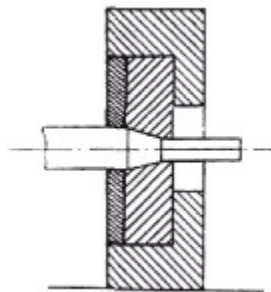
тънки, когато дебелината им е под 4 mm, и дебели с дебелина по-голяма от 4 mm; 3) безшевни стоманени тръби с различен диаметър (в границите до 650 mm).



Фиг. 14.7. Профили на продуктите на валцовото производство

### Изтегляне

Изтеглянето (фиг. 14.8) е процес на пластична деформация, при който обработваният материал се изтегля през отвор с постепенно намаляващо сечение. Това устройство се нарича дюза и обикновено се изработва от твърдосплавни материали или от технически диамант. В резултат на изтеглянето напречното сечение на изходния метал намалява, а дължината му се увеличава. Обикновено този метод се използва за получаване на профили с малко сечение, които не могат да се получат чрез валцоване или друг подобен метод. Изделия, получавани чрез изтегляне, са тел и тръби с много малък диаметър.



Фиг. 14.8. Схема на изтегляне

Същността на процеса (фиг. 14.8) се състои в изтегляне през дюза на материал с диаметър, по-малък от диаметъра на дюзата чрез прилагане на външна теглителна сила  $P$ . Полученото изделие е с гладка и уякчена повърхност. Намаляването на сечението се характеризира с отношението  $\frac{f}{F} = \frac{d^2}{D^2}$ , където  $F$ ,  $f$ ,  $D$  и  $d$  са съответно лицето и диаметърът преди и след изтеглянето. При нисковъглеродни стомани това съотношение за един преход през дюзата е 0,9, а при високо въглеродните стомани - 0,95. За някои профили се използват сглобяеми дюзи със сменяеми вложки. Много често след изтеглянето с цел отстраняване на наклепа (механично уякчаване в резултат

на студена пластична деформация) металът се подлага на рекристализационно отгряване.

Технологичният процес изтегляне има известни предимства пред другите методи на обработване чрез пластична деформация. Дава възможност за получаване на профили с изключително малки размери, например тел с диаметър 0,066 mm. Изделията са с голяма точност на размерите и голяма повърхностна гладкост. Един от основните недостатъци на метода е значителната загуба на енергия в резултат на триенето на метала в стените на дюзата.

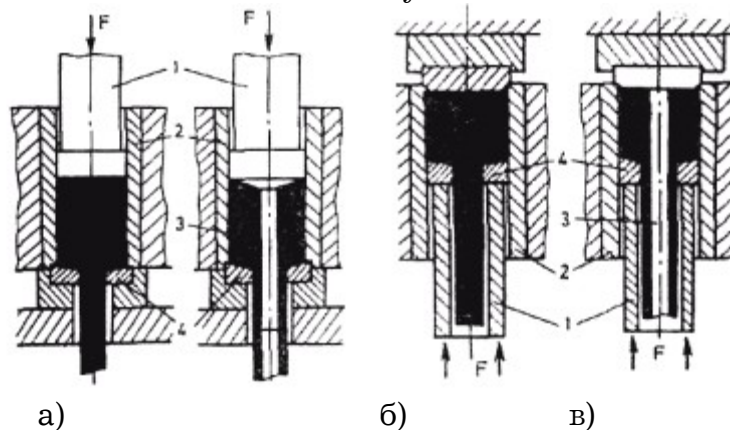
### Пресоване

Пресоването е пластично деформиране на стомана и на цветни метали с цел получаване на прътове с диаметър от няколко милиметра до 400 mm, на тръби с външен диаметър до 500 mm и на тръби с голяма дължина и разнообразни по форма сечения.

Пресоването се състои в притискане и изтичане на нагретия метал през подходящ отвор, вследствие на което той придобива желана форма. Оптимална пластичност, улесняваща “изтичането” на метала през матрицата, се получава при загряване до различни температури: за мед е (800 - 900) °С; за месинг - (700 - 800) °С; алуминий - (350 - 450) °С и стомана - (1100 - 1250) °С.

Пресоването може да се осъществи по два начина: право пресоване и обратно пресоване.

При правото пресоване, наречено метод на Дик, посоката на изтичане на метала 1 е еднаква с посоката на движение на буталото 2 (фиг. 14.9, а). Остатъкът от материал е около 20%, качеството на повърхнините е по-високо, но пък са необходими по-големи усилия за осъществяване на процеса.



Фиг. 14.9. Схеми на пресоване: а) право и б) обратно пресоване

При метода на Бери (обратното пресоване) металът 1 изтича в противоположна спрямо хода на буталото 2 посока (фиг. 14.9,б). В резултат на обработката се получава по-малък прес остатък. Освен това процесът изисква по-малко усилие от правото пресоване.

Когато чрез пресоване се изработват тръби (фиг.14.9,в), в камерата се поставя загрята заготовка с осов отвор, през който може да премине шипът на бутало. След това металът изтича през пространството между шипа и матрицата във вид на тръба.

## **КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ**

- 1.Какво разбираме под термина пластичност на метала?
- 2..По какъв начин се възвръщат свойствата на метала, променени в резултат на пластична деформация?
- 3.Опишете приликите и разликите между коването и обемното щамповане.
- 4.Какво представлява инструментът при щамповането? От какъв материал се изработва? Защо?
- 5.Какви операции се извършват при щанцоване? Какви изделия могат да се получат чрез щанцоване?
- 6.Какво представлява дълбокото изтегляне? Какви изделия се изработват посредством него?
- 7.Какво представлява валцоването?
- 8.Избройте изделията, които могат да се изработят чрез валцоване.
- 9.Колко вида пресоване познавате?
- 10.Защо е необходимо нагряването на метала за обработване чрез пластична деформация? Могат ли да се подлагат на пластична деформация крехки метали?

## Тема 15

### ЗАВАРЯВАНЕ

#### ОБЩИ СВЕДЕНИЯ

Обикновено заваряването се свързва със създаването на неразглобяемо съединение. Основната разлика между заварените съединения и всеки друг вид съединение се състои в това, че двете части на завареното съединение се задържат от атомно-молекулни връзки в метала.

Една от дефинициите на процеса заваряване е: ***Заваряването е локално свързване на метални части чрез стопяване, дифузия и повърхностно сплавяне, извършвани при високи температури и/или налягане със или без прибавяне на допълнителен метал.*** Възможността за получаване на монолитно съединение се състои в осъществяването на контакт между допиращите се повърхности на разстояние  $2\div 4 \text{ \AA}$ . Строежът и състоянието на реалните повърхности обаче не позволяват осигуряването на такъв контакт и е необходимо да се преодолее потенциалната бариера на повърхностните слоеве. Това се постига чрез активация, която се осъществява чрез топлинно, механично или лъчево въздействие. Така процесът може да се раздели на два стадия:

- 1) създаване на физически контакт, когато повърхностите се доближат на междуатомно разстояние, и
- 2) физико-химично въздействие, завършващо с формиране на неразглобяемо съединение.

Съществуват много класификации на заваряването и една от тях е дадена в табл. 1. В зависимост от агрегатното състояние на метала в мястото на свързване се различават два основни начина на заваряване: заваряване в течно състояние /чрез стопяване/ и заваряване в твърдо състояние. Към методите на монолитно свързване на метали може да се прибави и методът спояването. При този метод металите се свързват чрез стопяване на допълнително прибавен метал - наречен припой, който има по-ниска температура на топене от тази на свързваните метали.

Таблица 1

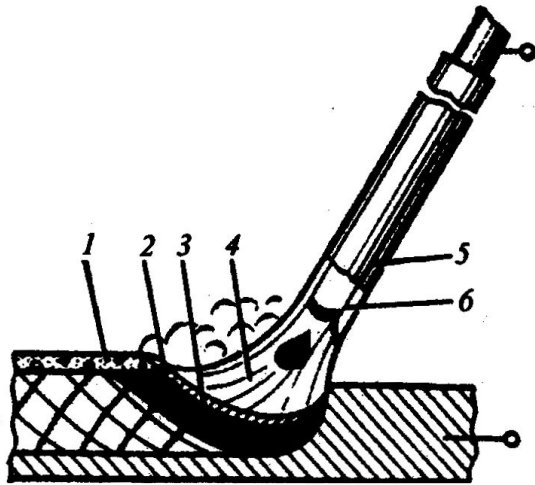


### ЗАВАРЯВАНЕ НА МЕТАЛА ЧРЕЗ СТОПЯВАНЕ

При заваряване в стопено състояние силите на междуатомните връзки възникват между разтопените краища на съединяваните метали, които образуват т.нар. заваръчна вана под мощно топлинно външно въздействие. След отдалечаване на топлинния източник разтопеният метал започва да кристализира и се образува заваръчен шев (фиг. 15.1). В заваръчната вана 3 протичат интензивни процеси на изпаряване, окисляване, дифузия и легиране, в резултат на което структурата в заваръчната вана и в зоната на термично влияние съществено се различава от структурата на основния метал. Това довежда съответно до промяна на механичните свойства в шева, а така също и



до промяна на антикорозионните свойства в него. Ето защо основна цел при заваряването е да не се допуска голяма разлика в структурата на основния метал и тази в шева.

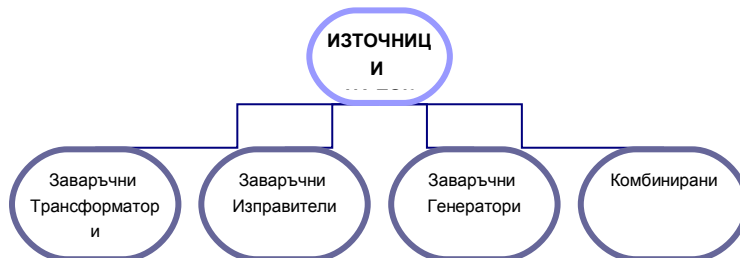


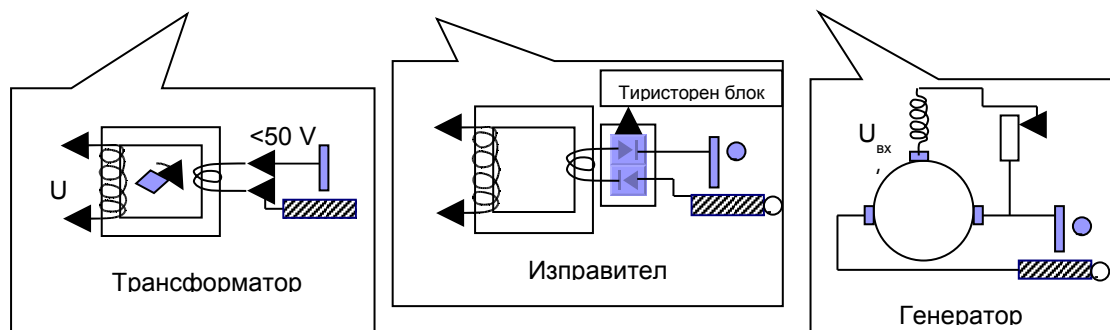
- Втвърдена шлака
- Слой разтопена шлака
- Заваръчна вана
- Дъга
- Покритие на електрода
- Метална ос

Фиг. 15.1. Схема на процеса РЕДЗ

## ЕЛЕКТРОДЪГОВО ЗАВАРЯВАНЕ

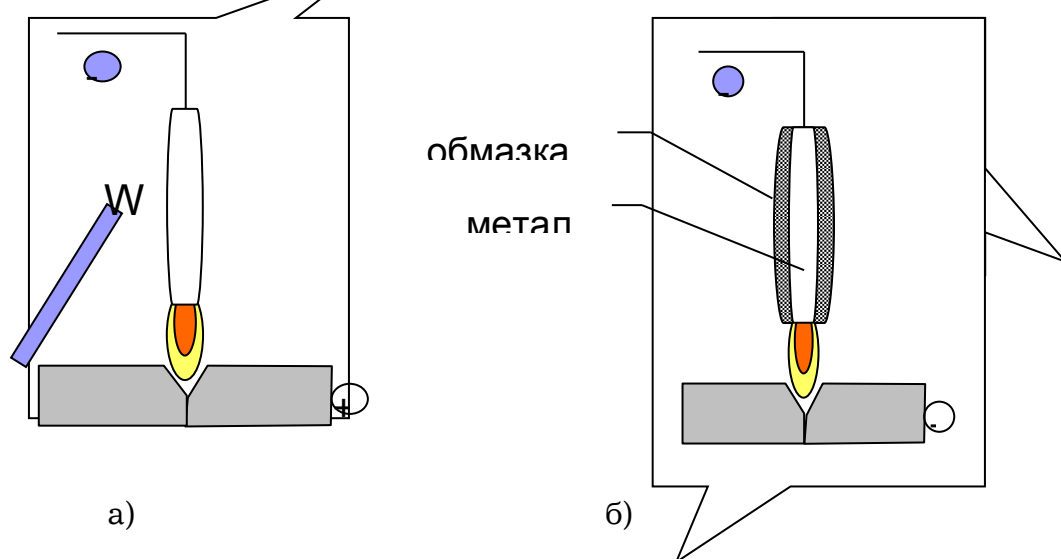
Електродъговото заваряване е метод, при който стопяването на краищата на метала се осъществява посредством електрическа дъга 4 (фиг. 1). Дъгата се запалва и гори между електрод 5 и заваряваното изделие. Максималната температура на дъгата е 5000 - 6000 °С, а топлинната и мощност зависи от големината и напрежението на заваръчния ток. За захранване на дъгата се използват източници на променлив ток (трансформатори) или на постоянен ток (генератори), които трябва да осигуряват стабилност на волт-амперната характеристика на електрическа дъга и да позволява лесното и' регулиране (фиг. 15.2).





Фиг. 15.2. Източници на ток

При този вид заваряване могат да се използват нетопими електроди (фиг. 15.3,а) или топими (15.3,б). Когато се работи с нетопим електрод отделно се добавя топима метална пръчка. Металът при топимите електроди е съобразен с вида на заварявания метал, като за въглеродни стомани е от нисковъглеродна стомана, най-често 08кп, а за легирани - със съответното съдържание. Нетопимите електроди са волфрамови.

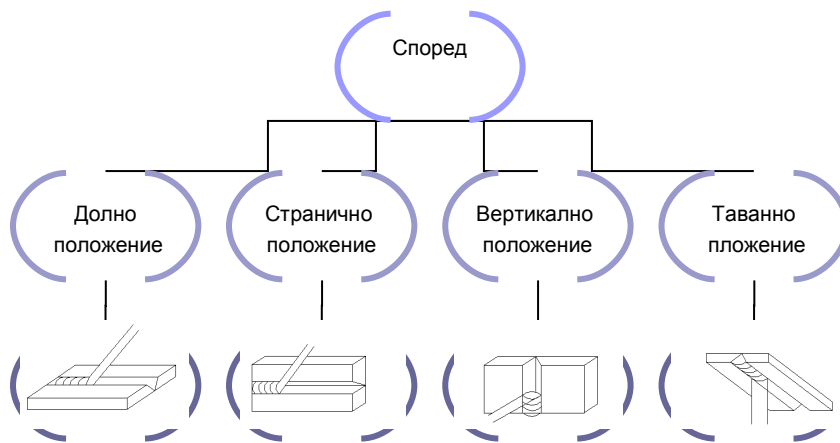


Фиг. 15. 3. Видове електроди

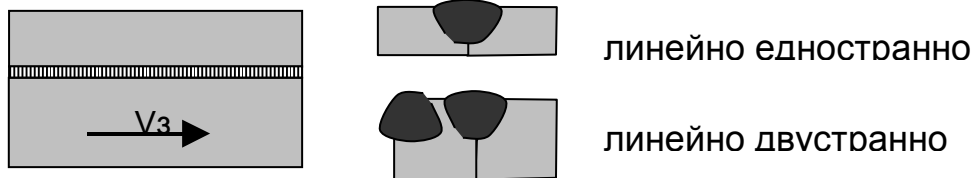
При образуване на завареното съединение се извършват различни физико-химични процеси в метала. Металургичните процеси, които протичат в зоната на заваряване (края на електрода, дъговия промеждутък и заваръчната вана), притежават редица специфични особености: много висока температура, малък обем, голяма скорост на протичане на процесите, наличие на частично стопен метал и др. За да се предотврати протичането на нежелани металургични процеси, стопеният метал трябва да се предпази от взаимодействие с околната атмосфера (от кислород, азот и водород). Това се постига чрез създаване на шлакова, газова ил газо-шлакова защита. В

зависимост от реализирането на тази защита се различават три вида електродъгово заваряване: ръчно, подфлюсово и заваряване в защитна газова среда.

**Ръчно електродъговото заваряване** се осъществява с помощта на електроди, които представляват метална пръчка, покрита с обmazка. Ролята на обmazката е да стабилизира горенето на дъгата, да дезоксидира шева, да легира или добавя различни свързващи елементи в него, да спомога шлакообразуването. Според предназначението си електродите се делят на електроди за въглеродни стомани, за нисколегирани (до 5% легиращи вещества) и легирани стомани, за чугуни за цветни метали и др. Чрез ръчно електродъгово заваряване могат да се осъществяват шевове в различно пространствено положение (фиг. 15.4) - челни, ъглови, с припокриване, таванни, странични. От якостни и технико-икономически съображения за предпочитане са челните съединения. В зависимост от броя на слоевете, необходими за запълване и получаване на пресметнатото сечение на шева, се различават едностранни (фиг. 15.5) и двустранни. Заваряваните части се подлагат на предварителна подготовка. Тя се състои в почистване на метала около мястото на заваряване, в скосяване на краищата под определен ъгъл (U-образен - е/ или V-образен - ж/), оставяне в някои случаи на нескосена част и осигуряване на междина между заваряваните елементи.



Фиг. 15.4. Видове шевове според положението им



Фиг. 15.5.

При заваряване винаги се определя режимът на заваряване:

### Скорост на заваряване

1. Обем на наварения метал:

$$V_{\text{нм}} = k \cdot b \cdot h \cdot L$$

2. Маса:

$$G_{\text{нм}} = V_{\text{нм}} \cdot c,$$

където  $c$  – специфична маса ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

3. Обем на стопения метал:

$$G_{\text{стоп}} = b_{\text{нав}} I \phi,$$

където  $I$  – големина на тока (A),  $\phi$  – време на горене на дъгата (h),

$b_{\text{нав}}$  – коефициент на наваряване ( $\text{g}/\text{Ah}$ ).

$$G_{\text{стоп}} = G_{\text{нм}}$$

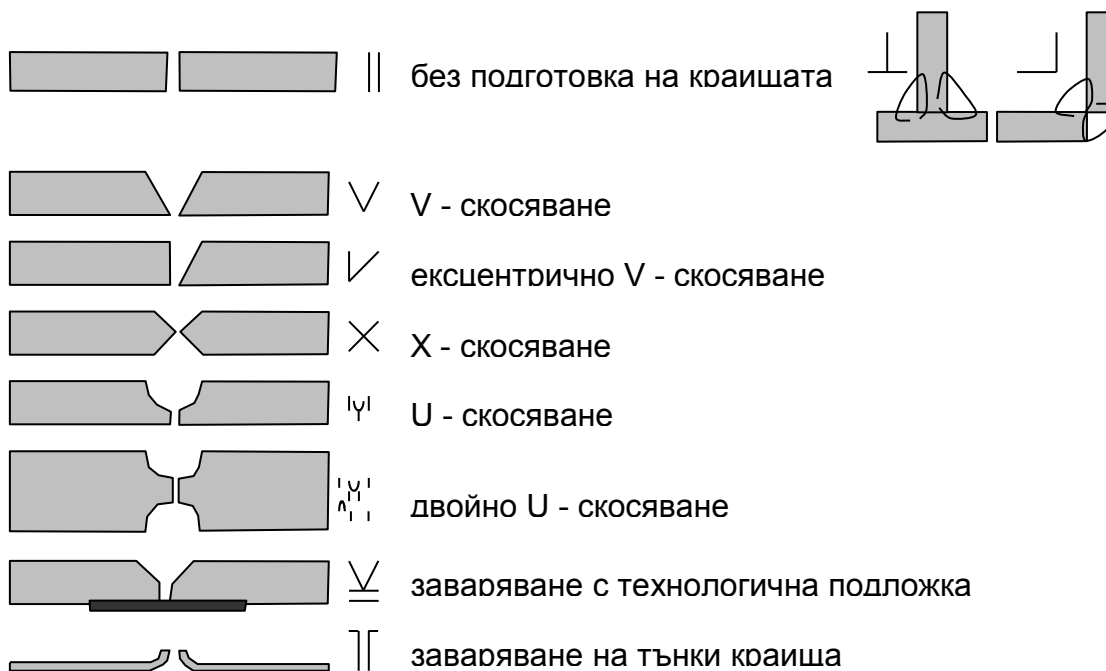
$$b_{\text{нав}} I \phi = k \cdot b \cdot h \cdot L \cdot c \quad \Rightarrow \quad \phi = \frac{k \cdot b \cdot h \cdot L \cdot c}{b_{\text{нав}} I}$$

4. Скорост на заваряване:

$$V_3 = L / \phi \quad (\text{cm}/\text{s})$$

$$V_3 = \frac{b_{\text{нав}} I}{k \cdot b \cdot h \cdot c} \quad \Rightarrow \quad V_3 = \frac{b_{\text{нав}} I}{F_{\text{ш}} \cdot c},$$

където  $F_{\text{ш}}$  – напречно сечение на метала на шева ( $\text{mm}^2$ )



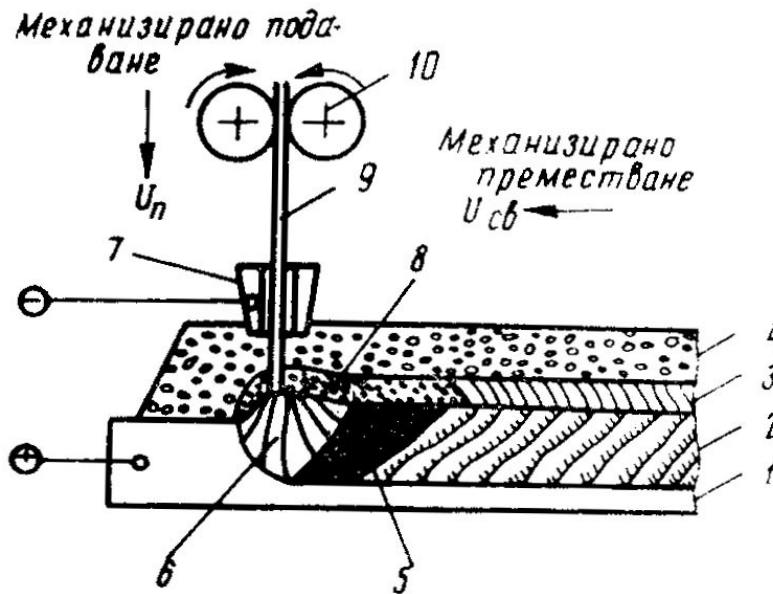
Фиг. 15.6. Подготовка на краищата на шева

Технологията на РЕДЗ включва:

- Избор на **източник на ток**;
- Определяне **режим на работа**;
- 1. Избор на **електрод** (материал и диаметър);
- 2. Определяне **сила на работния ток –  $I$  и скорост на заваряване –  $V_z$**  ;
- Определяне **последователността на операциите**;
- Контрол.

Основен недостатък на ръчното електродъгово заваряване е ниската производителност и необходимостта от висока квалификация на обслужващия персонал.

**Подфлюсово заваряване** е метод, при който дъгата гори под защитен слой от флюс (фиг. 15.7). По-сигурната защита и по-добрите условия на кристализация в сравнение с ръчното заваряване позволяват да се получи шев с по-добри качества. Тук вместо електрод се използва непокрит електроден тел 9, който се подава автоматично. Дъгата 6 гори между електрода и изделието. Стълбът на дъгата и заваръчната вана 5 са закрити от всички страни от флюс 4, който е с дебелина 30-50 mm. Върху повърхността на стопения метал част от флюса се разтопява и образува течна шлакова вана. Освен това от отделените при стопяване и изпаряване газове на флюса около дъгата се образува и защитен газов мехур. С напредване на електрода по дължината на шева металната и шлаковата вана се втвърдяват, при което се оформя шевът 2, покрит с твърда шлакова кора 3. Основни предимства на подфлюсовото заваряване са по-високото качество на съединението и по-малката себестойност на шева. Освен това производителността на метода е 10 до 15 пъти по-висока от тази при ръчното електродъгово заваряване.



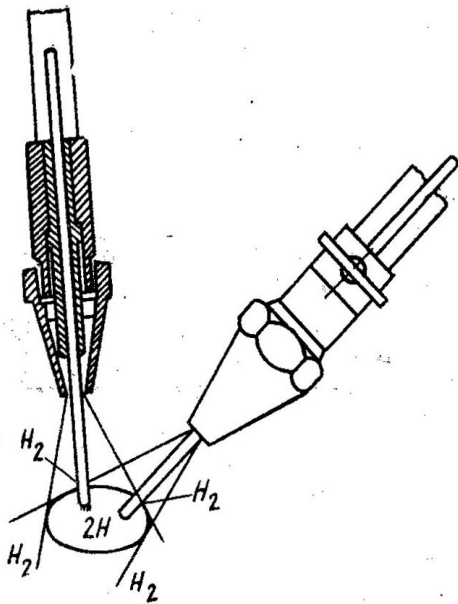
Фиг. 15.7. Заваряване под слой от флюс: 1. Изделие , 2. Заваръчен шев, 3. Шлакова кора, 4. Флюс, 5. Заваръчна вана, 6. Дъга, 7. Токопровеждаща челюст, 8. Течна шлакова вана, 9. Електродна тел, 10. Подавателен механизъм

## ЕЛЕКТРОДЪГОВО ЗАВАРЯВАНЕ В ЗАЩИТНА ГАЗОВА СРЕДА

За да се предпази металът от взаимодействието с околната среда, се използва газова защита. Газовата струя изтласква въздуха от областта на заваряване и създава определена газова защита на дъгата и течния метал от окислителното действие на кислорода от въздуха. При този метод в зоната на дъгата се подава инертен или активен газ - аргон, хелий или въглероден диоксид. Предимства на метода са по-висока скорост на заваряване, по-малки деформации, отпадане на необходимостта от почистване на шлаковите отпадъци, възможност за пряко наблюдение на мястото на заваряване, тъй като дъгата е открита.

Заваряването в защитна водородна среда носи името **атомно-водородно заваряване** (фиг. 15.8). Дъгата е косвена и гори между два волфрамови или въгленови електрода и се захранва с променлив ток. През две концентрично разположени около електродите дюзи 1 се вдухва водород. Освен защита от околния въздух водородът повишава температурата и осъществява редуция на металните окиси. Това става по следния начин. Водородът, попаднал в стълба на дъгата, дисоциира по уравнението  $H_2 \Leftrightarrow 2H$ , при което се поглъщат значителни количества топлина. При по-нататъшното си движение водородните атоми достигат до по-студената повърхнина на изделието, където

се свързват отново в молекули, при което освобождават погълнатата при дисоциирането топлина. В резултат на това металът се нагръва и се стопява по-лесно.



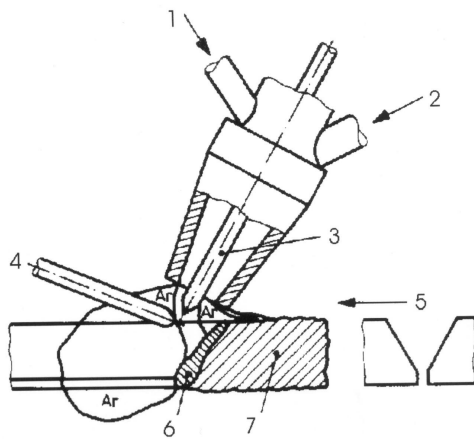
Атомно-водородно заваряване

Атомноводородното заваряване намира ограничено приложение поради нуждата от специален източник на ток и поради това, че напрежението е опасно за работещите с него. Използва се за заваряване на някои специални сплави, алуминиеви сплави и др., където е необходима висока плътност и якост на шева. Използва се и за наваряване на износени части.

**Аргоно-дъговото** заваряване се използва при директна дъга, която гори между един волфрамов електрод 4 и заваряваното изделие 7 (възможно е и заваряване с топим електрод) (фиг. 15.9). Заваряването се извършва с постоянен или променлив ток. Аргонът 1 се вдухва от дюза 3, през която се подава и електродът. Когато електродът е нетопим, в мястото на заваряване се подава допълнителен метал. Този метод на заваряване, наречен ВИГ, се прилага за заваряване на неръждаеми стомани, алуминиеви, манганови, титанови и други сплави или за стоманени изделия с малка дебелина.

Електродъговото заваряване в защитна инертна среда с топим метален електрод е известно като МИГ-заваряване. Изпълнява се полумеханизирано или механизирано. В повечето случаи се използва тънък електроден тел ( $\varnothing 0,5$  до 2 mm), чийто химичен състав е близък до този на основния метал. За захранване на дъгата се използват постояннотоккови източници. Този метод

намира приложение за заваряване на отговорни изделия от неръждаема стомана, а така също и на алуминий, магнезий и сплавите им.



Фиг. 15.9. Аргоно-дъгово заваряване

Заваряването в **защитна газова среда от  $\text{CO}_2$**  се осъществява с електроден тел и дюза, разположена концентрично около него. То е аналогично на заваряването в инертна защитна среда с топим електрод. В случая обаче се използва активен газ, поради което се нарича МАГ-заваряване. Тъй като при висока температура газът дисоциира и отделя активен кислород, в мястото на заваряване се поставят дезоксидатори като силиций и манган. МАГ-заваряването се характеризира с висока производителност и ниска себестойност на готовата продукция. За сметка на това полученият шев е с голяма грапавост и заваряването е съпроводено с пръскообразуване. Този метод е особено ефективен за заваряване на нисковъглеродни стомани.



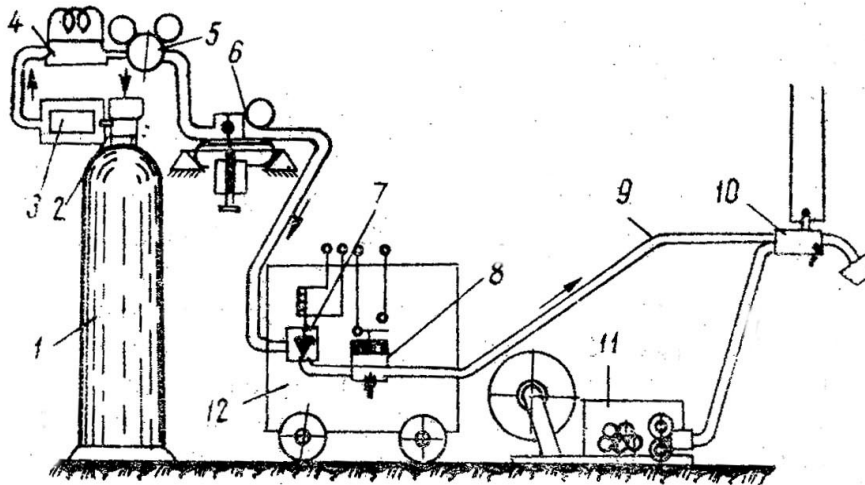


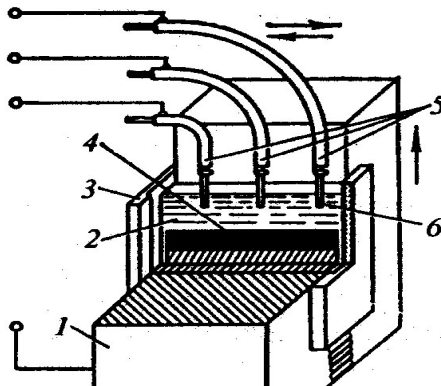
Схема на апаратура за полумеханизирано заваряване в защитна среда от  $\text{CO}_2$ :

1 — бутилка с  $\text{CO}_2$ , 2 — вентил, 3 — сушител за газа, 4 — подгревател за газа, 5 — редуктор, 6 — разходомер за газа, 7 — електромагнитен клапан, 8 — реле за налягане, 9 — маркуч за подаване на газа, 10 — горелка, 11 — подавателен механизъм, 12 — шкаф за управление

Фиг. 15.10.  $\text{CO}_2$  заваряване

### Електрошлаково заваряване

Електрошлаковото заваряване е начин за заваряване на детайли с големи дебелини без скосяване на краищата.



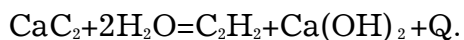
Фиг. 15.11. Електрошлаково заваряване: 1 — детайл, който се заварява, 2 — шлакова вана, 3 — охлаждащи накладки от мед, 4 — заваръчна вана, 5 — накрайници, осигуряващи ток, 6 — електроди.

Същността на метода (фиг. 15.11) се състои в това, че между краищата на заваряваните части и шлакозадържащи медни плъзгачи 3 се образува вана

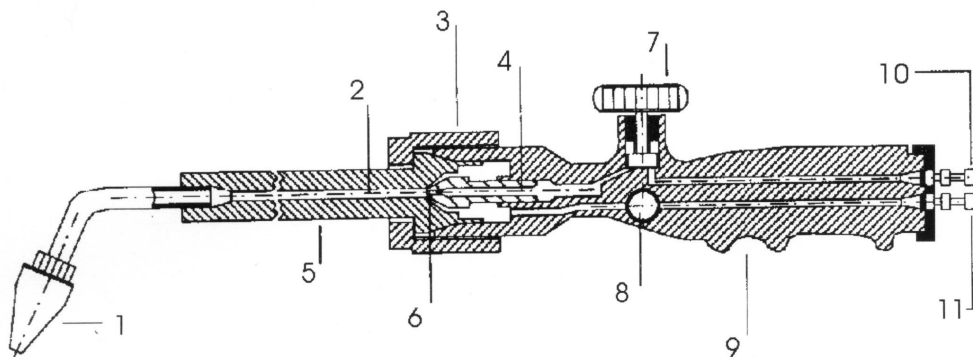
от стопена шлака 2, в която непрекъснато се подава електроден тел. При преминаването на електричен ток през стопената шлака се отделя топлина по закона на Джаул, която поддържа високата температура. Вследствие на тази топлина се стопяват електродният тел и основният метал, образувайки обща метална вана. Електродът заедно с плъзгачите се повдига нагоре непрекъснато, при което стопеният метал 4 се втвърдява, образувайки шева. При този метод дъга се образува само в началото, докато се стопи една част от шлаката, след което се прекъсва. В сравнение с електрическата дъга шлаковата вана е по-малко концентриран източник на топлина. Стопяването на основния метал се извършва по целия периметър на шлаковата вана, което позволява за един преход да се заваряват много големи дебелини. Поради същата причина обаче металът е със значително по-едрозърнеста структура, което обуславя и сравнително по-ниските му механични свойства. Електрошлаковото заваряване се прилага за изработване на монолитни съединения от въглеродни конструкционни, легирани и високолегирани стомани, чугун и титан.

## **ГАЗО ПЛАМЪЧНО /ГАЗО-КИСЛОРОДНО/ ЗАВАРЯВАНЕ**

Необходимата за стопяването на заваряваните краища топлина се получава от изгаряне на смес от газове в кислородна среда. В зоната на топене се подава добавъчен метал. Като горивни газове се използват ацетилен  $C_2H_2$ , водород  $H_2$ , пропан-бутанова смес, генераторен газ и технически чист кислород. Най-широко разпространение е получило ацетилено-кислородното заваряване, при което температурата на пламъка и респективно в мястото на съединяване достига  $3100\text{ }^\circ\text{C}$ . Ацетиленът е лек, безцветен газ, който се получава в ацетиленови генератори при взаимодействието на калциев карбид и вода по реакцията



Заваръчният пламък се създава в газова горелка (фиг. 15.12), в която се подава едновременно кислород и ацетилен и качеството му зависи от съотношението им.

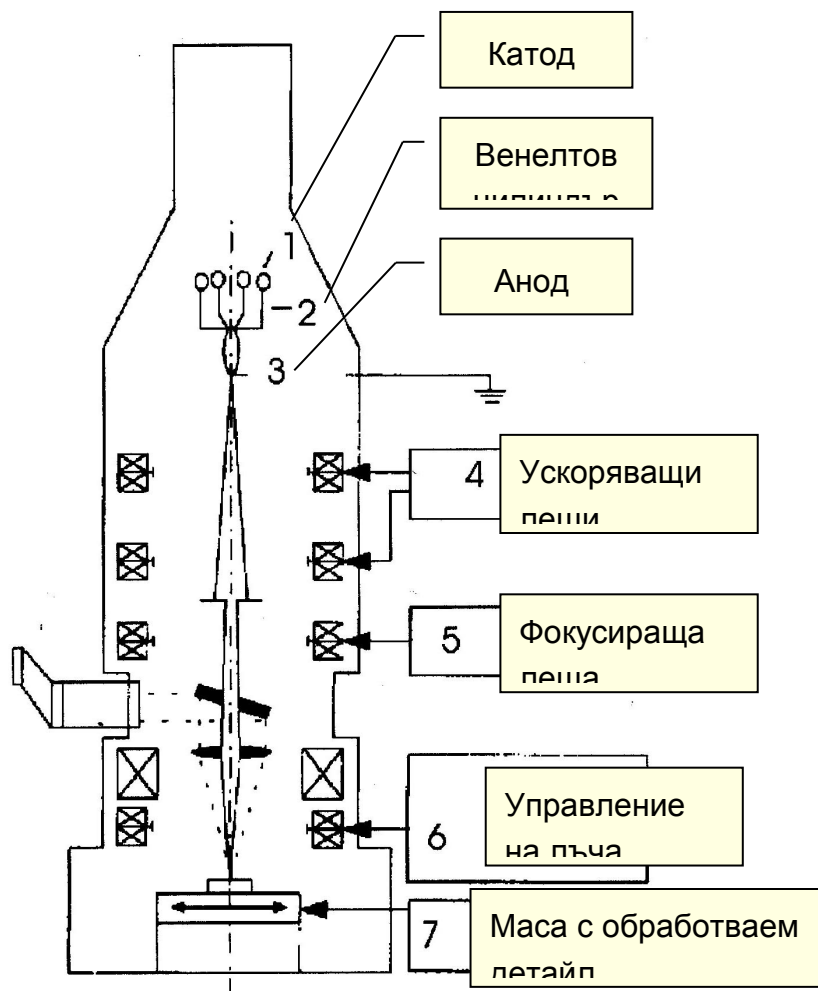


Фиг. 15.12. Газо-пламъчна горелка

Основно предимство на метода е възможността от точно регулиране на топлинния режим, което го прави подходящ за заваряване на тънки части, както и на сплави, съдържащи леснотопими метали. Недостатък са ниската топлинна мощност на пламъка и трудното автоматизиране на процеса.

### **ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВО ЗАВАРЯВАНЕ**

При този метод нагряването на заваръчния шев става за сметка на кинетичната енергия на поток от електрони, движещи се във вакуум, чиято енергия в мястото на удара се превръща в топлина и температурата на загаряване достига 6000 °С.



Фиг. 15.12. електронно-лъчево заваряване

Принципно устройство на апаратура за електроннолъчево заваряване (електронна пушка) е посочено на фиг. 15.12. Пушката има катод 2, който е разположен във фокусираща глава. Формата на главата осигурява получаването на електрично поле, което фокусира електронен сноп с диаметър, равен на отвора на анод 1. Захранването на главата става от генератор 4. За преместването на електронния лъч по изделието 7 служи магнитна отклоняваща система 6. За да се осигури свободно движение на електроните, за топлинна и химична изолация на катода, а така също и за да се предотврати възникването на дъгов разряд, в пушката се създава дълбок вакуум

Предимство на метода е високата концентрация на енергия в малка по ширина зона, което осигурява висока температура на нагряване на заваряваното съединение. Освен това се осъществява дълбоко стопяване на метала. Недостатък на метода е много скъпото оборудване. Намира

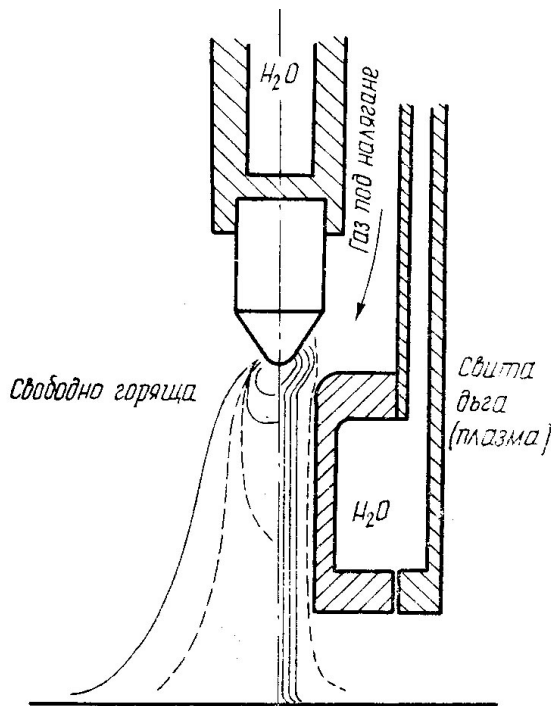
приложение за заваряване на труднотопими и химически активни метали като Nb, Mo, W, Ti, Zr и др.

### **ЛАЗЕРНО ЗАВАРЯВАНЕ**

Топлината при този метод се получава от мощни квантови генератори, при което се получава голяма плътност на енергията. Чрез пречупване на светлинния лъч с оптични системи може да се заваряват труднодостъпни места, при това във всякаква среда. Методът намира широко приложение за заваряване на малобабитни детайли в уредостроенето.

### **ЗАВАРЯВАНЕ С ПЛАЗМА**

Плазмата е извънредно мощен топлинен източник с висока температура – до 20000°C, получавана в специални съоръжения. За разлика от обикновената електрична дъга дъгата в плазмените устройства гори в затворен цилиндричен канал с малък диаметър, стените на който интензивно се охлаждат. Принудителното охлаждане предизвиква концентриране на енергията в плазмения стълб и “свиване” на дъгата, което и’ осигурява получаването на концентрирано нагряване на изделието. Използва се за заваряване на високолегирани стомани и на тънки ламарини и фолия поради възможността за точно регулиране и дозиране на подаваната енергия. Основно приложение на плазмата е за рязане на легирани стомани и цветни метали и за наваряване на труднотопими метали (фиг. 15.13).



Фиг. 15.13. Схема на свободно горяща (ляво) и принудително свита (дясно) плазмена дъга.

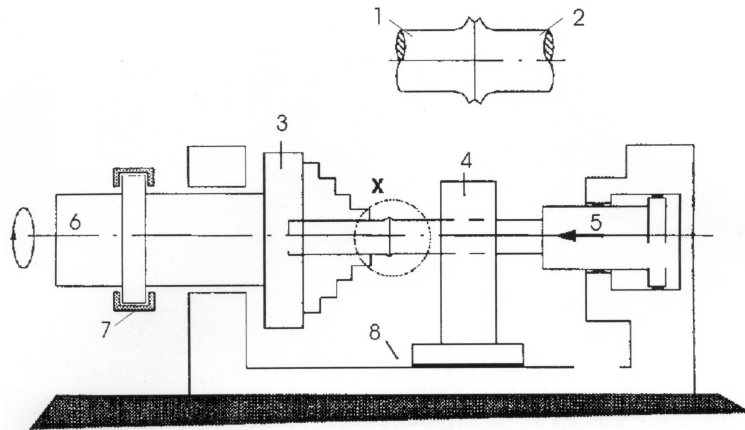
### ЗАВАРЯВАНЕ БЕЗ СТОПЯВАНЕ

Получаването на монолитно съединение в твърдо състояние е възможно само при идеално гладки контактни повърхнини без окиси и замърсявания по тях. При метали и сплави с висока пластичност в студено състояние (Pb, Sn, Zn, Al, Cu) заваряването може да се осъществи при прилагане на натиск върху двете контактни повърхнини. Съпротивлението на метали с ниска пластичност се преодолява с предварително нагряване в мястото на свързването. Така или иначе при заваряване в твърдо състояние е необходимо едновременното прилагане на натиск и нагряване. В зависимост от характера на топлинния източник на подаваната енергия различаваме следните методи на заваряване: електросъпротивително, кондензаторно, газопресово, заваряване чрез триене, студенопресово, дифузионно и ултразвуково.

### ЗАВАРЯВАНЕ ЧРЕЗ ТРИЕНЕ

Заваряването се осъществява чрез триене между двете заварявани части. Детайл 2 се върти с определени обороти, а детайл 1 е неподвижен (фиг. 15.14). За съвсем кратко време челните повърхнини се притискат със сила  $P$ , при което се нагряват до тестообразно състояние. За приблизително 25 секунди детайлите се задържат под натиск без въртене, като заваряването се извършва

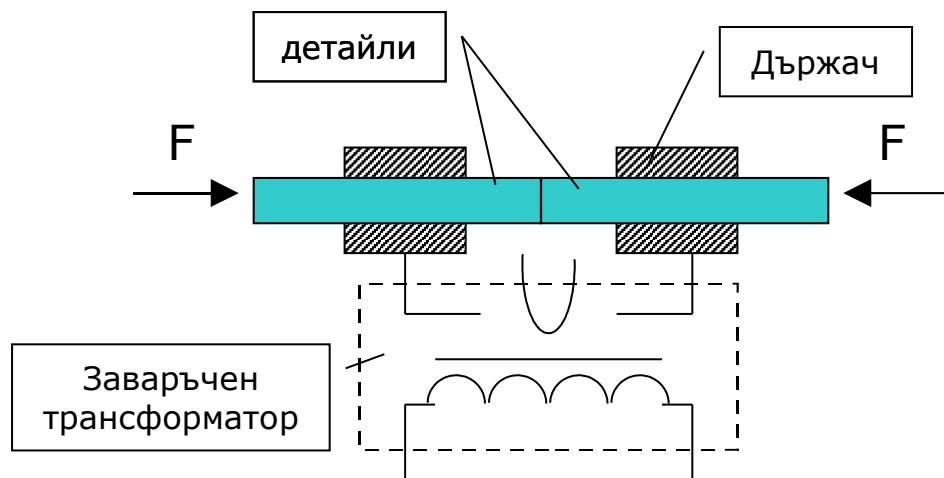
без стопяване на метала. Недостатък на метода са необходимостта от съединяване на части с абсолютно еднакви форма и размери, и второ - повърхнините на заваряване трябва да са идеално чисти и гладки. Заваряват се части от еднакви метали, но е възможно и заваряването на подобни метали като например алуминий и магнезий. Особено често се прилага за заваряване опашките на режещи инструменти - фрези, свредла, метчици.



Фиг. 15.147 1, 2-заваряеми детайли, 3- ротационен патронник, 4-лщнет, 5-невъртящ се държач, 6-шпиндел, 7-лагерен възел, 8-основа.

## **ЕЛЕКТРОСЪПРОТИВИТЕЛНО ЗАВАРЯВАНЕ**

Загряването на локални обеми в мястото на съединяване се осъществява от топлина, получавана при преминаване на електричен ток. Отделеното количество топлина се определя по закона на Джаул:  $Q=I^2 \cdot R \cdot \tau$  ( $Q$  е количеството топлина,  $I$  - заваръчният ток,  $R$  -съпротивлението на заваръчната верига между токоподаващите части,  $\tau$  - времето, през което протича токът). Заваряването се осъществява на специални машини, състоящи се от източник на ток, прекъсвач и механизми за захващане и притискане на детайлите. За източник на ток се използва вторичната намотка на специални понижаващи трансформатори.



Фиг. 15.15. Челно електросъпротивително заваряване

В зависимост от начина на осъществяване на контакта се различават следните видове електросъпротивително заваряване: челно (фиг. 15.15), точково (фиг.15.16) и ролково (фиг.15.17).

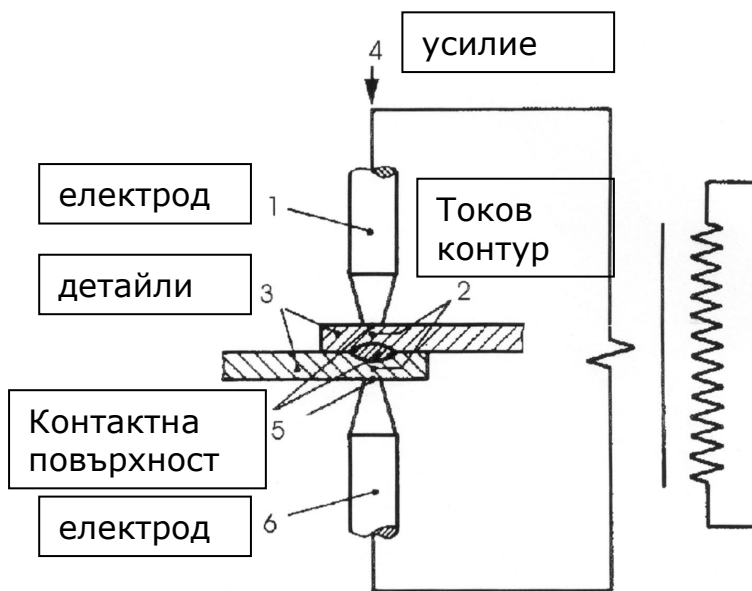
При челното заваряване двете идеално гладки страни на заваряваните части и се притискат една към друга и едновременно с това се подава електричен ток. С помощта на гъвкави проводници трансформаторът е съединен към носещите плочи, а чрез специално включващо устройство -- към захранващата мрежа. Преместването на плочите и натискът  $P$ , необходими за притискане на заваряваните детайли, се осъществяват от подавателно-сбиващ механизъм. Методът се прилага за заваряване на прости сечения -- кръг, квадрат и др.

Точковото заваряване се използва за заваряване на листови или прътови елементи и при монтаж на електрични схеми. Заваряваните ламарини 2 се поставят една върху друга и се притискат посредством тежестта 3 между два медни електрода 1 и 5, които са съединени с вторичната верига на трансформатора. Пропуска се електричен ток, като се предизвиква съпротивление в мястото на контакта, където температурата се повишава. Получава се локално стопяване на метала. В резултат двете части се съединяват в малка повърхност - точка. Съединението е с висока якост, но не и плътност.

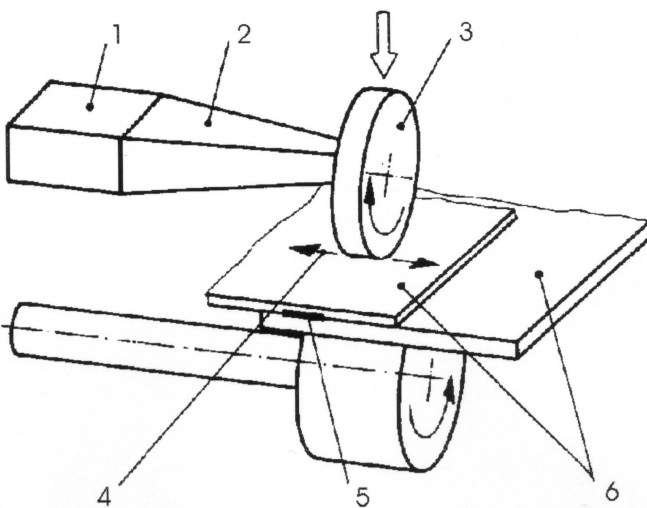
При ролковото заваряване вместо електрод се използват два движещи се ролкови електрода, които образуват шев, състоящ се от поредица точкови съединения, които се застъпват и припокриват. Частите 2 се притискат между две ролки 1, които се задвижват от електродвигател. Едновременно с това ролките са свързани с вторичната верига на трансформатор 3 и служат за подаване на електричния ток. Получаваният шев е непрекъснат и това



осигурява по-голямата плътност на съединението. Ролково се заваряват листове с дебелина до 5 mm.



Фиг. 15.16. Точково електросъпротивително заваряване



Фиг. 15.17: 1,2-рамо на притискащата ролка, 3-притискаща ролка, 4-посоки на напречно движение, 5-контактен шев, 6-

### КОНДЕНЗАТОРНО ЗАВАРЯВАНЕ

На практика кондензаторното заваряване е разновидност на електросъпротивителното. Енергията, необходима за заваряване, се натрупва

в кондензатори. При голяма мощност на разряда се осъществява локално загряване на материали с различни топлофизични свойства. Предимство на този вид заваряване е, че е възможна предварителна дозировка, което позволява съединяването на елементи с дебелина до няколко микрона. Намира приложение главно при заваряване на уреди и апарати в електропромишлеността.

### **ГАЗОПРЕСОВО ЗАВАРЯВАНЕ**

При този метод заваряемите краища се нагряват от газо-кислороден пламък до пластично състояние и се притискат посредством сбиващи механизми. Не много ефективен метод, с ограничено приложение.

### **ДИФУЗИОННО ЗАВАРЯВАНЕ**

При дифузионното заваряване заготовките след внимателно почистване на краищата им се притискат, поместват във вакуум-камера, където се нагряват до рекристализационна температура. Вакуумната среда осигурява отделянето на окисните слоеве и протичането на дифузионните процеси. Обикновено процесът продължава 10 - 30 min. Използва се в електрониката и радиотехниката.

### **СТУДЕНОПРЕСОВО ЗАВАРЯВАНЕ**

Това е метод на заваряване без предварително подгриване. За осъществяването му е необходимо грижливо почистване на съединяваните краища, отделяне на окисната корица и всички замърсявания. Детайлите се поставят между два поансона, които се притискат и вбиват в мястото на заваряване. В резултат се осъществява пластична деформация и се получава студено заваряване. Силата на натиск зависи от свойствата на материала, дебелината на заготовките и начина на подготовка на повърхнините. Методът намира широко приложение в електропромишлеността, в полупроводниковото приборостроене и др.

### **ГАЗОКИСЛОРОДНО И ЕЛЕКТРОДЪГОВО РЯЗАНЕ**

В много случаи термичното рязане на металите е много по-изгодно от другите методи на рязане. То се извършва или с газо-кислороден пламък, или с електрическа дъга. Газокислородното рязане се основава на способността на металите да изгарят в струя газ, след като предварително са нагreti до температурата на горене.

Газокислородното рязане се прилага за материали, които притежават способността да изгарят в кислородна струя в твърдо състояние. Такива

метали са стоманите със съдържание на въглерод до 0,7% и нисколегираните стомани. За работа се използват горелки, следвани от дюза, през която се вдухва кислород. За рязането на дебели материали (например до 1 000 mm) се използват горелки със специална форма на дюзата, която позволява изтичането на кислорода със свръхзвукова скорост при ниско налягане на кислорода.

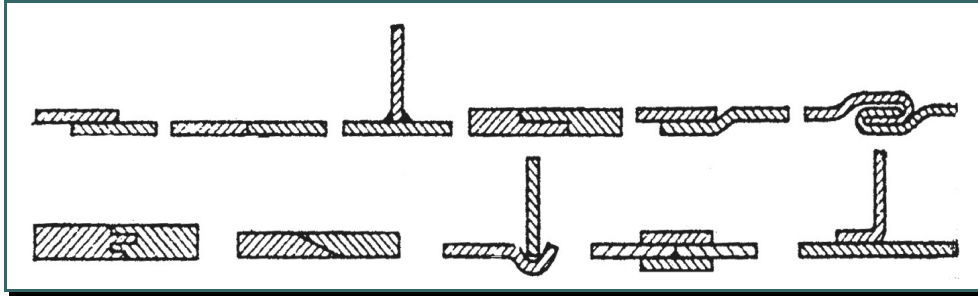
Електродъговото рязане се състои в стопяване на метала в мястото на рязане от топлината на електрична дъга. Качеството на разрязваната повърхнина е лошо. Обикновено се прилага за разрязване на стари метални конструкции, за отрязване на леякови системи и др.

### **ЗАВАРЯЕМОСТ НА МЕТАЛИТЕ**

Под *заваряемост* се разбира способността на металите и сплавите да образуват заваръчни съединения с удовлетворителни качества. Тази способност има комплексен характер. Определя се както от свойствата на материала, така и от условията на заваряване и оценяването и представлява сложен комплекс от проби и изследвания. Заваряемостта до голяма степен зависи от химичния състав на заварявания метал. По-високото съдържание на въглерод и наличието на легиращи елементи снижават заваряемостта. Най-често се заваряват нисковъглеродни и средновъглеродни стомани. За избягване получаването на пукнатини и деформации при заваряване на легирани и средновъглеродни стомани се прибегва до предварително подгриване на заваряваните краища и използване на добавъчен метал с еднакъв или близък химичен състав с основния метал. Когато се заваряват цветни метали, възникват някои особености. Медта и медните сплави имат много голяма тънколивкост и шевове трябва да бъдат само в долно положение. Освен това за избягване на окисляването процесите трябва да се провеждат много бързо и задължително в защитна среда. При заваряване на алуминий и сплавите му се образува твърда окисна корица ( $Al_2O_3$  с температура на топене 2053 °C), която трябва да се стопява. Заваряването се извършва в защитна газова среда (обикновено аргон).

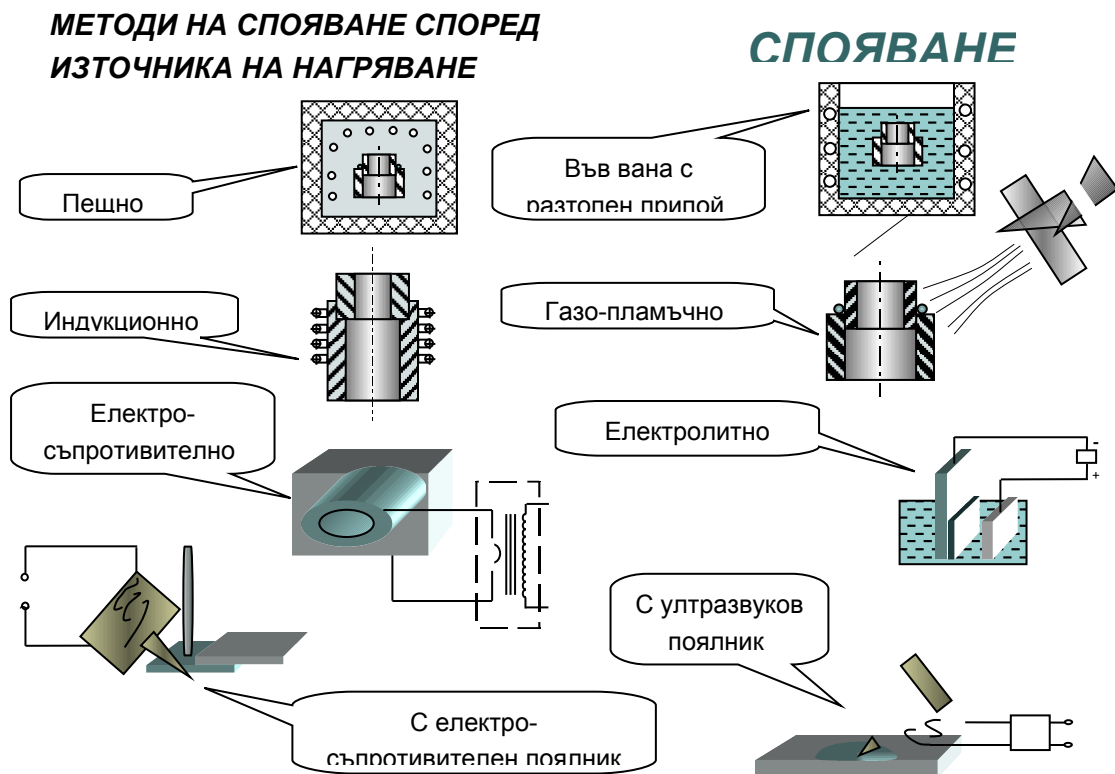
### **СПОЯВАНЕ**

Спояването е технологичен процес, при който неразглобяемото съединение се получава с използване на допълнителен материал, наречен *припой*, който има значително по-ниска температура на топене от тази на свързаните метали. При спояването се използват главно три вида съединения (фиг. 15.18): с припокриване на краищата, челно и чрез скосяване на краищата под ъгъл.



Фиг. 15.18. Видове спояване

Свързваните метали не се топят и следователно не се променя химичният им състав. Полученото съединение има по-ниска якост в сравнение със завареното. При спояване е необходимо предварителна подготовка на мястото на свързване. За почистването на повърхнините се използват флюсови материали, които разтварят окисните слоеве, подобряват умокреямостта и създават защитна среда за протичане на дифузионните процеси. Различните методи на спояване са показани на фиг. 15.19.



Фиг. 15.19. Методи на спояване

За припои се използват сплави с евтектичен състав. Различават се две основни групи припои: твърди с температура на топене над 500 °С и меки - под 350 °С.

### **СПОЯВАНЕ С МЕКИ ПРИПОИ**

Главна съставна част на тези припои е калаят, като се използват и някои безкалаени припои със съдържание на олово, антимоно, сребро. Като флюсови материали се използват колофон, цинков хлорид, солна киселина и др. В последно време се произвеждат припои с едновременно съдържание на флюс. Получените споени съединения са с добър контакт и херметичност, но с ниски якостни свойства. Този вид спояване се използва главно в електротехниката.

### **СПОЯВАНЕ С ТВЪРДИ ПРИПОИ**

Към твърдите припои спадат медните, медно-цинковите, медно-никеловите и сребърните припои. Те се делят на труднотопими с температура на топене между 875 и 1100 °С и леснотопими с температура на топене под 875 °С. За флюси се използват боракс, цинков хлорид, калиев флуорид и др. Намира приложение за спояване на големи повърхнини, ламарини, листове.

За нагриване и стопяване на припоите се използват различни нагревателни съоръжения. Най-разпространено е спояването с поялник, като най-използваните поялници са електрическите и индукционните. Обикновено при твърдите припои нагриването става с газов пламък като се използват специални горелки и лампи, или във вакуумни пещи и кислородоотнемащи среди. В производствени условия спояването се осъществява на специални електросъпротивителни машини или с ултразвук. Във вакуум ( $10^{-4}$  до  $10^{-7}$  Hg стълб) или в среда на ултразвукови колебания се разрушават окисните слоеве.

### **КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ**

1. Колко вида неразглобяеми съединения познавате? По какво се различават заварените от нитованите съединения?
2. Какво представлява методът заваряване?
3. Колко вида заваряване познавате в зависимост от агрегатното състояние на метала в мястото на заваряването?
4. Опишете технологията на ръчно електродъгово заваряване. Какво представлява електродът? Колко вида електроди познавате?
5. Какви апарати се използват за източници на електричен ток? Каква е температурата на дъгата в основната и' част?
6. Какво представлява подфлюсовото заваряване?
7. За заваряване на какви метали се използва заваряването в защитна газова среда?

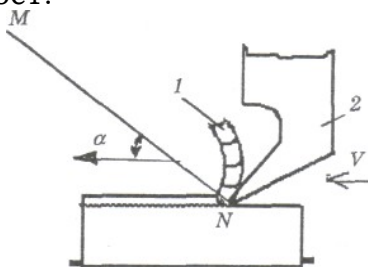
8. Възможно ли е заваряването на стоманени ламарини с голяма дебелина (над 5 mm) чрез газопламъчно заваряване?
9. От какво се определя качеството на заваръчния пламък в газовата горелка?
10. Какви са предимствата и недостатъците на електроннолъчевото заваряване?
11. Къде намира приложение лазерното заваряване?
12. На какъв принцип се основава електросъпротивителното заваряване?
13. Колко вида електросъпротивително заваряване познавате?
14. Какво представлява дифузионното заваряване?
15. Има ли разлика между електросъпротивителното и студенопресовото заваряване?
16. Какво разбирате под заваряемост на стоманите? Кои стомани могат да се заваряват? От какво зависи заваряемостта им?
17. Има ли разлика между процесите заваряване и спояване?
18. Що е припой? Колко вида припои познавате?

## Тема 16

### ОБРАБОТВАНЕ НА МЕТАЛИТЕ ЧРЕЗ РЯЗАНЕ

Обработването на металите чрез рязане (отнемане на стружка) е един от най-разпространените методи за формообразуване на твърди тела. Тези технологии имат предимството, че се получават точни размери и гладкост на обработваните повърхнини.

Физичната същност на технологичните процеси чрез рязане се състои в разрушаване на външния слой от материала вследствие на въздействие на външни сили и породените от тях деформации. Отстраняваният метален слой се отделя във вид на стружки. За тази цел се използват металорежещи машини с режещи инструменти, изготвени от специални сплави и материали с висока твърдост и износоустойчивост.



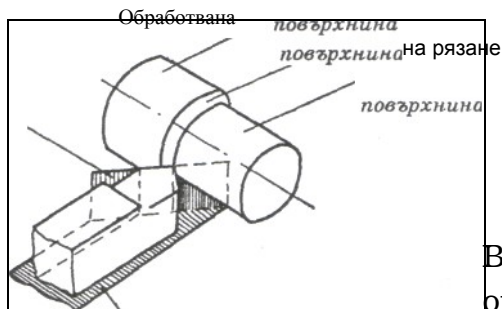
Фиг. 16.1. Рязане

Процесът на стружкоотнемане се състои в следното. Под действие на приложена външна сила работната част на инструмента създава натискови напрежения, които след превишаване якостта на срязване на материала предизвикват разрушаването му. Отделените частици 1 се приплъзват в равнина MN (фиг. 16.1), наречена равнина на отчупване, а ъгълът  $\alpha$  между тази равнина и посоката на движение на инструмента  $v$  се нарича ъгъл на отчупване и за жилаво-пластичните материали е  $25 - 40^\circ$ . При движението на ножа се образуват стружки, които могат да бъдат три вида: 1) непрекъснатата стружка, която има формата на непрекъсната спираловидна лента и обикновено се получава при обработването на меки пластични метали; 2) елементна, която се състои от отделни елементи с грапава и назъбена повърхност, получавана при среднопластични метали; 3) начупена стружка, състояща се от отделни несвързани помежду си елементи с неправилна форма и се получава при обработването на крехки метали и сплави.

### ГЕОМЕТРИЯ НА РЕЖЕЩИЯ ИНСТРУМЕНТ

Работната част на всеки инструмент за рязане на метал представлява клин. Най-прост по конструкция, но в който са застъпени всички елементи на

режещия клин, е *стругарският нож*. Основни елементи на стругарския нож са: глава 1, в която е разположена режещата част на ножа, и тяло 2, служещо за закрепване към машината. При обработване на детайли с режещ инструмент могат да се образуват следните повърхнини (фиг. 16.2): обработвана - повърхнината на детайла, преди да се започнало обработването му; обработена - повърхнината, която се получава след обработването му; повърхнина на рязане - преходната повърхнина между обработваната и обработената, която се образува от режещия ръб на ножа.



Взаимното разположение на детайла и ножа се определя от следните равнини: основна и равнина на рязане. Основната равнина е успоредна на надлъжното и напречното подаване на ножа. Равнината на рязане минава през главния режещ ръб на ножа и е допирателна към повърхнината на рязане. Рационалната форма на режещата част се определя от ъглите, които заключват различните повърхнини на ножа с режещата равнина. Ъгъл гама ( $\gamma$ ), наречен *преден ъгъл*, се намира между предната равнина и равнината, минаваща по главния режещ ръб перпендикулярно на равнината на рязане. От неговата стойност зависи начинът на отвеждане на стружката. Обикновено е в границите 10 до 15 °. Ъгъл алфа ( $\alpha$ ) е *главен заден ъгъл*, оказва влияние на триенето и се избира между 6 и 12°. Той се заключава между главната задна повърхнина и равнината на рязане. Ъгълът на заточване ( $\beta$ ) е заключен между предната и главната задна повърхнина на главата на ножа. Сумата от трите ъгъла  $\gamma + \alpha + \beta = 90^\circ$ . Ъгълът на рязане ( $\delta$ ) е ъгълът между предната повърхнина на ножа и равнината на рязане. Положението на ножа спрямо оста на обработвания детайл се определя от т. нар. *установъчни ъгли*. Ъгъл  $\phi$  се нарича *главен установъчен* и се образува между проекцията на главния режещ ръб върху основната равнина и посоката на надлъжното подаване. Ъгълът  $\phi_1$  е *спомагателен установъчен*. Образува се между проекцията на спомагателния режещ ръб върху основната равнина и посоката на надлъжното подаване. Ъгълът при върха на ножа  $\epsilon$  се образува между проекциите на режещите ръбове върху основната равнина. Сумата от  $\phi$ ,  $\phi_1$  и  $\epsilon$  е равна на 180°. Ъгълът между режещият ръб на ножа и линията, прекарана през върха му успоредно на основната равнина, се нарича *ъгъл на наклона на главния режещ ръб*  $\lambda$ .

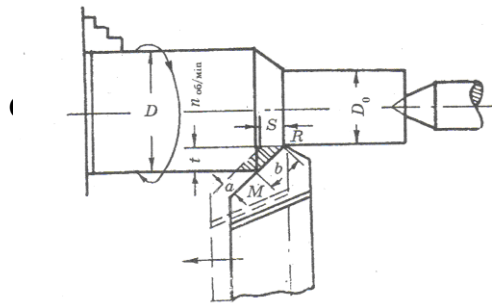


## РЕЖИМ НА РЯЗАНЕ

За да се осъществи процес на рязане, е необходимо относително движение между режещия ръб на инструмента и обработваната част. В резултат от обработваната част се отделя метал във вид на стружка. Това относително движение може да се осъществи при следните условия: 1) подвижен режещ инструмент и неподвижна обработвана повърхнина: шепинг, щосмашина, протяжна машина, пробивна; 2) неподвижен режещ инструмент и подвижна обработвана част (хобел); 3) едновременно движение на режещия инструмент и обработваната част: струг (фиг.15.6,а); фрезова машина; стъргателна машина; шлифовъчна машина.

Движенията в различните металорежещи машини биват работни и спомагателни. От своя страна работното движение се състои от главно и спомагателно движение.

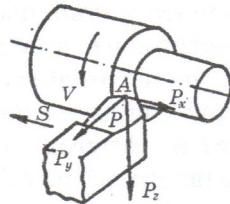
От съществено значение при процесите на рязане е режимът на рязане. Основните елементи на режима на рязане, са дълбочината на рязане, подаването на ножа и скоростта на рязане (фиг.15.7). *Скоростта на рязане* ( $v$  и  $v_a$  - скорост на въртене на детайла,  $v_u$  - скорост на въртене на инструмента) се определя с формулата  $v = \pi \cdot d \cdot n / 1000$ , където  $d$  е диаметърът на обработваната част, а  $n$  - честотата на въртене. *Подаването* ( $s$  и  $s_a$  - надлъжно,  $s_u$  - напречно подаване) в машини с въртеливо главно движение се определя по формулата:  $s = L / n \cdot T$ , където  $L$  е обработваната дължина в [mm],  $n$  -- честотата на въртене в [ $\text{min}^{-1}$ ] и  $T$  - продължителността на обработването. *Дълбочината на рязане* ( $t$ ) е дебелината на снетия слой метал, разглеждана като разстоянието между обработваната и обработената повърхност, измерено перпендикулярно на обработената повърхност.



Фиг. 16.3. Елементи на режима на рязане

В резултат на съпротивлението на срязвания слой метал и вследствие на деформацията и триенето на стружката в предната и задната повърхност на ножа върху него действа сила  $P$  (фиг. 16.4). Тази сила се нарича сила на

рязане и е насочена противоположно на движението на ножа. Големината и зависи от вида на обработвания метал, сечението на стружката, геометрията на инструмента и др. На практика се отчита не самата сила, а нейните компоненти по осите  $x$ ,  $y$ ,  $z$  съответно  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$ . Силата  $P_z$  действа по направление на главното движение и характеризира динамичното натоварване на ножа и на вретеното в металорежещата машина.



Фиг. 16. 4. Сили на рязане

$P_y$  действа в хоризонталната равнина перпендикулярно на обработваната повърхност. Тя се стреми да отблъсне ножа от изделието и да огъне обработваната част в хоризонталната равнина.

Силата  $P_x$  действа по направление на подаването с посока, обратна на посоката на движение на ножа. Тази сила определя механичното натоварване на подавателния механизъм. Съотношението между тези сили при рязане на стомана и при ъгъл  $\gamma$ , равен на  $15^\circ$ , ъгъл  $\phi = 45$ , ъгъл  $\lambda = 0^\circ$ , е  $P_x : P_y : P_z = 1,0 : 0,45 : 0,35$ .

Използваната при рязане енергия почти изцяло се превръща в топлина. С увеличаване на скоростта на рязане се увеличава и отделената топлина. Чрез стружките се отделя 75 - 80% топлина, чрез инструмента 15-20% и чрез детайла 4%. Това нагриване оказва вредно влияние върху режима на рязане, защото изменя свойствата на режещия инструмент, като понижава износоустойчивостта му. За намаляване на влиянието на триенето се използват мазилно-охлаждащи течности. Те отвеждат известно количество топлина, намаляват триенето и допринасят за повишаване точността и качеството на обработката.

## ВИДОВЕ МЕТАЛОРЕЖЕЩИ МАШИНИ

Металорежещите машини са технологично оборудване за формообразуване на детайлите чрез рязане. За да изпълнят определената им работа - формообразуване на детайл чрез снемане на стружка, трябва да изпълняват определени движения. В зависимост от вида на главното движение биват машини с главно въртливо движение и машини с главно праволинейно движение. При струговането главното движение е въртливо на детайла и подавателно праволинейно и напречно - на ножа.

Главното движение при фрезоването е въртеливо на работния инструмент - фрезата, а подавателното - праволинейно въртеливо или винтово на заготовката.

Свредловането е операция за получаване на отвори чрез рязане. При него главното движение е въртеливо на инструмента - свредло, а подавателното също на инструмента е праволинейно постъпателно.

При надлъжно стъргателните машини (хобел машини) детайлът се движи праволинейно възвратно-постъпателно и това е главното движение, а ножът се премества периодично перпендикулярно на главното движение - подавателно движение.

Шлифоването се извършва с цел получаване на гладкост на обработваната повърхност. Главното движение е въртеливо на работния инструмент, а подавателното - възвратно-постъпателно и въртеливо, на заготовката.

Според вида на извършваната работа металорежещите машини се делят на стругове, фрезови, пробивни, хобел машини и др.

В зависимост от степента на специализация металорежещите машини се делят на универсални, специализирани и специални. Специализираните обработват еднотипни детайли от различни размери, а на специалните машини се произвеждат само един вид детайли.

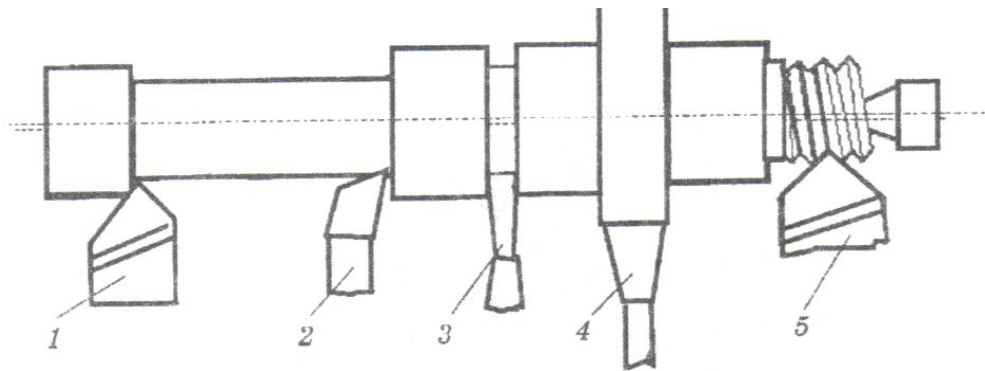
## **СТРУГОВЕ**

Струговете са най-разпространените металорежещи машини. На тях се обработват външни и вътрешни цилиндрични, конусни и профилни ротационни повърхнини, челни плоскости, нарязват се външни и вътрешни резби, прорязват се канали. Струговете биват универсални - (обикновени, винтонарезни) и специализирани - (револверни, каруселни и др.).

Специализираните стругове, за разлика от универсалните имат големи технологични възможности и се използват в единичното производство. Те имат висока производителност и при тях е възможно обслужването от персонал с по-ниска квалификация в условията на серийното и масовото производство. Към групата на специализираните стругове спадат многоножовите, които се отличават от универсалните по това, че са снабдени с два супорта, на всеки от който могат да се закрепват по няколко ножа. Предният супорт е предназначен само за надлъжно струговане, а задният - за напречно.

Работен инструмент при струговете са различни стругарски ножове (фиг. 16.5). Струговането на външни цилиндрични повърхнини се извършва с помощта на проходни стругарски ножове, които могат да бъдат едно- и

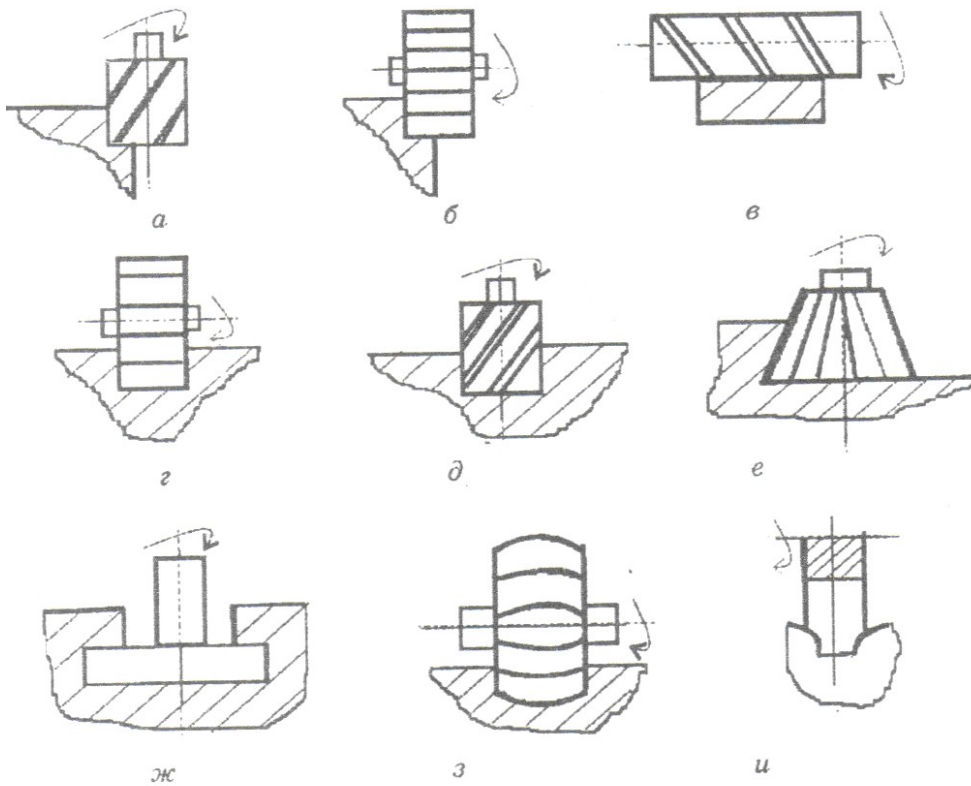
двустранни, леви или десни, прави, извити и др. Прорязването на канали и отрязването се извършват с помощта на ножове за прорязване (отрязване). Те имат удължена и изтънена режеща част, а дължината на режещия им ръб зависи от вида на извършваната работа: при прорязване на канали тази дължина е равна на ширината на канала, а при отрязване е 3-5 mm. Профилните повърхнини се обработват при напречно подаване на супорта със специални профилни ножове или с копировъчни устройства. Нарязването на резби се извършва с резбонарязващи ножове за външни или вътрешни резби.



Фиг. 16.5. Видове стругарски ножове

### ФРЕЗОВИ МАШИНИ

Фрезването (фиг. 16.6) е високопроизводителен метод за обработване на плоскости (в), прави, винтови и с различна форма канали (г, д, е, ж, з, и), профилни повърхнини и стъпала (а, б) върху фрезови машини. Една от най-важните операции е нарязването на зъбите на зъбните колела, което е много точна и трудоемка дейност. Изпълнява се чрез използването на универсален делителен апарат и се извършва от по-високо квалифицирани специалисти. За да се изпълняват описаните функции при фрезването, е необходимо закрепване на детайла върху работната маса чрез специални машинни стиски. Инструментът (фрезата) извършва главното движение, което е въртеливо  $v$ , а подавателното движение  $s_a$  и  $s_b$  е праволинейно, въртеливо или винтово на заготовката (фиг.16.6). Работният инструмент представлява различни по вид и предназначение фрези (фиг.16.6). Различаваме фрези за равнинни

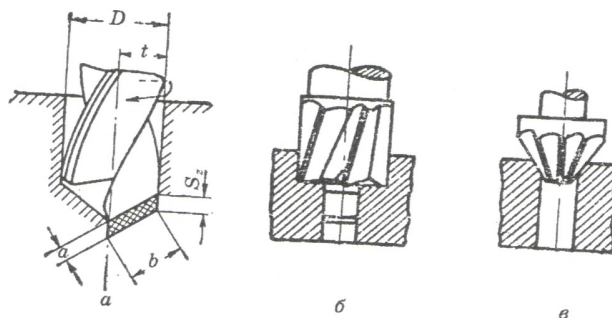


Фиг. 16.6. Видове фрезови операции

повърхнини (цилиндрични фрези) (а), за канали, шлицы и стъпала (дискови) (б, в, г), за отрязване и прорязване (г), за нарязване на зъбни колела (е) и др. Фрезовите машини биват: универсални, специални и специализирани. Според конструкцията си биват колонни и безколонни, конзолни и безконзолни.

### ПРОБИВНИ МАШИНИ

Пробивните машини са предназначени за свредловане и разсвредловане на отвори в различни детайли. На тях могат да се извършват следните операции (фиг. 16.7): свредловане на проходни и непроходни отвори със свредла (а), зенкерование на отвори (б), райберование (в) на отвори с цилиндрични и конусни райбери, зенкерование на цилиндрични и конусни повърхности, нарязване на резба с метчик.



Фиг. 16.7. Свредловане (а), зенкерование (б) и райберование (в)

В пробивните машини всички движения се извършват от режещия инструмент, докато обработваната част се закрепва неподвижно към масата на машината. На работния инструмент се подават и главното въртеливо, и подавателното движение.

Работният инструмент при пробиването е свредлото. Състои се от режещата, направляваща част и опашка. Режещата част е съставена от два главни режещи ръба, напречен режещ ръб  $2$ , предна повърхнина и задна повърхнина. Ъгълът при върха на режещата част  $\alpha_r$  се избира между  $80$  и  $140^\circ$  според вида и твърдостта на обработвания материал. Направляващата лента, намираща се между двата спомагателни винтови ръба, служи за отвеждане на стружката и за проникване на мазилно-охлаждаща течност.

Зенкерването е технологична операция за разширяване на отворите след свредловането им. Работните инструменти се наричат зенкери. Чистотата на обработените отвори е  $5 - 6$  клас на грапавост.

Чрез райберование се извършва окончателната обработка на цилиндрични и конусни отвори. Режещите инструменти се наричат райбери и имат  $6 - 12$  режещи зъба, разположени по околната (цилиндричната) повърхнина на инструмента. Грапавостта на получените повърхнини е  $6 - 9$  клас.

### **СТЪРГАТЕЛНИ МАШИНИ**

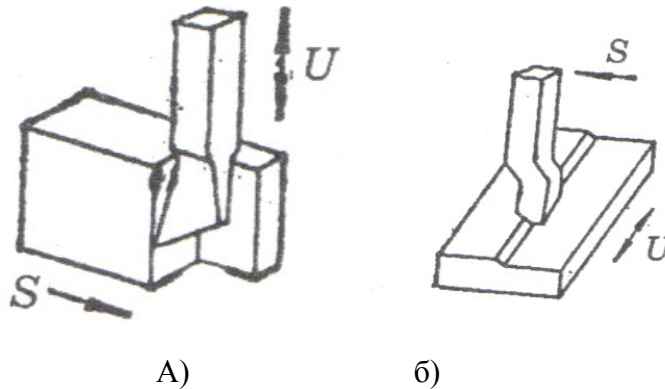
Стъргането като метод на рязане се прилага при обработването на плоскости - плочи и рамки, повърхнини с форма на лястовича опашка, шпонкови канали, профилни линейни повърхнини и др. По производителност отстъпва на фрезоването и протеглянето. Обикновено по този метод се обработват дълги и тесни детайли. Поради това намира приложение в дребносерийното производство.

Към тази група машини спадат надлъжно стъргателните, наречени хобели, и напречно стъргателните (шепинг) машини. Поради наличието на удари при тези машини не е възможно обработването с голяма скорост. Характерно е, че освен прав работен ход, при който се извършва рязането, съществува и обратен празен ход. С цел ускоряване на процеса обратният ход се извършва с три пъти по-голяма скорост.

### **ДЪЛБАЧНИ И ПРОТЯЖНИ МАШИНИ**

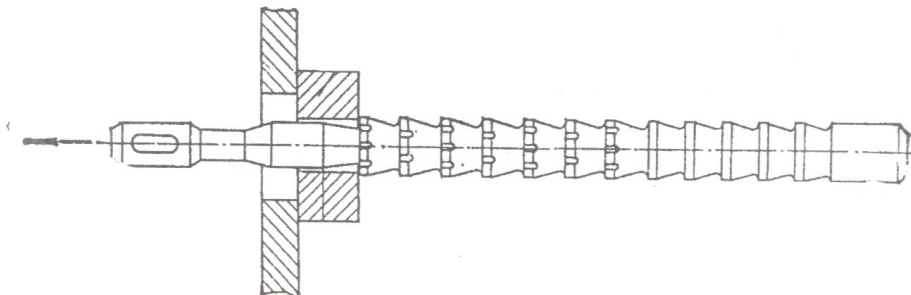
Дълбачните машини (щосмашини) (фиг. 16.8) се използват за изготвяне на канали във вътрешни повърхнини, неудобни за работа на други машини, външни профилни повърхнини и плоскости, шпонкови канали в главини на

зъбни колела и шайби. Тези машини намират приложение основно в единичното производство.



Фиг. 16. 8. Дълбачна а) и стъргателна б) операции

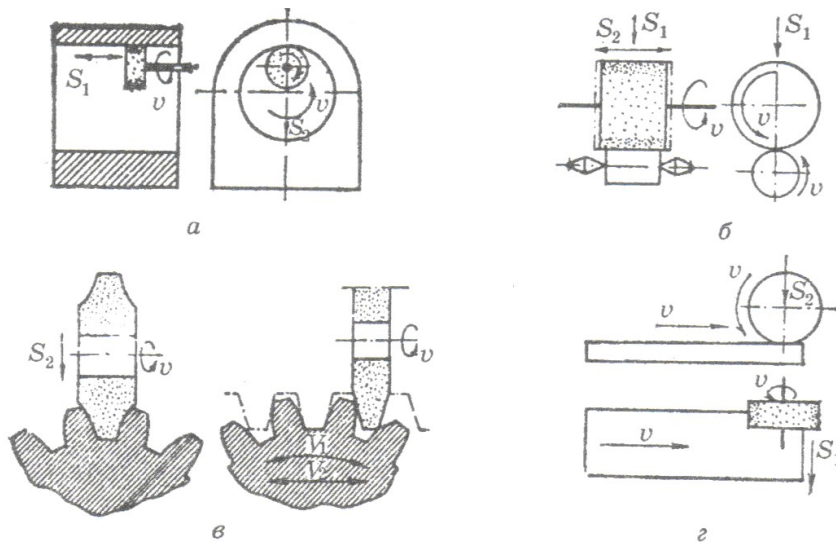
Когато е необходимо обработването на серии детайли, се използват протяжни машини с работен инструмент протяжка. Обработват се проходни отвори с различна форма, канали, външни повърхнини с разнообразни форми и ротационни тела. Отворите, които се протеглят, предварително се свредловат или разтъргват. Протяжката (фиг. 16.9) е скъп инструмент, който се състои от работна част, разделена на режеща, калибровача, задна направляваща, опашка и шийка. За да се извърши операцията протегляне, е необходимо само да се подаде постъпателно движение на протяжката, което се изпълнява с определена скорост. Обратният ход на протяжката е празен ход. Зъбите на работната част на протяжката са изработени така, че всеки следващ зъб е по-висок от предходния, като разликата във височините им определя дебелината на снеманата стружка. Тази разлика във височините на зъбите се нарича подем и съществува само при режещите зъби. калибровачите зъби нямат подем и служат за загладяване (калиброване) на обработената повърхнина.



Фиг. 16. 9. Протяжка

## ШЛИФОВЪЧНИ МАШИНИ

В машиностроенето шлифовъчните машини се използват за окончателно обработване на машинни части чрез снемане от тях на тънък слой метал чрез абразивен инструмент (фиг. 16.10). На тях могат да се обработват външни и вътрешни цилиндрични (фиг. 16.10,а), конусни повърхнини, резби, да се заточват инструменти, да се шлифват зъбите на зъбни колела (фиг.10,в), да се шлифват плоски повърхнини (фиг. 16.10,г) и др. В зависимост от вида на обработването се различават машини за шлифване на: кръгли външни повърхнини, на кръгли вътрешни повърхнини, на плоскости с кръгли и правоъгълни маси, на профилни повърхнини, на режещите ръбове на инструменти. При различните машини главното работно движение, както и напречното непрекъснато подаване се извършват от инструмента, който в повечето случаи е дисков. При шлифовъчните машини за шлифване на вътрешни повърхнини въртливо движение изпълнява и изделието, а праволинейно постъпателно - инструментът.



Фиг. 16.10. Шлифване на: а) вътрешни цилиндрични повърхнини, б) външни цилиндрични повърхнини, в) зъбни колела и г) плоски повърхнини

Надежността и трайността на детайлите се определя в значителна степен от точността на геометричните им параметри. Това определя относително големия дял на финишните обработки. Най-разпространени финишни методи на обработване са финото шлифване, хонинговането и суперфинишът.



Финото шлифоване се прилага за получаването на висока точност на размерите на обработвания детайл и за корекция на отклоненията от формата в рамките на 0,3 - 0,5 микрометра. Методът намира приложение при обработването на плоскости, оси и други части на точни механизми.

Чрез хонинговането се обработват отвори и външни повърхнини чрез абразивен инструмент. Работният инструмент извършва сложни съставни движения (въртеливо + възвратно-постъпателно) и коригира отклонения от геометричната форма на отвора. Детайлите са с изключителна точност на размерите. По този начин се обработват отвори с диаметър от 2,5 до 1000 mm.

Процесът на много фина обработка на повърхнини с абразивен инструмент се нарича суперфиниш. Особеност на метода е, че при движението си абразивните частици, движещи се по сложна траектория, оказват много малък натиск ( $2,5 - 50 \text{ N/cm}^2$ ) върху обработвания детайл. Той подобрява гладкостта на обработените повърхнини и е високопроизводителен.

## КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ

1. Какво разбираме под “Обработване чрез рязане”?
2. Какво характеризира обработването на металите чрез рязане?
3. В какво се състои процесът на стружкоотнемане?
4. Опишете геометрията на стругарския нож?
5. Кои са елементите на режима на рязане?
6. Колко вида металорежещи машини познавате в зависимост от вида на основните движения?
7. Кои са основните елементи на универсалния струт? За какви обработки е предназначен?
8. За какви операции се използва фрезоването? Как се наричат машините? А инструментите при този вид обработка?
9. Кои са инструментите при пробиване? Спомнете си “Материалознанието” - от какви стомани се изработват свредлата?
10. За обработването на какви повърхнини са предназначени стъргателните машини?
11. Какво представлява суперфинишната обработка?

**Тема 17**  
**ТЕХНОЛОГИЧНИ МЕТОДИ ЗА ПРЕРАБОТВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ**  
**МАТЕРИАЛИ**

**ОБЩИ СВЕДЕНИЯ**

Както вече беше казано, според структурата си полимерите могат да бъдат частично кристални или напълно аморфни вещества. Полимерите в зависимост от температурата могат да се намират в следните фазови състояния - стъкловидно, вискоеластично и вискозотечно. При нагриване полимерните материали проявяват различен характер. Едни от тях с увеличаване на температурата повишават своята пластичност и преминават от твърда в течна фаза, а при охлаждане отново се втвърдяват. Те се наричат термопластични поради обратимия характер на превръщането си. Други полимери при нагриване първоначално се размекват и с повишаване на температурата загубват пластичния си характер и се втвърдяват. Това са т. нар. терморективни полимери, за които е характерна необратимостта на пластичността при нагриване. Оттук идват и характерните особености при обработването и преработването на полимерните материали.

**ОСНОВНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ СВОЙСТВА НА ПОЛИМЕРИТЕ**

*Пластичността* е основно свойство на полимерните материали. Това е способността на материала да заеме дадена форма при нагриване и упражняване на налягане. При охлаждане полимерните материали се втвърдяват с определена *скорост*, която се характеризира с образуващата се дебелина на стената, измервана в милиметри за минута. При това втвърдяване настъпва относителна промяна на размерите на детайлите в сравнение със съответстващите размери на пресформата при температура 20 °С. Обикновено настъпва *свиване* на полимерния материал. В някои случаи полимерните материали проявяват способност да се *гранулират* при предварително студено формование, което улеснява следващите обработки.

При обработването на полимерните материали от съществено значение са някои технологични параметри: температура на пресоване, налягане за пресоване, време на задържане в пресформите. Тези параметри зависят основно от вида и свойствата на полимерите.

Процесите на формообразуване на различните полимерни материали се извършват на специално оборудване - пресформи с използването на различни машини: хидравлични преси, леярски машини и др. Характерна особеност при обработването на полимерите е, че в редица случаи формообразуващите

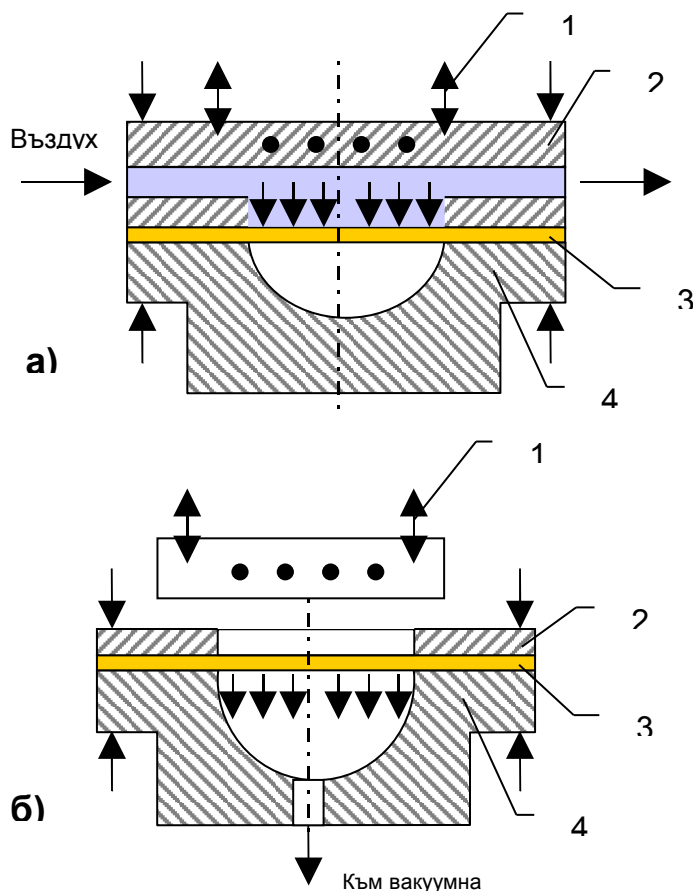
процеси протичат едновременно с процеса на получаване на материала от изходните суровини.

## ПРЕРАБОТВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ, НАМИРАЩИ СЕ ВЪВ ВИСКОЗНО-ПЛАСТИЧНО СЪСТОЯНИЕ

Технологичните методи, които се прилагат при обработването на полимерите във вискозно-пластично състояние изискват топлинно и механично въздействие. Към тези методи спадат формоване, пресоване, леене под налягане, екструдиране, каландриране и др.

### ФОРМОВАНЕ

Ръчното формоване се състои в следното (фиг. 17.1): върху намазана с противозалепващо вещество дървена или гипсова форма 4 се нанася тънък слой смола 3, който придава гладкост и цвят на детайла и го защитава от корозия. След това върху смолата в зависимост от желаната дебелина се нанасят няколко слоя стъклотъкан или стъклопласт.

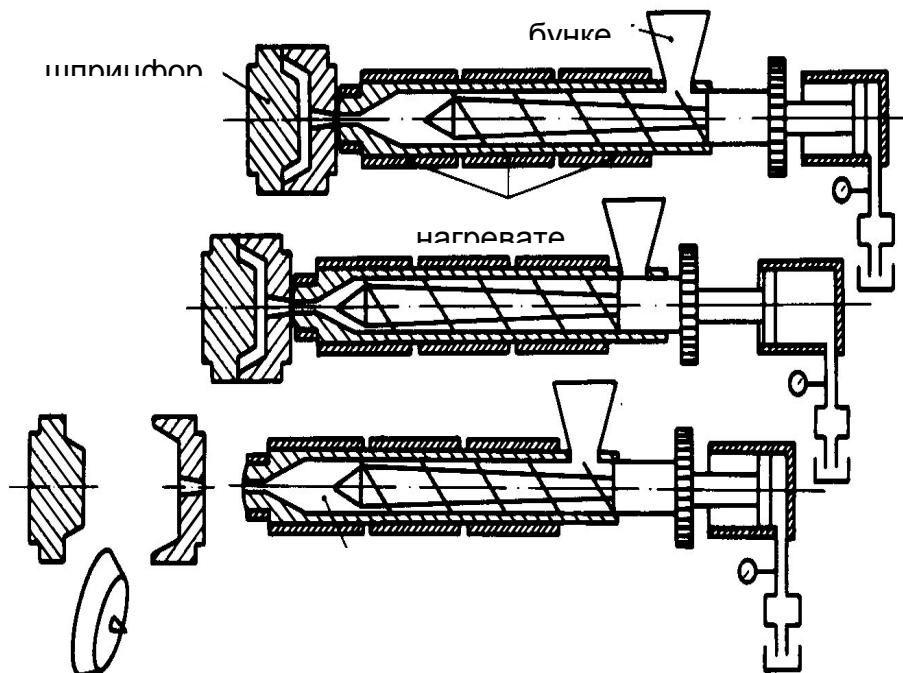


Фиг. 17.1. Формоване

Технологичният цикъл за пресоване се състои от следните основни операции: предварителна подготовка на изходния материал (гранулиране на материала); нагряване; пресоване; отделяне на детайлите от пресформата и почистване от мустаци и чеплъци; термична обработка за снемане на вътрешните напрежения. Предварително върху долната пресформа 4 се поставя армиращият материал върху нагряти метални плочи. След това се насипва смолата 3. Разпределението и става като се притиска с горна пресформа 2. Едновременно с формоването се изрязват и излишъците от смола.

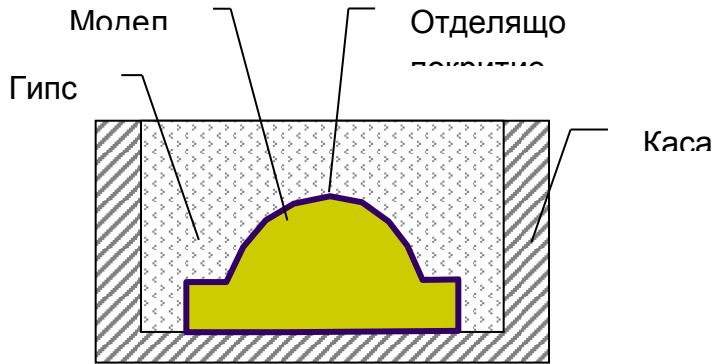
### Леене под налягане и екструдиране

Леенето на пластмасови изделия **под налягане** принципно не се различава от това на метални изделия (фиг. 17.2). Изходната суровина е предварително гранулирана и се подава дозирано от бункер в специална тръба, където се транспортира от шнеков елеватор, загрява се и се хомогенизира равномерно. След това с помощта на бутало се изтласква до пресформата. Полимерният материал застива, приемайки формата на пресформата. Това е високопроизводителен метод, който може да се автоматизира. Получените изделия са с голяма гладкост на повърхнините.

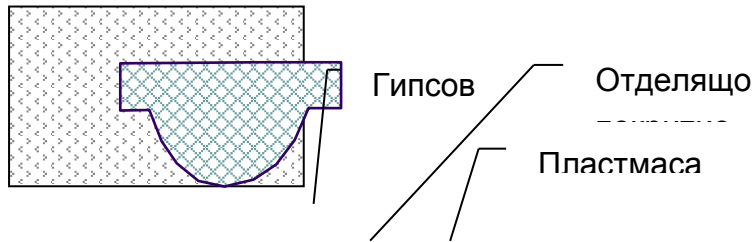


Фиг. 17.2. Леене под налягане

Съществува и **леене в открити форми** (фиг. 17.3). Използва се предимно за изработване на лярски модели, сърцеви кутии и други изделия на базата на епоксидни и други смоли. Отливането става в специални гипсови форми, които се изработват чрез копиране по модела-майка (а). Готовата форма се изважда (б) и се намазва с паркетин или разтвор от пчелен восък в бензин за предотвратяване на прилепването на полимера. Моделът се залива със съответната смола. След втвърдяване изделието се изважда (в).



а. Получаване на гипсова форма



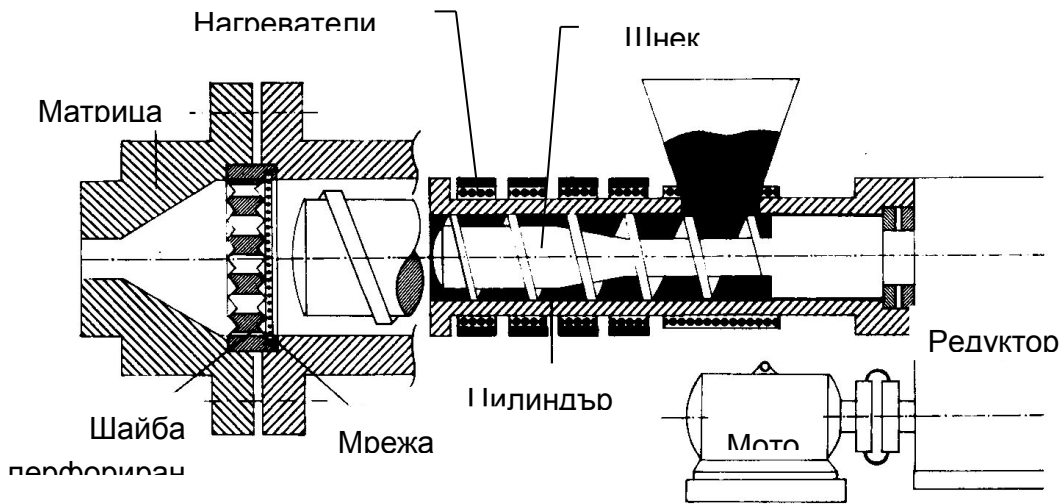
в. Готово изделие

Фиг. 17.3. Леене

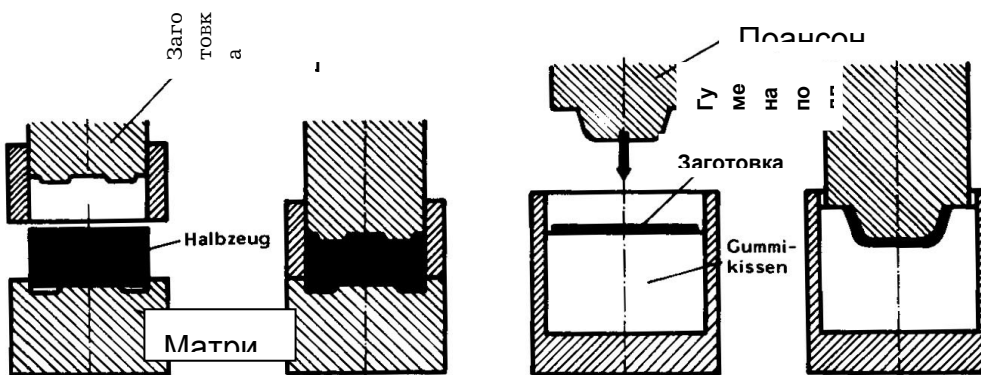
**Екструдирането** е процес на непрекъснато изтласкване на течен материал през специална глава, наречена екструдер. Тази технология намира

приложение за изработване на изделия с голяма дължина и еднакъв профил: тръби, ленти, пръти и др.

На фиг. 17.4 е показана принципната схема на един шнеков екструдер. Гранулираният изходен материал се подава в бункера на машината. Чрез шнека пластмасовият материал се смесва, изтласква се напред и се сбива. Постепенно от корпуса на машината се нагрява до необходимата за дадения материал температура. Профилът на готовото изделие, носено върху транспортната лента, се оформя през дюзата и дорника. В практиката се използват шнекове с различна конфигурация и размери.



Фиг. 17.4. Нагнетателен екструдер



А) - Обемно формоване.

Б) - Формоване с гумена подложка на листов материал.

Фиг. 17.5. Объемно формоване

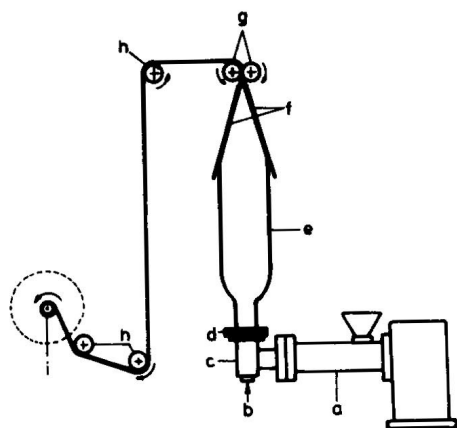
Обемното формоване (фиг.17.5) може да се извършва без и с гумена подложка. Процесът не се различава по технология от щамповането на метални материали.

## **ПРЕРАБОТВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ, НАМИРАЩИ СЕ ВЪВ ВИСОКОЕЛАСТИЧНО СЪСТОЯНИЕ**

Необходимо условие за достигане на вискоеластично състояние е нагряването на изходната суровина. След това материалът се подлага на пластична деформация за достигане на необходимата форма, която обикновено е плоска - лист, фолио и др. В зависимост от начина на прилагане на формиращото усилие се различават три метода: пневматично формоване, щамповане и комбиниран метод.

### **Пневматично формоване**

При пневматичното формоване плоска заготовка се нагрява от специални устройства (термостати или индукционни съоръжения) и се деформира в матрица подобно на дълбокото изтегляне на метал (фиг. 17.6). При този метод нагретият лист се притиска към формата Въздухът от нея се изтегля и под действие на атмосферното налягане листът прилепва плътно към формата. По този начин се получават релефи с различна дълбочина - камери и врати на хладилници, различни касети, форми за бонбони, плодове, зеленчуци и др. Обикновено чрез този метод се преработва фолио от PVC и полистирол с дебелина 1 mm.



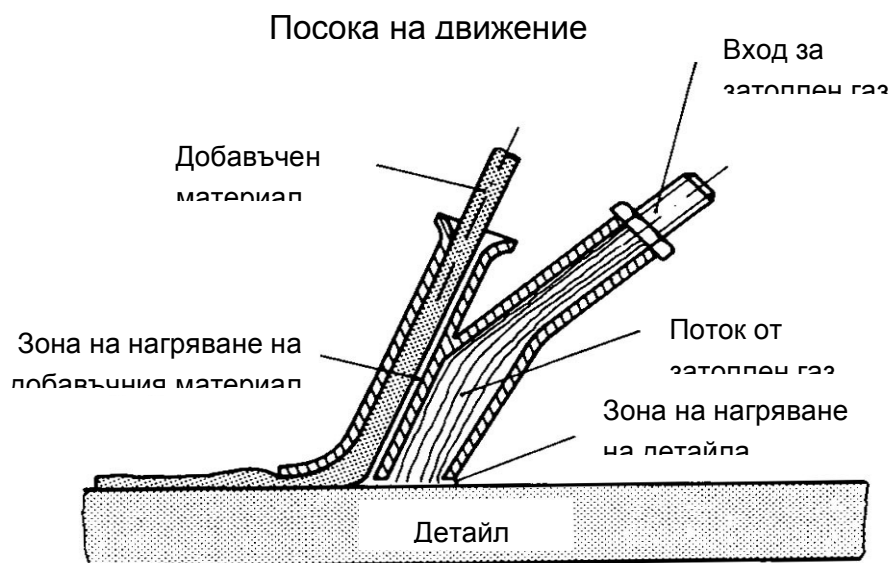
- а)-екструдер,
- б)-въздухопровод,
- с)-бластираща глава,
- д)-охлаждане,
- е)-ръкав,
- г)-притискащи валци,
- х)-направляващи

Фиг. 17.6. Екструдиранието на фолии

## Заваряване

Заваряването чрез топлина и натиск в мястото на свързване се прилага за термопластичните материали (фиг. 17.7). Обработката е специфична и се различава от заваряването на металите.

Термопластичните пластмаси могат успешно да се заваряват посредством нагряване с електричен ток или чрез нагряване в газова среда. При газовото заваряване се нагрява с газ, обикновено въздух чрез електрична верига. Електричното устройство се премества в близост до заварявания материал до достигане на необходимата температура. Нагряването се локализира при 246 - 357 °С. За запълване на разтопената пластмаса обикновено се добавя допълнителен материал. Това става чрез прибавяне на пластмасови частици в мястото на шева, които се нагряват едновременно с основния материал, след което се пресоват на необходимото място. Натискът се осъществява чрез ролково устройство след нагряването на материала. За заваряването на пластмасови тръби понякога се прилага заваряване чрез триене.



Фиг. 17.7. Заваряване на пластмаса

## ПРЕРАБОТВАНЕ НА ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИАЛИ, НАМИРАЩИ СЕ В ТВЪРДО СЪСТОЯНИЕ

Обработването на пластмасите в твърдо състояние се извършва главно чрез щанцоване или чрез рязане. Тези методи са по-слабо производителни и се



прилагат по-ограничено. Щанцоването или това са т. нар. разделителни операции, служи за получаване на детайли от листов материал за електронната промишленост.

### **Рязане**

Листове с дебелина, по-голяма от 2,5 mm, се разрязват с фреза или с абразивен диск, а по-тънките материали - с ножица. Възможността за нарязване на полимерния материал основно зависи от неговата крехкост. Освен това спецификата на структурата на пластмасовите материали, както и някои особености на физико-механичните им характеристики оказват влияние на технологията за обработване, конструкцията на режещите инструменти и приспособленията към тях. Полимерните материали като цяло имат ниска топлопроводимост и затова не позволяват използването на високи скорости на рязане. При много ниски скорости на рязане пък се получават пукнатини поради крехкостта на материала. Всичко това трябва да се има предвид при определяне начина и режима на рязане. Режещият инструмент за обработване на полимерни материали се отличава с по-големи ъгли - преден и заден. Тези материали могат да се струговат, фрезват (използват се фрези със спирални зъби), пробиват; могат да се нарязват резби, да се шлифват, полират и т. н.

Когато се обработват полимерни материали, освен технологични фактори се вземат предвид и икономически. При единично производство не е целесъобразно да се правят форми за отливане или пресоване на детайли и тогава се налага използването на стружкоотнемащи технологии.

### **Лепене**

**Лепенето се** извършва със синтетични лепила на базата на терморективни /фенолформалдехидни, епоксидни, органосилициеви/ и термопластични /акрилати, полиизобутилен, поливинилацетат/ смоли. Мястото на връзката в повечето пластмаси не отстъпва по свойства на основния материал.

## **КОНТРОЛНИ ВЪПРОСИ**

1. Кои са основните технологични свойства, отличаващи полимерните от металните материали?
2. Какво представлява пресоването на пластмасите? В какво агрегатно състояние на материала се извършва тази технологична операция?
3. Съществува ли разлика между лепенето на метал и на пластмаса? Какво е това екструдирание?
4. Могат ли да се заваряват пластмасите?
5. Как се обработват материалите във високо еластично състояние?
6. Обработват ли се пластмаси в твърдо състояние?
7. Какви методи на обработване на пластмасата в твърдо състояние познавате?