

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI Elm və TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ nəzdində
BAKİ TEXNİKİ KOLLECİ

“Materialşünaslıq”
fənnindən mühazirələr.
(30 saat)

Tərtib etdi:

Azərbaycan Texniki Universiteti nəzdində

Bakı Texniki Kolləcin “Ümumixtisas” fənn birləşməsinin müəllimi:

Həsənli Türkan Teymur qızı

BAKİ - 2022

MÜNDƏRİCAT

Bölmə 1. Giriş. Materialların quruluşu kristallaşma

Materialşünaslığın predmeti.....	3
Materialların kristallik quruluşu.....	6
Metalların polimorfizmi.....	8
Metalların xassələrinin anizotropiyası.....	11
Kristallik cismlərin quruluşu.....	12
Metal və ərintilərdə diffuziya.....	15
Polimer, şüşə və keramikanın strukturu.....	16
Metalların kristallaşması. Kristallaşma prosesinin mexanizmi.....	19
Sakit polad külçəsinin quruluşu.....	23

Bölmə 2. Metalların deformasiyası və mexaniki xassələri

Metal və ərintilərin xassələri.....	25
Elastik, plastik deformasiya.....	26
Metalların dağılması.....	28
Qızmanın deformasiya olunmuş metalın strukturuna və xassələrinə təsiri.....	29
Brinell üsulu ilə bərkliyin təyini.....	31
Rokvell və Vickers üsulu ilə bərkliyin təyini.....	31

Bölmə 3. Metal ərintilərinin quruluşu və hal diaqramının qurulması

Ümumi məlumat.....	34
Metal ərintilərinin hal diaqramı.....	37
Komponentləri mexaniki qarışıq əmələ gətirən ərintilərin hal diaqramı.....	40
Parçalar qaydası.....	41
Dəyanətli kimyəvi birləşmə üçün hal diaqramı.....	46
Dəyanətsiz kimyəvi birləşmə üçün hal diaqramı.....	47

Bölmə 4. Dəmir və dəmir əsaslı ərintilər

Dəmir-sementit hal diaqramının qurulması.....	50
Karbonlu konstruksiya poladları.....	59
Çuqunlar.....	62

Bölmə 5. Termiki emalın nəzəri əsasları

Termiki emalın növləri.....	69
Poladın qızdırılması zamanı baş verən çevrilmələr.....	72
Ədəbiyyat.....	84

Ümumi məlumat. Materialşünaslığın predmeti

Materialşünaslıq elmi materialların tərkibi, strukturu və xassələri arasındakı əlaqəni, həmçinin xassələrin xarici amillərin təsiri nəticəsində dəyişməsinin qanunauyğunluğunu öyrənir. Materialların xassələri dedikdə mexaniki (möhkəmlik həddi, bərklik, özlülük və s.), fiziki (elektrik keçiriciliyi, istilik keçirmə, maqnit xassələri və s.), texnoloji (plastiklik, mayeəxıcılıq, kəsmə ilə emal edilə bilmə və s.), kimyəvi xassələr nəzərdə tutulur. Xassələrə təsir edən xarici amillərə termiki, kimyəvi, mexaniki, fiziki amillər aid edilir.

Şəkil 1-dəki sxem materialşünaslıq elminin məzmununu əyani surətdə təsvür etməyə imkan verir. Belə ki, tərkibin dəyişməsi strukturun dəyişməsinə, strukturun dəyişməsi isə öz növbəsində xassələrin dəyişməsinə səbəb olur. Məsələn, konstruksiya materialı kimi ən geniş tətbiq edilən dəmir-karbon ərintilərində (poladlar və çuqunlar) karbonun miqdarının artması strukturda yüksək bərkliyə və möhkəmliyə malik Fe_3C kimyəvi birləşməsinin miqdarının artmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində mexaniki xassələrin, həmçinin fiziki xassələrin (istilik keçiriciliyi, elektrik keçiriciliyi, maqnit xassələri və s.) dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Hətta eyni dəmir-karbon sistemli ərintilərin polad və çuqunlara bölünməsi karbonun miqdarından asılı olaraq strukturda baş verən dəyişikliklər və bununla əlaqədar mexaniki, texnoloji, fiziki xassələr kompleksinin dəyişməsi ilə əlaqədardır.

Materialşünaslıqda xarici amillərin təsiri çox zaman həlledici rol oynayır. Əslində xarici amillərin təsiri ilə materialın xassələrini lazım olan istiqamətdə dəyişmək, başqa sözlə onun xassələrini idarə etmək mümkündür. Bunu ən geniş tətbiq edilən konstruksiya materialı olan poladın nümunəsində nümayiş edirmək mümkündür. Müəyyən temperaturadək qızdırılmış polad kiçik sürətlə soyudulduqda onun bərkliyi, möhkəmliyi azalır, plastikliyi artır, böyük sürətlə soyudulduqda isə, əksinə, bərklik, möhkəmlik artır, plastiklik isə azalır.

Az karbonlu poladın səth qatını müəyyən mühit və temperaturda karbonla zənginləşdirməklə dinamik yükə davamlı materialın səth qatının yeyilməyə davamlılığını artırmaq olur.

Burada həm müasir konstruksiya materiallarının əsasını təşkil edən metallar, həm də qeyri-metal materiallar (plastik kütlələr, rezin, keramika materialları və s.) öyrənilir.

Sənayedə ən çox metallardan və müxtəlif metal ərintilərindən istifadə edilir.

Metalları şərti olaraq iki əsas qrupa-qara və əlvan metallara bölmək olar.

Qara metallar öz növbəsində aşağıdakılara bölünür:

1. Dəmir xassəli metallar – dəmir, kobalt və nikel (ferromaqnetiklər) və xassəcə onlara yaxın olan manqan.
2. Çətin əriyən metallar – buraya ərimə temperaturu dəmirin ərimə temperaturundan (1539 °C) yüksək olan metallar aid edilir.
3. Uran metalları – aktinidlər. Əsasən atom energetikasında istifadə edilən ərintilərdə işlədilir.
4. Nadir torpaq metallar – lantan, neodim, praziodim və b. Onlardan müxtəlif əsaslarda ərintilər almaq üçün legirleyici element kimi istifadə edilir.
5. Qələvi torpaq metallar – sərbəst şəkildə tətbiq edilmir.

Əlvan metallar isə aşağıdakılara bölünür:

1. Yüngül metallar – sıxlığı az olan berilium, maqnezium və alüminium.
2. Nəcib metallar – gümüş, qızıl, platin qrupuna daxil olan metallar (platin, palladium, iridium və b.), həmçinin yarıməcib metal sayılan mis buraya aiddir.
3. Tezəriyən metallar – sink, kadmium, civə, qalay, qurquşun və b.

Bəzi mənbələrdə dəmir və onun ərintiləri qara metallara, digər metallar isə əlvan metallar qrupuna aid edilir.

Metallar bərk vəziyyətdə aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

1. Yüksək istilik və elektrik keçirmə qabiliyyəti.
2. Elektrik müqavimətinin müsbət temperatur əmsalı-temperatur ardıqca elektrik müqaviməti artır.
3. Termoelektron emissiyası, yəni qızırıldıqda səthdən elektronların buxarlanması.
4. Yaxşı əksətmə qabiliyyəti. Bu, xarakter metal parlaqlığı yaradır.
5. Yüksək plastik deformasiya qabiliyyəti.

Metallarda olan bu xassələr, xüsusən yüksək istilik və elektrikkeçiriciliyi, plastik deformasiya qabiliyyəti metal cisimlərdə mövcud olan metal rabitəsi ilə əlaqədardır.

Bütün metallar və metal ərintiləri kristal quruluşa malikdir. Saf metallar nisbətən zəif mexaniki xassələrə malikdir. Ona görə də texnikada konstruksiya materialları kimi əsasən metal ərintilərindən istifadə edilir. Metal ərintilərini əritmə və ya bişirmə yolu ilə alırlar. Ərintini təşkil edən elementlər komponent adlanır. Ərintilər iki, üç və çox komponentli ola bilər.

Metal və ərintilərin quruluşunu, çevrilmələri və xassələrini öyrənmək üçün materialşünaslıqda sistem, faza və struktur anlayışlarından istifadə edilir. Sistem, müvazinət halında olan fazalar məcmuuna deyilir. Sistemin müəyyən tərkibə, kristal quruluşuna, xassələrə, eyni aqreqat halına malik olan və qalan hissələrdən ayrılma səthi ilə ayrılan tərkib hissəsi faza adlanır. Struktur dedikdə isə metal və ərintilərdə müvafiq fazaların forması, ölçüləri və qarşılıqlı yerləşmə xarakteri nəzərdə tutulur.

Ərintinin eyni quruluşlu xarakter xüsusiyyətlərə malik təcrid edilmiş hissəcikləri struktur təşkilediciləri adlanır.

Struktur öyrənilərkən adi gözlə və ya azacıq böyüdülməklə görünə bilən makrostruktur və mikroskopun köməyi ilə görünə bilən mikrostruktur anlayışlarından istifadə edilir.

Makrostrukturu öyrənmək üçün makroşliflərdən istifadə edilir. Makroşlif vasitəsilə tökükdə dənəciklərin formasını və yerləşmə xarakterini, döyüklərdə liflərin istiqamətini, müxtəlif qüsurları (koğuşlar, çatlar, qaz qabarcıqları və s.), kimyəvi qeyri-bərabərliyi və s. öyrənmək mümkündür.

Mikrostruktur mikroşliflər üzərində mikroskop vasitəsilə öyrənilir.

Mikrostruktur fazaların qarşılıqlı yerləşməsini, formasını və ölçülərini göstərir.

Materialların quruluşu. Kristallaşma

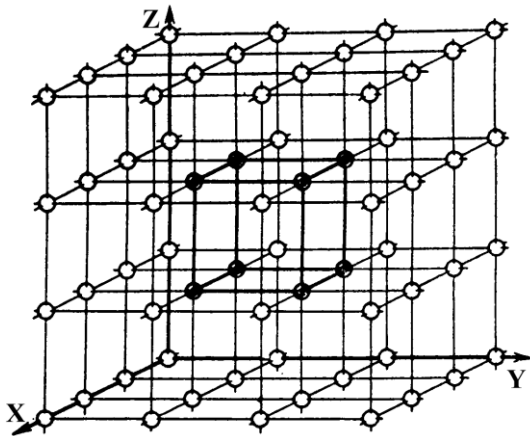
Materialların kristal quruluşu

Bütün cismlərin üç aqreqat halında – bərk, maye və qaz halında olduğu məlumdur. Cismnin bir haldan digərinə keçməsi onun sərbəst enerjisinin – F ($F=U-TS$, burada U – daxili enerji, T – temperatur, S – entropiyadır), entropiyasının və digər fiziki xassələrinin siçrayışla dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Bu və digər aqreqat halının yaranması əsasən temperaturdan və təzyiqdən asılıdır.

Qazlarda molekullarası məsafələr böyük olduğu üçün molekullar bir-biri ilə demək olar ki, təsirlənmir. Buna görə də qazların özünə məxsus həcmi və forması olmur.

Mayelər və bərk cismlər maddənin kondensasiya olunmuş halına aid edilir. Qazlardan fərqli olaraq kondensasiya olunmuş maddələrdə atomlar bir-birinə yaxın yerləşdiyi üçün onların arasında güclü qarşılıqlı təsir qüvvəsi təəənir, nəticədə maye və bərk maddələr öz daimi həcminə malik olur. Mayələrdə atomların bir müvazinət halından digərinə keçməsi və ya müvazinət halı ətrafında hərəkəti çox yaxın məsafələrdə baş verir. Atomlararası məsafələrlə müqayisə edilə biləcək atomların bu hərəkətə xas olan düzülüş qanunauyğunluğu yaxın düzülüş adlanır. Bərk cismlərdən fərqli olaraq mayelər üçün axıcılıq xarakterdir.

Maye cismlərdən fərqli olaraq öz stabil formasına malik olan bərk cismlərdə atomlar yalnız öz müvazinət halı ətrafında çox kiçik ehtizaz edir. Bu, bir-birindən istənilən uzaq məsafədə olan atomların müəyyən ardıcılıqla düzülüşünə səbəb olur. Atomların belə düzülüşünə uzaq düzülüş deyilir. Atomların üç ox boyunca dövrü olaraq müntəzəm təkrarlanan düzülüşü kristal qəfəsi əmələ gətirir (şəkil 2), kristal qəfəsinə malik cismlər isə bərk kristallik cism adlanır.



Bərk cismlərlə yanaşı amorf cismlər də mövcuddur. Amorf cismlərdə atomlar xəotik yerləşmiş müvazinət vəziyyətləri ətrafında kiçik ehtizazlı hərəkət edir və kristal qəfəsi əmələ gətirmir. Termodinamik baxımdan amorf cismlər dəyanətsiz (metastabil) halda olub, qatlaşmış maye kimi baxıla bilər. Amorf cismlər xassələrin izotropluğu və ərimə temperaturunun olmaması (temperatur artdıqda amorf cism yumşalır) ilə xarakterizə olunur. Bu

xüsusiyyət amorf cismlərdə atomların uzaq düzülüşünün olmaması ilə izah edilir.

Metallar və metal ərintilərinin kristallik quruluşa malik olması onları səciyyələndirən əsas xüsusiyyətlərdən biridir. Kristallik quruluş atomların fəzada müəyyən qanunauyğunluqla yerləşməsilə xarakterizə olunur.

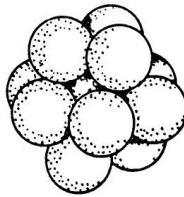
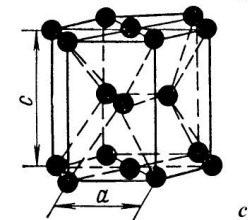
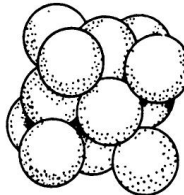
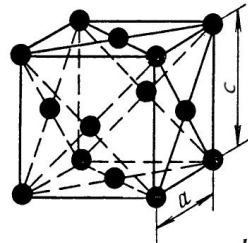
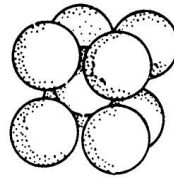
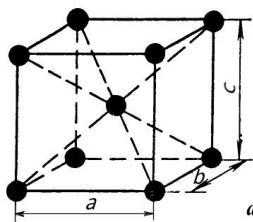
Cismin atom – kristallik quruluşunu təsvir etmək üçün kristal qəfəsi və elementar qəfəs (özək) anlayışlarından istifadə edilir. Kristal qəfəsi dedikdə, düyünlərdə bərk cismi təşkil edən atomlar (ionlar) yerləşmiş xəyali fəza qəfəsi təsəvvür edilir. Kristalın bütün həcmi haqqında təsəvvür yaradan ən kiçik həcm elementar qəfəs adlanır. Elementar qəfəs kristalın həcmində üç ox boyunca təkrar olunur.

Metallarda ən çox həcmimərkəzli kub, üzümərkəzli kub və sıx yerləşmiş heksaqonal qəfəslərə rast gəlinir (şəkil 3). Kristal qəfəsin qonşu düyünlərində yerləşən atomların mərkəzləri arasındakı məsafə (a , b , c) qəfəsin parametri və ya dövrü adlanır.

Kristal qəfəsin kipi atomların tutduğu xarakterizə olunur. atomdan ən yaxın, şəhən atomların sayı-mərkəzli kub üçün

Əlaqə ədədinin qiyy-qəfəsinin sıxlığı ədədi 8 olan həcmi 66%, əlaqə ədədi kubda və sıx yer-tal qəfəsində isə

Qızıl, gümüş, plakimi plastik və özlü üzümərkəzli kub (Fe_{α}), xrom, və bir sıra digər temperaturunda maqnezium, vismut, sink, sirkonium və s. sıx yerləşmiş heksaqonal kristal qəfəsinə malik olur.



liyi, başqa sözlə həcm, əlaqə ədədi ilə Əlaqə ədədi verilmiş bərabər məsafədə yerləna deyilir, həcmi-əlaqə ədədi 8, üzümər-12-dir.

məti artdıqca kristal artır. Məsələn, əlaqə mərkəzli kubda kiqlik 12 olan üzümərkəzli ləşmiş heksaqonal kris-74%-dir.

tin, mis, nikel, alüminium metallar, γ -dəmir (Fe_{γ}) kristal qəfəsinə, α -dəmir molibden, volfram, titan metallar otaq həcmimərkəzli kub,

Kristal qəfəsinin forması ilə əlaqədar aşağıdakı mülahizələr maraqlıdır:

- bütün nəcib metallar üzümərkəzli kub kristal qəfəsinə malikdir;
- yüksək elektrik və istilik keçiriciliyinə malik metallar üzümərkəzli kub qəfəsi ilə kristallaşır;
- həcmimərkəzli kub qəfəsinə həm özlü, həm də kövrək metallar malik ola bilər;
- sıx yerləşmiş heksaqonal qəfəsə malik metalların bərkliyi soyuq deformasiya nəticəsində daha tez artır.

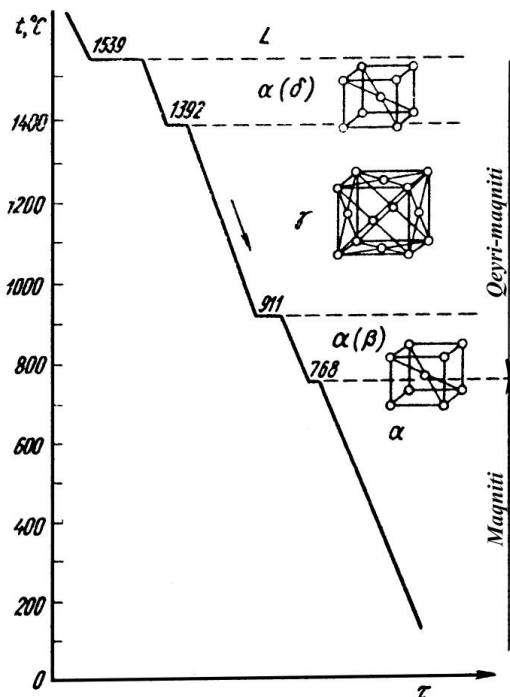
Metalların polimorfizmi

Bir çox metallar müxtəlif temperaturda müxtəlif tipli kristal qəfəsə malik olur. Metalın müxtəlif kristal formalarına malik olma qabiliyyətinə polimorfizm və ya allotropiya deyilir, kristal quruluşların özləri isə allotropik forma və ya modifikasiya adlanır. Daha aşağı temperaturda mövcud olan modifikasiya α ilə, daha sonra β , γ və s. ilə işarə edilir. Məsələn, dəmirin Fe_α və Fe_γ , titanın Ti_α və Ti_β modifikasiyaları mövcuddur.

Saf metalın qızdırılması zamanı bir allotropik formanın digərinə çevrilməsi sabit temperaturda istiliyin udulması ilə baş verir. Soyudulma zamanı allotropik çevrilmə eyni qaydada baş verir. Termiki əyrilərdə çevrilmə üfüqi sahə ilə qeyd olunur. Şəkil 4-də verilmiş dəmirin soyudulma əyrisində allotropik çevrilmə temperaturları göstərilmişdir.

Bir kristal modifikasiyasının başqa modifikasiyaya çevrilmə temperaturu polimorf çevrilmə temperaturu adlanır. Polimorf çevrilmə zamanı kristal qəfəsin tipi dəyişir. Bu hadisəyə yenidən kristallaşma deyilir. Məsələn, dəmirin 911 °C-dən aşağı temperaturda həcmimərkəzli kub tipli qəfəsə malik Fe_α , 911 °C-dən 1392 °C-dək üzümərkəzli kub tipli qəfəsi malik Fe_γ modifikasiyası mövcuddur.

Bir polimorf formadan başqasına keçid zamanı kristal qəfəsin tipi



dəyişməklə yanaşı, metalın sıxlığı və xassələri də dəyişir. Dəmir soyudularkən $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$ çevrilməsi zamanı həcm artması və müvafiq sürətdə sıxlığın azalması buna nümunədir. Poladda çevrilmə zamanı həcm artması hətta materialın dağılmasına səbəb ola bilər.

Saf metalın qızdırılması zamanı bir allotropik formanın digərinə çevrilməsi sabit temperaturda istiliyin udulması ilə baş verir. Soyudulma zamanı isə

allotropik çevrilmə eyni qayda ilə, lakin istiliyin ayrılması ilə baş verir.

Termiki əyrilərdə çevrilmə üfüqi sahə ilə qeyd olunur. Şəkil 4-də verilmiş dəmirin soyudulma əyrisində allotropik çevrilmə temperaturları göstərilmişdir.

Yeni allotropik formalar (modifikasiyalar) bərk cism daxilində kristallaşma mərkəzlərinin əmələ gəlməsi və kristalların böyüməsi yolu ilə gedir.

Bir polimorf formadan başqasına keçid zamanı kristal qəfəsin tipinin dəyişilməsi ilə yanaşı metalın sıxlığı və xassələri də dəyişir. Dəmir soyudularkən $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$ çevrilməsi zamanı həcm artması və müvafiq surətdə sıxlığın azalması buna nümunədir. Poladın polimorf çevrilməsi zamanı həcm artması hətta materialın dağılmasına səbəb olur.

Cədvəl 1-də bəzi metalların allotropik formaları barədə məlumat verilmişdir.

Cədvəl 1

Metalların allotropik formaları

Metal (element)	Allotropik forma	Dəyanətli vəziyyətin, temperatur intervalı, °C	Kristal qəfəsi
Fe	α	<911	Həcmimərkəzli kub (K8)
	γ	911-1392	Üzümərkəzli kub (K12)
	δ (α)	1392-1539	Həcmimərkəzli kub (K8)
Co	α	<450	Heksaqonal (H12)
	β	450-1480	Üzümərkəzli kub (K12)
Sn	α	<18	Almas qəfəsi
	β	18-232	Həcmimərkəzli tetraqonal
Mn	α	<700	Mürəkkəb çoxatomlu kub

	β	700-1079	Mürəkkəb çoxatomlu kubik
	γ	1079-1043	Üzümərkəzli tetraqonal
	δ	1143-1244	Həcmimərkəzli kub (K8)
Ti	α	<882	Heksaqonal (H12)
	β	882-1660	Həcmimərkəzli kub (K8)
Zr	α	<867	Heksaqonal (H12)
	β	867-1860	Həcmimərkəzli kub (K8)

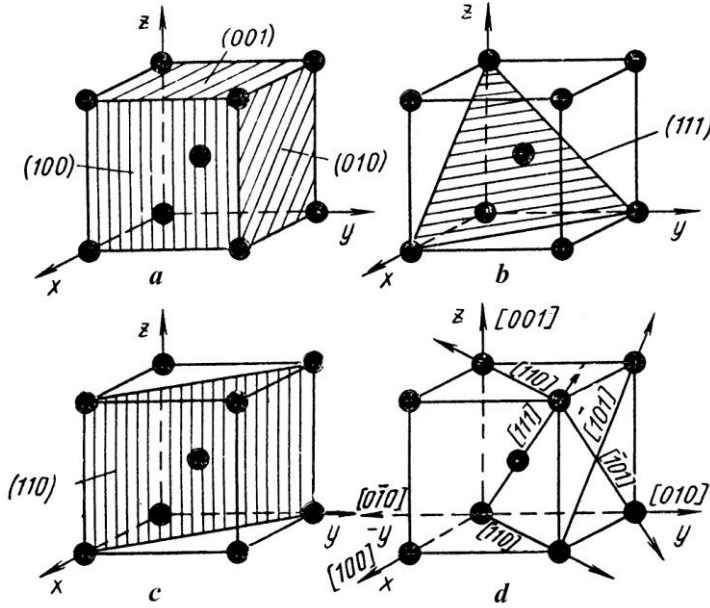
Maqnit çevrilmələri. Bəzi metallar (dəmir, kobalt, nikel) xüsusi maqnit xassələri ilə fərqlənir. Bu xassələr ferromaqnit xassələri adlanır. P.Küri göstərmişdir ki, müəyyən temperaturda metal ferromaqnit xassələrini itirir. Bu temperatur Küri nöqtəsi adlanır. Maqnit çevrilməsi zamanı metalın kristallik strukturunda dəyişiklik baş vermir. Maqnit xassələri xarici və daxili elektron örtüklərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində dəyişir.

1.3. Kristalloqrafik müstəvilər və istiqamətlər

Kristallik fəza qəfəslərində atom müstəvilərinin vəziyyətini müəyyən etmək üçün həmin müstəvinin koordinat oxlarında kəsdiyi parçaların tərs qiymətinə bərabər olan üç rasiyal ədəddən ibarət (hkl) indekslərindən istifadə edirlər. Oxlar boyu uzunluq vahidi olaraq elementar qəfəsin tillərinin uzunluğu götürülür.

Həcmimərkəzli kubun nümunəsində atom müstəvilərinin işarələnməsinə baxaq (şəkil 5). Kubun hər müstəvisi tək bir oxu kəsir. Bu zaman parçalar müvafiq surətdə $(1, \infty, \infty)$, $(\infty, 1, \infty)$, $(\infty, \infty, 1)$, onların tərs qiyməti isə $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$ və $(0, 0, 1)$ olacaq. Dairəvi mötərizəyə alınan indekslər (100) , (010) , (001) kimi işarələnir. Parçalar mənfi qiymət aldıqda indeksin üzərində mənfi (-) işarəsi yazılır – $(\bar{1}00)$, $(0\bar{1}0)$, $(00\bar{1})$.

Kub qəfəsdə kub müstəvilərindən başqa (şəkil 5.a), oktaedr müstəvisi (111) , (şəkil 5.b) və rombik dodekaedr müstəvisi (110) , (şəkil 5.c) mövcuddur.



Qeyd etmək lazımdır ki, indekslər tək bir müstəvini yox, paralel müstəvilər qrupunu xarakterizə edir. Bu halda onlar fiquralı mütərizələrdə $\{100\}$, $\{010\}$, $\{001\}$ kimi yazılır.

Kristal qəfəsində atom sırasının yerləşmə istiqamətinin indeksini müəyyən etmək üçün paralel müstəvilər qrupundan koordinat başlanğıcından keçən müstəvilərin istiqamətini

seçmək lazımdır. Sonra elementar qəfəsin tilinin uzunluğunu vahid qəbul edərək bu istiqamətin istənilən nöqtəsinin koordinatları təyin edilir.

Metalların xassələrinin anizotropiyası

Kristallik materialların kristal qəfəslərinin müxtəlif müstəvilərində atomların yerləşmə sıxlığı müxtəlifdir. Məsələn, həcmimərkəzli kub kristal qəfəsinin yan üz müstəvisində 4 atom, diaqonal müstəvisində isə 5 atom vardır (şəkil 5). Atomların yerləşmə sıxlığı materialın xassələrinə təsir göstərir. Buna görə də kristallik materialın xassələri nümunənin kəsilmə istiqamətindən asılı olur. Kristallik materialın xassələrinin belə qeyri-bərabərliyi anizotropiya adlanır.

Xassələrinin anizotropiyası təklidə götürülmüş kristala, başqa sözlə monokristala aiddir. Texnikada tətbiq edilən metallar çoxlu sayda anizotrop kristallitlərdən ibarətdir, yəni polikristallik quruluşa malikdirlər. Kristallitlər bir-birinə nəzərən qeyri-müntəzəm qaydada cəhətləndiyi üçün, onların müxtəlif istiqamətlərdə xassələri demək olar ki, bərabər olur. Beləliklə, polikristallik cisim psevdolanizotropiya xassəli olur.

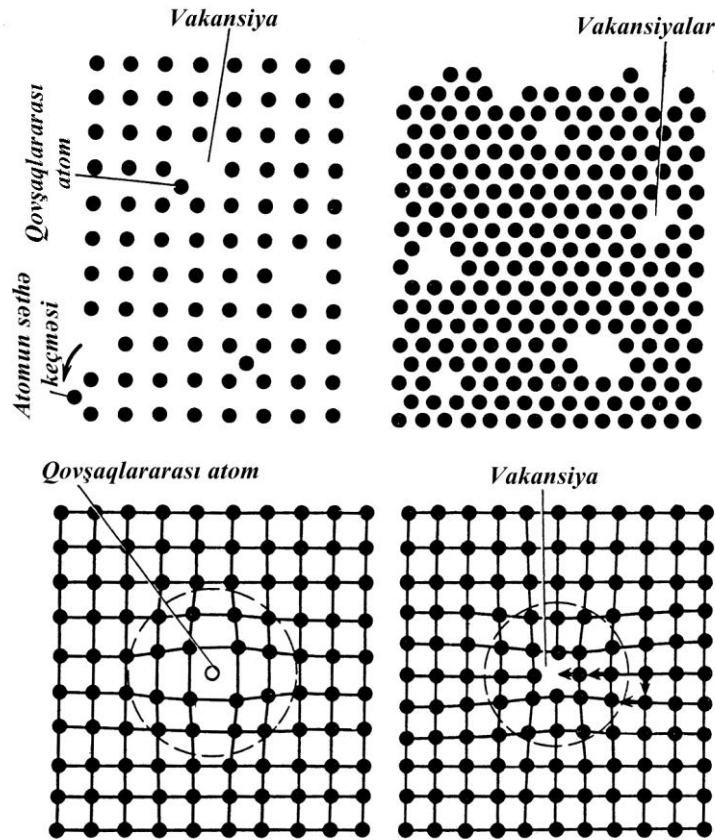
Lakin kristallitlər hər hansı bir istiqamətdə daha çox cəhətlənmiş olarsa polikristallik cisim anizotropluq kəsb edər. Belə cəhətlənmə, başqa sözlə tekstura, adətən metalların soyuq deformasiyası nəticəsində baş verə bilər. Buna görə də maşın hissələrini konstruksiya etdikdə və ya onların hazırlanma texnologiyasını işlədikdə bunu nəzərə almaq lazımdır.

Kristallik cisimlərin quruluş

Real metalin kristal quruluşunda bütün hallarda atomların kristal qəfəsində qanunauyğun düzülməsinə pozan qüsurlar mövcuddur. Bu qüsurlar materialın xassələrinə müəyyən təsir göstərir.

Kristallik cisimlərin quruluş qüsurları həndəsi əlamətlərinə görə nöqtəvi, xətti və səthi qüsurlara bölünür.

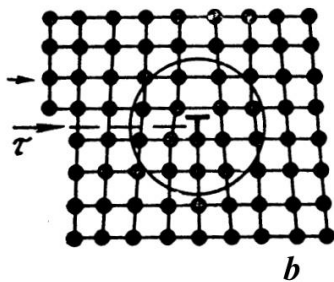
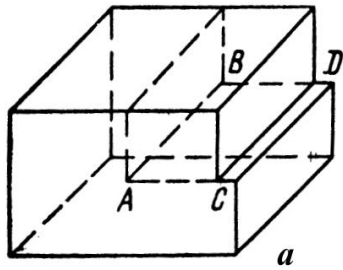
Nöqtəvi qüsurların ölçüsü hər üç ox boyunca kiçik olur. Onların ölçüsü bir neçə atom diametri böyüklüyündə olur. Nöqtəvi qüsurlara vakansiyalar (boş düyünlər) – Şottki qüsurları, düyünlərarası atomlar (Frenkel qüsurları) və aşqar atomları aiddir. Vakansiyalar atomun düyünlər arasına və ya səthə keçməsi, ya da səthdən buxarlanması nəticəsində meydana gəlir. Düyünlərarası atomların meydana gəlməsi bir növ vakansiyaların əksi kimi təsəvvür edilə bilər. Şəkil 6-da nöqtəvi qüsurlar göstərilmişdir.



Şəkil 6. Kristal qəfəsində nöqtəvi qüsurlar

Nöqtəvi qüsurlar atomlararası məsafənin yerli dəyişməsinə, bununla da kristal qəfəsinin pozulmasına səbəb olur. Bu birinci növbədə materialın

elektrik müqavimətinin və qismən də kristalın möhkəmliyinin artmasına səbəb olur.

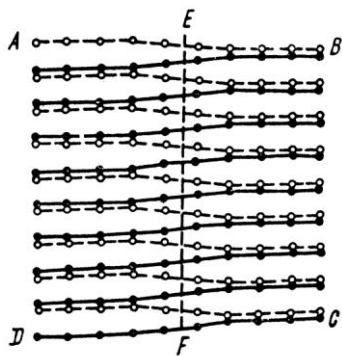


Xətti qüsurlar iki ox boyunca çox kiçik ölçüyə malik olur. Xətti qüsurların ən mühüm növü dislokasiyalardır. Dislokasiyaların öyrənilməsi kristallik cisimlərin plastik deformasiyasının təbiətini, metalların möhkəmliyinin və plastikliyinin təbiətini izah etməyə imkan vermişdir.

Dislokasiyalar öz növbəsində kənar və vint dislokasiyalarına bölünür. Hər iki növ dislokasiya kristalların ayrı-ayrı hissələrinin sürüşərək kristal qəfəsin ideal düzülüşünü pozması ilə yaranır. Dislokasiyaya ümumi halda belə tərif vermək olar: kristal daxilində sürüşmə zonası sərhəddi yaradan xətti qüsurlara dislokasiya deyilir.

Kənar dislokasiyasını belə təsəvvür etmək olar: elas-tik cismin AB xətti boyunca bir parçasını kəsərək cismin bir hissəsini o biri hissəsinə nisbətən bir atomlararası məsafə qədər sürüşdürürlər ki, kristalda həmin məsafəyə bərabər

hündürlükdə pillə yaransın (şəkil 7.a). Kənar dislokasiyasını kristalda yerləşdirilmiş əlavə yarımüstəvi kimi də təsəvvür etmək olar (şəkil 7.b). Əlavə yarımüstəvi sürüşmə müstəvisindən istər yuxarıda, istərsə də aşağıda yerləşə bilər. Yarımüstəvi yuxarıda yerləşdikdə dislokasiya müsbət, aşağıda yerləşdikdə mənfi sayılır. Şəkil 7.b-də göstərilən kənar dislokasiyası müsbətdir.



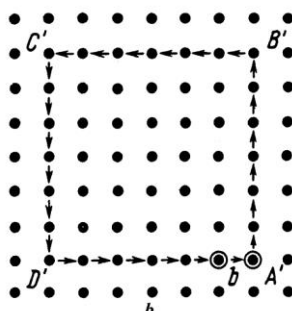
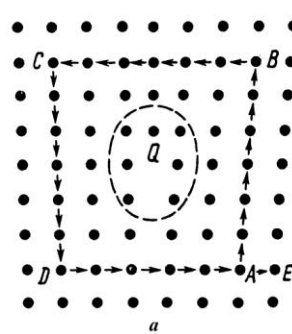
anlayışından istifadə olunur. təsəvvür etmək üçün disloka-

Şəkil 8-də vint dislokasiyasının modeli göstərilmişdir.

Vint dis-
fında
rulmuş
təsəvvür

elastiki

etmək

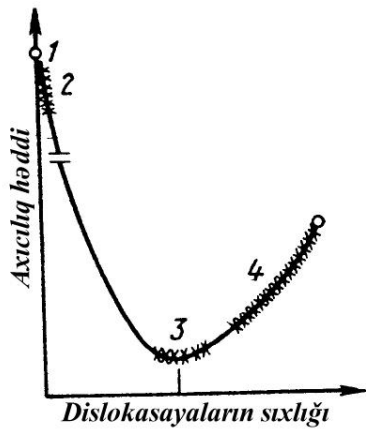


lokasiyası EF xətti ətra-
vint səthi boyunca bu-
atom müstəviləri kimi
edilə bilər.

Dislokasiyaların
ətrafında kristal qəfəsin
pozulması baş verir.

Pozulmanı xarakterizə
üçün Bürqers vektoru
Bürqers vektorunu
siyalı real kristalı

qüsursuz kristalla müqayisə etmək lazımdır. Bundan ötrü real kristalın qüsursuz hissəsində bir atomdan o birinə doğru olaraq qüsurları ötməklə



ixtiyarı formada qapalı konturdan ibarət Bürqers konturu qurulur (şəkil 9). Bürqers vektorunu təyin etmək üçün dislokasiya ətrafında $ABCDE$ konturu seçək (şəkil 9.a). A nöqtəsindən saat əqrəbinin əksinə 6 atomlararası məsafədən ibarət AB , BC , CD və DE ayıraq. Kontur 5 atomlararası məsafədən ibarət DA sahəsində qapanır. Qüsursuz (dislokasiyasız) kristalda bu sahə digərləri kimi 6 atomlararası məsafədən ibarətdir (şəkil 9.b). Qüsursuz və dislokasiyalı kristal qəfəslərinin perimetrlərinin ($A^1B^1C^1D^1 - ABCD$) fərqi sürüşmə prosesində sürüşmənin qiymətini və istiqamətini göstərən Bürqers vektorudur. Kənar dislokasiyası üçün Bürqers vektoru cəhətcə dislokasiya xəttinə perpendikulyar, qiymətcə sürüşmə istiqamətində atomlararası məsafəyə bərabərdir.

Vint dislokasiyaları zamanı dislokasiyanın hərəkət istiqaməti və Bürqers vektorunun cəhəti üst-üstə düşür. Vint dislokasiyası yaranarkən kristalda sürüşmə dislokasiya xətti boyunca aşağı və ya yuxarı bir atomlararası məsafə qədər olur.

Kristalda dislokasiyanın mövcudluğu kristal qəfəsinin elastik təhrifinə səbəb olur. Belə ki, kənar dislokasiyası müsbət olduqda sürüşmə müs-təvisindən yuxarıdakı atomlar elastik sıxılır, aşağıdakı atomlar isə elastik dartılır. Mənfi dislokasiyada isə bu əksinə olur. Beləliklə, dislokasiyalara malik kristalın enerjisi dislokasiyasız kristalın enerjisindən çox olur. Xarici qüvvə təsiri altında kristallardakı dislokasiyalar hərəkət edərək biri-birilə, həmçinin nöqtəvi və səthi qüsurlarla qarşılıqlı təsirlənirlər. Bu zaman eyni işarəli dislokasiyalar bir-birini itələyir, əks işarəli isə cəzb edir.

Kənar dislokasiyaların yaxınlığında, kristal qəfəsinin dartıldığı yerdə vakansiyalar və düyünlərarası atomlar asan hərəkət edərək aşqar atomlar toplusu əmələ gətirir. Buna Kottrel atmosferi deyilir.

Dislokasiyaların sıxlığı, yəni kristalın vahid həcminə düşən dislokasiyaların uzunluğu böyük qiymət ala bilər. Məsələn, tabalmaya ugradılmış metallarda dislokasiyaların sıxlığı $10^6-10^8 \text{ sm}^{-2}$, soyuq deformasiyadan sonra isə $10^{11}-10^{12} \text{ sm}^{-2}$ ola bilər.

Səthi qüsurların qalınlığı çox kiçik olsa da iki ox boyunca nisbətən böyük ölçüyə malik olur. Səthi qüsuralara kristal dənələrarası sərhədlər, dənə daxilindəki fraqmentlərarası sərhədlər və ya fraqmentlər daxilində bloklararası sərhədlər aiddir. Bir kristal qəfəsinin başqa kristal qəfəsinə keçid (sərhəd) zonasında atomların sıxlığı və aşqar atomların konsentrasiyasının yüksək olması metalın mexaniki xassələrinə təsir göstərir.

Kristal qəfəsin qüsurları metalın nəzəri və faktiki möhkəmliyi arasında böyük fərq əmələ gəlməsinə səbəb olur. Məsələn, əgər ideal quruluşlu kristal qəfəsə malik dəmirin möhkəmliyi (nəzəri möhkəmlik) 13000 MPa-dırsa, dəmirin faktik möhkəmliyi cəmi 250 MPa-dır, həm də qüsurların, birinci növbədə dislokasiyaların təsiri onların sıxlığı ilə bağlıdır. Şəkil 10-da kristal qəfəsin qüsurlarının metalın mexaniki xassələrinə təsiri göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi dislokasiyaların və başqa qüsurların sıxlığının müəyyən həddinədək metalın məhkəmliyi azalır, sonra isə qüsurların sıxlığı artdıqca möhkəmliyi də artır. Beləliklə, metalın möhkəmliyinin artmasına iki yolla nail olmaq mümkündür: 1. ideal kristal quruluşa malik metal almaq; 2. dislokasiyaların və ya onların hərəkətinə mane ola bilən qüsurların sayını artırmaq.

Metal və ərintilərdə diffuziya

Metal və ərintilərin strukturunda, xüsusən yüksək temperaturda baş verən dəyişikliklər öz-özünə diffuziya və diffuziya ilə əlaqədardır.

Öz-özünə diffuziya istilik təsiri altında metal atomunun kristal qəfəsinin bir düyünündən qonşu düyünə və ya düyünlər arasına keçməsidir. Diffuziya isə ərintinin ayrı-ayrı zonalarında konsentrasiyanın dəyişməsi ilə müşayiət olunan müxtəlif element atomlarının köçürülməsidir.

Diffuziya (öz-özünə diffuziya) prosesləri yerdəyişmə, vakansiya, düyünlərarasına keçmə və s. mexanizmlərlə baş verə bilər. Lakin diffuziyanın hər hansı mexanizm üzrə baş verməsi yer dəyişən atomların dəf edə biləcəyi energetik baryerdən (aktivləşmə enerjisindən) asılıdır. Aktivləşmə enerjisi atomlararası rabitə qüvvələrindən və diffuziya proseslərini asanlaşdıran kristal qəfəsinin qüsurlarından asılı olur. Metal atomlarının diffuziyası üçün vakansiya mexanizmi, H , N , C və s. kimi kiçik atom radiuslu elementlərindən ötrü düyünlərarasına keçmə mexanizmi üstünlük təşkil edə bilər. Diffuziya üçün mövcud olan *Fik* qanununa görə vahid zaman ərzində vahid səthdən (ds) diffuziya edən maddənin miqdarı – dm konsentrasiya qradientinə ($\partial c / \partial x$) və diffuziya əmsalına (D) mütənasibdir:

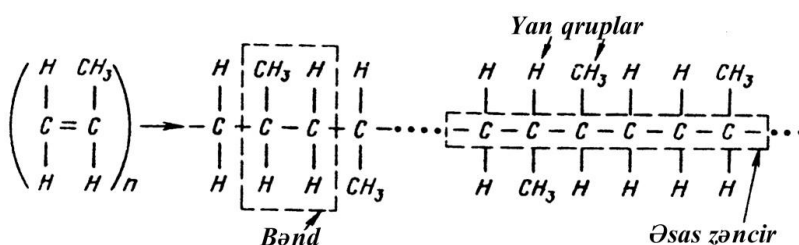
$$dm = -D \partial c / \partial x \partial S d\tau$$

Mənfi işarəsi diffuziyanın konsentrasiya qradieyenti vektorunun əks istiqamətində, yəni diffuziya edən elementin böyük konsentrasiyalı zondan kiçik konsentrasiya zonasına keçməsi ilə baş verdiyini göstərir. Diffuziya əmsalı – D ərintinin tərkibindən, dənələrin ölçüsündən və temperaturdan asılı olmaqla konsentrasiya dəyişməsilə diffuziyanın sürətini müəyyən edir. Diffuziya prosesləri kristallaşma, yenidən kristallaşma, faza çevrilmələri və ərintilərin səthinin digər elementlərlə zənginləşdirilməsinin əsasını izah edir.

Polimer, şüşə və keramikanın strukturu

Polimer molekulları eyni qrup atomlardan – bəndlərdən ibarət olan böyük molekul kütləli maddələrə deyilir. Polimerin hər bir bəndi ilkin aşağımolekullu maddənin – monomerin dəyişilmiş molekulundan ibarətdir (şəkil 11). Polimer əmələ gələrkən monomerin molekulları biri-birilə birləşərək uzun xətti molekullar – makromolekullar əmələ gətirir. Makromolekulların atomları kovalent rabitə ilə birləşir, xətti molekulların rabitə xarakterindən asılı olaraq polimerləri termoplastik və termoreaktiv polimerlərə bölürlər.

Termoplastik polimerlər öz xassələrini dəyişmədən çoxdəfəli qızdırılma zamanı yumşalır və soyudularkən bərkiyir. Termoreaktiv polimerlər termiki parçalanma temperaturunadək qızdırıldıqda belə yumşalmır. Bu onunla izah olunur ki, termoplastik polimerlərdə nisbətən zəif Van-der-Vaals qüvvələri təsir göstərir. Qızdırılma zamanı molekullar arasında rabitə zəyifləyir və polimer yumşalır. Termoreaktiv polimerlərdə isə Van-der-Vaals qüvvələrindən başqa, molekullar arasında eninə kovalent rabitə də



mövcuddür ki, bunun sayəsində polimer qızdırılıqda bərk qalır.

Xətti molekullar əsas zəncirdən və yan qruplardan təşkil olunur (şəkil 11). Əksər polimerlərdə əsas zəncir əsasən karbon atomlarından, üzvisilisiumlu polimerlərdə isə oksigen və silisium atomlarından ibarət olur.

Yan qruplar hidrogen, halloid atomlarından, radikallardan ($OH-$, $CN-$, C_6H_5 və s.), təşkil olunur. Bir neçə növ qrup olduqda onları əsas zəncir boyu həm nizamlanmış, həm də nizamlanmamış qaydada düzmək mümkündür. Buna uyğun olaraq polimerlər nizamlanmış və nizamlanmamış polimerlərə bölünür.

Polimerlərin ümumi strukturu ayrı-ayrı molekulların qarşılıqlı yerləşməsindən – molekulüstü strukturundan təşkil olunur. Molekulüstü struktur ayrı-ayrı molekullar arasındakı cazibə qüvvəsi və molekulların istilik hərəkəti nəticəsində yaranır. İş temperaturundan yuxarı qızdırılmış nizamlanmamış polimerlər üçün dəstə (paçka) struktur xarakterdir. Belə strukturda qonşu molekulların əsas zəncirləri nisbətən böyük sahələrdə paralel yerləşir. Nizamlanmış polimerlərin molekulüstü strukturları üçün isə kristallik quruluş xarakterdir.

Polimer maddədə mikromolekullar sıx yerləşmir. Yerləşmə sıxlığı sərbəst həcmə, yəni maddənin faktiki xüsusi həcmi ilə sıx yerləşmənin nəzəri xüsusi həcmi arasındakı fərqlə müəyyən edilir. Qızdırılma zaman sərbəst həcm artır. Sərbəst həcmdən asılı olaraq polimer maddə üç fiziki halda: şüşəvari, yüksək elastiki və özlü-axıcı halda ola bilər. Bir haldan başqasına keçilməsi istilik udulmadan və ya ayrılmadan baş verir. Keçid temperaturları şüşələşmə (t_s) və axıcılıq (t_{ax}) temperaturları adlanır.

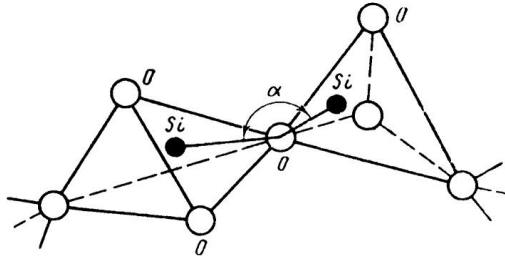
Polimerlərin fiziki halları arasındakı fərq deformasiya zamanı aşkar müşahidə olunur. Şüşəvari halda polimer elastiki bərk cismdir. Yük altında deformasiya cəmi bir neçə faiz ola bilər və yük götürüldükdən sonra itir. Yüksək elastiki hal sərbəst həcmi $\sim 2,5\%$ qiymətində müşahidə olunur. Bu halda polimer özünü elastiki cism kimi aparır. Yük altında deformasiya 500-800 % qədər çox böyük qiymət ala bilər. Bu zaman makromolekullarda atomarası məsafə çox az dəyişir. Yük götürüldükdən sonra makromolekullar müvazinət halına qaydır. Buna görə də yüksək elastiki hal dönəridir. Özlü-axıcı halında polimer özünü özlü maye kimi aparır. Bu halda deformasiyanın əsasını dönməyən özlü axma təşkil edir. Yük götürüldükdən sonra özlü axma dayanır və özlü maye aldığı formanı saxlayır. Qızdırılma makromolekullarda kovalent rabitənin pozulmasına səbəb olur.

Müxtəlif fiziki hallarda polimerin molekul strukturu dəyişməz qalır, lakin molekulüstü struktur asanlıqla dəyişir – t_s temperaturundan yuxarı qızdırıldıqda nizamlanmamış strukturlar nizamlanmış strukturlarla əvəz olunur, t_s

temperaturundan aşağı soyudulduqda isə materialda yenidən asanlıqla nizamlanmamış molekulüstü struktur yaranır. Termoplastik polimeri deformasiyaya uğratdıqdan sonra yükü götürmədən t_s -dən aşağı temperaturadək soyutsaq, dartılmış makromolekullar yük götürüldükdən sonra da öz formasını saxlayır və beləliklə yüksək elastiki hal dondurulmuş olur.

Molekulüstü strukturun müvazinət vəziyyətindən sapması polimer məmullarda möhkəmiyə təsir göstərir. Nizamlanmış polimerlər kristallaşmanın müvazinət temperaturundan (t_{kr}) aşağı soyudulduqda kristallaşma baş verir. Bu kristallaşma istilik ayrılması və həcm azalması ilə müşayiət olunur. Kristallaşma temperaturu t_s temperaturundan yuxarı olduğu üçün nizamlanmış polimerlər ($t_s - t_{kr}$) intervalında elastikliyi saxlayır. Nizamlanmış polimerlərin kristallaşması 60-70%-dən yüksək olsa da tam kristallaşma baş vermir. Kristallik polimerlərdə kristalların forması və ölçüsü kristallaşma şəraitindən asılı olmaqla polimerin mexaniki xassələri alınmış strukturdan asılı olur.

Şüşə oksidlərin və oksigensiz birləşmələrin əridilməsi yolu ilə alınan amorf maddədir. SiO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 , GeO_2 kimi oksidlər, həmçinin mərgümüş,



selen, tellurun bəzi oksigensiz birləşmələri şüşəmələgətirən maddələrdir.

Şüşənin əsasını həmçins struktur elementlərindən ibarət tor təşkil edir. Tərkibcə ən sadə olan kvars şüşəsində belə element, təpələri ilə birləşən SiO_4 tetraedrləridir (şəkil 12). Kristallik kvarsın strukturu da belə tetraedrlərdən təşkil olunmuşdur. Eyni kimyəvi tərkibli iki maddə arasındakı fərq SiO_4 -ün yerləşmə qaydası ilə izah olunur. Belə ki, kvars şüşəsində qonşu tetraedrlərdə $Si-O$ rabitələri arasındakı bucaq geniş hədudlarda dəyişə bilər və nəticədə tetraedrlər nizamlanmamış qaydada yerləşir. Kristallik kvarsda isə tetraedrlərin yerləşməsi tənzimlənmiş olur və α bucağı çox məhdud intervalda dəyişə bilər.

Sənayedə əsasən digər oksidlər əlavə edilmiş silikat şüşələrindən istifadə olunur. Kvars şüşələrindən fərqli olaraq bu şüşələr nisbətən aşağı temperaturlarda yumşalır və onlardan məmulat nisbətən asan hazırlanır. Atomları kovalent-ion rabitələri ilə birləşən silikat şüşələrinə silisium və

oksigenlə yanaşı alüminium, titan, germanium, berilium daxil edilir, struktur torunun yuvalarında qələvi və qələvi-torpaq metalların ionları yerləşir. Kimyəvi tərkibin mürəkkəbləşməsi strukturun bircinsliyinin pozulmasına, şüşənin xassələrinin və rənginin dəyişməsinə səbəb olur.

Bir fazlı ərinti soyudularkən onun müxtəlif kimyəvi tərkibi iki və çox mayeyə laylaşması baş verir. Bərkimiş şüşə hər bir fazası amorf olan çox fazlı struktura malik olur. Silikat şüşələrin belə laylanması onun strukturunun xarakter xüsusiyyətidir. İri kristallar əmələ gəlməsi ilə baş verən kristallaşma şüşənin möhkəmliyinə və şəffaflığına mənfi təsir göstərir. Şüşənin kimyəvi tərkibini və onun bişirilmə şəraitini tənzimləməklə kristallaşmanın qarşısını almaq mümkün olur.

Keramika mineral ovuntularının yüksək temperaturda bişirilməsi yolu ilə alınan materiala deyilir. Qızdırılma zamanı ilkin maddələr bir-biri ilə təsirlənərək kristallik və amorf struktur əmələ gətirir. Keramika, strukturunda kovalent və ya ion kristalları olan məsaməli materialdır. Bu kristallar mürəkkəb oksidlərdən, karbidlərdən və ya onların əsasında əmələ gəlmiş bərk məhlullardan ibarətdir.

Keramik materialın əsas xüsusiyyəti onun kövrək olmasıdır. Kristallar kiçik, məsaməlik az olduqda keramikanın dağılmaya müqaviməti böyüyür.

Metalların kristallaşması

Kristallaşma prosesinin mexanizmi

Metalların maye halından kristal quruluşlu bərk halına keçməsinə ilkin kristallaşma deyilir. Bərk kristallik maddənin daxilində yeni kristalların yaranma prosesinə isə ikinci kristallaşma deyilir.

Maddələrin üç aqreqat halında-bərk, maye və qaz halında olması fizikadan məlumdur. Maddənin bir aqreqat halından başkasına keçməsi tam müəyyən ərimə və ya qaynama temperaturunda baş verir.

Məlumdur ki, bərk kristallik maddələrdə atomlar (ionlar) maddənin bütün həcmində müəyyən qanunauyğunluqla kristal qəfəsin düyünlərində yerləşir. Başqa sözlə, bərk kristallik cismlərdə atomların uzaq düzülüşü qaydası mövcuddur. Mayelərdə isə qanunauyğun düzülüş bütün həcmdə yox, ancaq nisbətən dəyanətli qruplaşmalar və ya fluktuasiyalar təşkil edən az saylı atomlar qrupuna aiddir, başqa sözlə, yaxın düzülüş qaydası mövcuddur.

Bərk cismin temperaturu artdıqca düyünlərdəki atomların mütəhərrikliyi artır, onların rəqs amplitudası böyüyür, ərimə temperaturu sayılan müəyyən

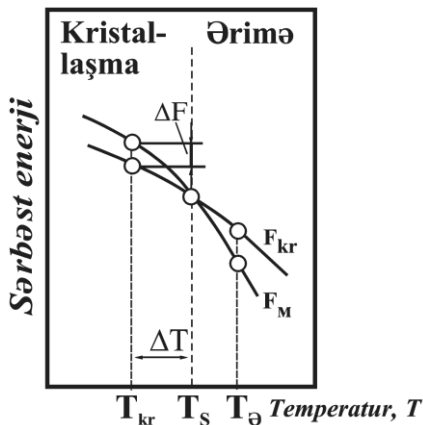
temperaturda atomlar düyünlərdən çıxır, kristal qəfəs dağılır və maye faza əmələ gəlir.

Mayenin soyuması və bərkiməsi zamanı isə əks proses baş verir. Atomların mütəhərrikliyi azalır və ərimə temperaturu yaxınlığında kristallarda olduğu kimi yerləşmiş atomlar qrupu yaranır. Temperatur aşağı düşdükcə bu qrupların dəyanəti artır və onlar kristallaşma mərkəzinə və ya kristal rüşeymlərinə çevrilir.

Termodinamikanın ikinci qanununa görə hər hansı sistem sərbəst enerjisinin minimum qiymətini almaya çalışır. Sərbəst enerji daxili enerjinin izotermik şəraitdə işə çevrilə bilən hissəsidir. O, temperatur dəyişdikdə, ərimə və bərkimə, polimorf çevrilmə və s. zamanı öz qiymətini dəyişir.

$$F = U - TS,$$

Burada F – sərbəst enerji;
 U – sistemin tam daxili enerjisi;
 T – temperatur;
 S – entropiyadır.



Kristallaşma prosesi yuxarıda göstərdiyimiz termodinamikanın ikinci qanununa tabedir. Belə ki, əgər bərk halın enerjisi azdırsa metal kristallaşır, maye halındakı azdırsa əriyir.

Şəkil 13-də maye və bərk halın enerjisinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir. Temperatur dəyişdikcə hər iki halın sərbəst enerjisi dəyişir. T_s temperaturunda hər iki halın sərbəst enerjisi bərabərdir. Ona görə də bu temperaturda ərimə və ya kristallaşma baş verə bilməz. Buna görə də T_s – müvazinət temperaturu adlanır.

Həqiqətdə kristallaşma ancaq $\Delta F = F_m - F_{kr}$ şəraitində, yəni enerjilər fərqinin əmələ gəlməsinə səbəb olan müəyyən ifrat soyumadan sonra başlayır (burada F_m – maye halın; F_{kr} – kristal halının sərbəst enerjisidir).

Kristallaşmanın başladığı temperatur kristallaşma temperaturu, $\Delta T = T_s - T_{kr}$ isə ifrat soyuma dərəcəsi adlanır. İfrat soyuma dərəcəsi çox olduqca

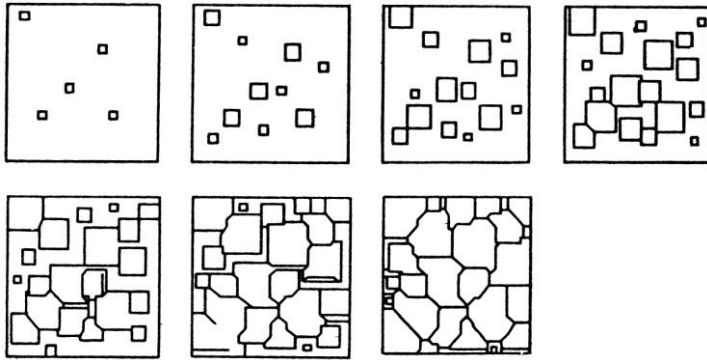
sərbəst enerjilər fərqi artır və kristallaşma daha intensiv gedir. Maddənin əriməsi üçün isə onu ərimə temperaturunadək ifrat qızdırmaq lazımdır.

Şəkil 14-də müxtəlif sürətlə soyuma prosesini xarakterizə edən termik əyrilər verilmişdir. Göründüyü kimi kiçik V_1 sürətində ifrat soyuma dərəcəsi çox kiçikdir və kristallaşma T_s müvazinət temperaturuna yaxın temperaturda gedir. Soyuma sürəti artdıqca soyuma dərəcəsi də artır və kristallaşma daha aşağı temperaturda gedir. Termik əyrilərin üfüqi hissəsi kristallaşma zamanı istilik ayrılması ilə izah olunur. İfrat soyuma dərəcəsi metalın təmizliyindən də asılıdır. Metal təmiz olduqca ifrat soyuma dərəcəsi artır.

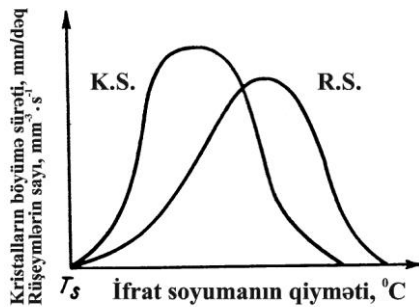
Kristallaşma prosesinə iki elementar prosesin – kristal rüşeymlərinin (mərkəzlərinin) yaranması və onların böyüməsi proseslərinin cəmi kimi baxıla bilər.

Kristallaşma temperaturuna yaxın temperaturda, yəni müvazinət temperaturundan bir qədər aşağı maye metalda atomların fluktuasiya adlanan kiçik qruplaşmaları yaranır. Bu qruplaşmalarda atomların bir hissəsindən kristal rüşeymləri və ya kristal mərkəzləri əmələ gəlir. İfrat soyuma dərəcəsi artdıqca vahid zaman ərzində əmələ gələn kristal mərkəzlərinin sayı da artır. Əmələ gəlmiş kristal mərkəzləri böyüməyə başlayır. Beləliklə, bir tərəfdən əmələ gəlmiş kristal mərkəzləri böyüyür, digər tərəfdən isə yeni kristal mərkəzləri əmələ gəlir.

Kristallaşma prosesi mərhələlərinin ardıcılığı sxematik olaraq şəkil 15-də verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi kristallar böyüdükcə biri-birilə toqqaşaraq düzgün həndəsi formasının itirir. Bu cür həqiqi kristallara



kristallit və ya dənə deyilir. Dənələrin ölçüsü kristal mərkəzlərinin əmələgəlmə və böyümə sürətlərindən asılıdır. Məsələn, maye metal torpaq qəlibə



və ya qızdırılmış metal qəlibə tökülərsə soyuma sürəti kiçik olar, nəticədə kristal mərkəzlərinin əmələ gəlmə sürəti kiçik, lakin böyümə sürəti çox olar. Bu halda kristalların sayı az, ölçüsü isə böyük olar. Soyuma sürəti, başqa sözlə ΔT artdıqda isə mərkəzlərin yaranma sürəti artır, bu isə daha çox sayda nisbətən kiçik kristalların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Kristal dənəsinin ölçüsünə maye metalın temperaturu, kimyəvi tərkibi, xüsusən kənar aşqarlar təsir edər.

Şəkil 16-da kristal rüşeymlərinin əmələ gəlməsi və onların böyüməsi sürətinin ifrat soyuma dərəcəsindən asılılığı göstərilmişdir. Bu şəkildə verilmiş əyriyə Tamman əyriləri deyilir.

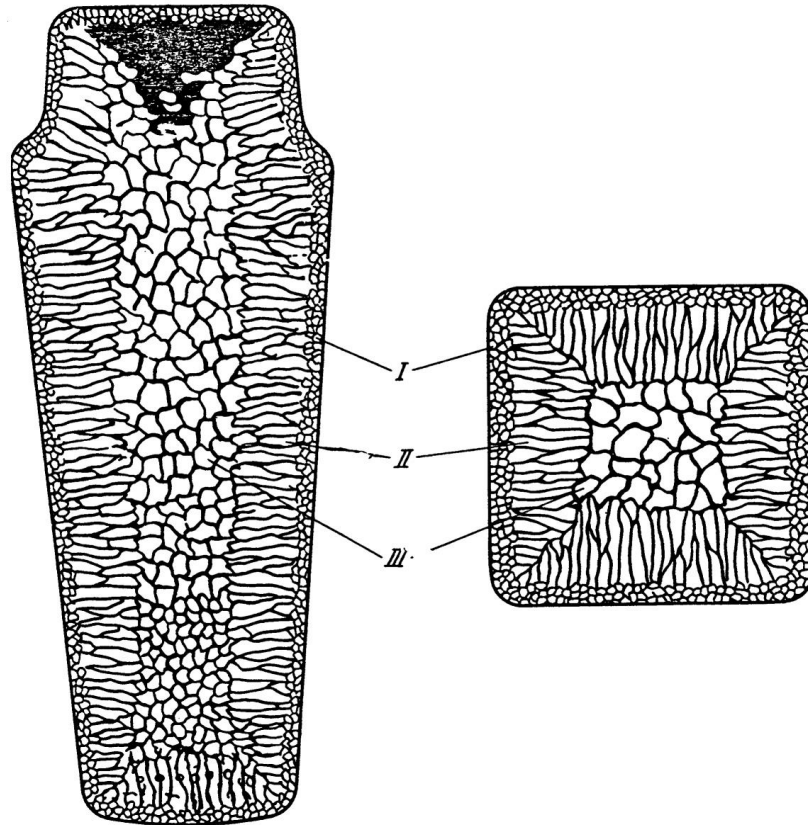
Yuxarıda təsvir edilən kristallaşma prosesi özbaşına kristallaşma adlanır. Real şəraitdə maye metal kristalların özbaşına əmələ gəlməsi çətindir. Çox zaman kristal rüşeymlərinin əmələ gəlməsi üçün mənbə rolunu bərk hissəciklər (qeyri-metal qarışıqlar, oksidlər və s.) oynayır. Bu hissəciklər çox olduqca, kristallaşma mərkəzlərinin sayı artır, dənələr kiçilir. Çox zaman maye metala kristallaşma zamanı dənələrin kiçilməsinə səbəb olan aşqarlar qatırlar. Bu əməliyyata modifikasiya etmə, aşqarlara isə modifikator deyilir. Alüminium, titan, vanadium və s. – poladdan ötrü, natrium, titan, sirkonium-alüminium ərintilərindən ötrü modifikator rolunu oynayır.

Sakit polad külçəsinin quruluşu

Metalin bərkiməsi zamanı əmələ gələn kristallar soyuma sürətindən, aşqarların miqdarından və xarakterindən asılı olaraq müxtəlif forma və ölçüdə ola bilər. Çox zaman kristallaşma prosesində dendrit adlanan ağacşəkilli kristallar əmələ gəlir. Şəkil 17 dendrit quruluşlu tökmə metalın makro- və mikrostrukturu üçün xarakterikdir.

Polad külçənin strukturu ilk dəfə 1878-ci ildə D.K.Çernov tərəfindən təsvir edilmişdir. Şəkil 18-də sakit polad külçəsinin quruluşu sxematik olaraq göstərilmişdir. Bu quruluşa üç zona kimi baxmaq olar: 1 – xarici xırdadənəli zona, 2 – sütunvari kristallar zonası, 3 – bərabəroxlu kristallar zonası.

Xarici xırdadənəli zona fəzada cəhətlənmiş xırda kristallardan təşkil olunur. Belə zonanın yaranması qızmar maye metalın soyuq qəlib səthi ilə görüşməsi nəticəsində ifrat soyuma ilə izah olunur. Yuxarıda göstəriləyi kimi bu zonada çox sayda kristallaşma mərkəzi əmələ gəlir və dənələr kiçik olur.



Şəkil 18. Sakit polad külçəsinin quruluşu

Xarici təbəqə («qabıq» zonası) yarandıqdan sonra istilik mübadiləsi üçün şərait dəyişir. Belə ki, qəlibin səthi qızır, istilikötürmə intensivliyi və «qabıq» zonası ilə maye metal arasında temperatur fərqi azalır, ifratsoyuma dərəcəsi aşağı düşür. Nəticədə sayca nisbətən az olan kristallaşma mərkəzlərindən istilikötürmə istiqamətində, yəni qəlibin səthinə perpendikulyar istiqamətdə sütunvari kristalların böyüməsi başlayır.

Nəhayət, külçənin mərkəzində istilikötürmə müəyyən istiqamətdə cəhətlənmiş olmur. Eyni zamanda kristallaşma zamanı mərkəzə doğru yönəldilmiş xırda bərk hissəciklər kristallaşma mərkəzi rolunu oynayır. Burada III zona – bərabəroxlu kristallar zonası yaranır.

Maye metal bərkiyən zaman intixablı (seçmə) kristallaşma gedir, yəni əvvəlcə daha təmiz metal kristallaşır, dənələrin sərhədləri isə müxtəlif aşqarlarla zənginləşir. Dənələr (dendritlər) çərcivəsində kimyəvi tərkibin bu cür qeyri-bərabərliyinə dendrit likvasiyası və ya kristaldaxili likvasiya deyilir.

Ərinti külçələri zonalar boyunca da müxtəlif tərkibə malik ola bilər. Məsələn, polad külçələrində səthdən özəyə doğru karbonun və zərərli qatışıqların – kükürdün və fosforun konsentrasiyası artır. Külçənin belə kimyəvi qeyri-bərabərliyi zona likvasiyası adlanır.

Bir sıra ərintilərdə maye və bərk fazaların sıxlıqlarının müxtəlif olması nəticəsində, həmçinin qarışmayan maye fazaların kristallaşması zamanı da likvasiya baş verir. Bərk fazanın sıxlığı kiçik olduqda üzə çıxır, böyük olduqda isə dibə çökür. Belə likvasiya qurquşun – sürmə, mis-qurquşun, sink-alüminium və s. ərintilərdə baş verə bilər. Bu növ likvasiya qravitasiya likvasiyası və ya sıxlığa görə likvasiya adlanır. Qeyd etmək lazımdır ki, kristallaşmış külçədə baş vermiş dendrit likvasiyasını termiki emal yolu ilə aradan qaldırmaq və ya zəiflətmək mümkündür. Lakin zona likvasiyası və qravitasiya likvasiyası yalnız kristallaşma prosesində müxtəlif texnoloji üsullarla aradan qaldırıla və ya zəiflədilə bilər. Sütunvari kristallar zonasında metalın sıxlığı nisbətən yüksək olur, lakin kristalların görüşmə yerində möhkəmlik aşağı düşür. Külçənin əsas qüsurları oturma (çökmə) koğuşlarından, məsaməlikdən və likvasiyadan ibarətdir. Oturma koğuşlarının və məsaməliklərin əmələ gəlməsi bərk metalın həcmnin maye metala nisbətən az olması ilə izah edilir.

2. Metallərin deformasiyası və mexaniki xassələri

Metal və ərintilərin xassələri

Metal və ərintilərin xassələrinə fiziki, kimyəvi, texnoloji və mexaniki xassələr aiddir.

Fiziki xassələrə sıxlıq, ərimə temperaturu, istilik tutumu, istilik keçiriciliyi, termik genişlənmə, maqnit xassələri, elektrik keçiriciliyi və s. aiddir.

Kimyəvi xassə anlayışı əsasən materialın başqa maddələrlə kimyəvi reaksiyaya girmə, oksidləşməyə müqavimət və s. kimi anlayışları əhatə edir. Metallərin xarici mühitlə qarşılıqlı kimyəvi təsirinə korroziya ən parlaq misal ola bilər.

Texnoloji xassələr materialın qızmar və soyuq emala uğradılma qabiliyyətini xarakterizə edir. Əridilmə və tökmədə, qızmar və soyuq deformasiya, kəsmə ilə emal, termiki emal və qaynaq vaxtı texnolojilik bu xassələrin kompleksini təşkil edir.

Müxtəlif məmulatları konstruksiya edərkən birinci növbədə materialın mexaniki xassələri əsas götürülür. Mexaniki xassələr materialın müxtəlif yük altında deformasiyaya və dağılmaya müqavimətini xarakterizə edir. Buraya möhkəmlik həddi, axıcılıq həddi, zərbə özlülüyü, yeyilməyə davamlılıq və s. kimi xassələr aiddir.

İstismar şəraitində materialın etibarlı və uzun müddəti işləməsini təmin edən xassələr kompleksi konstruktiv möhkəmlik adlanır.

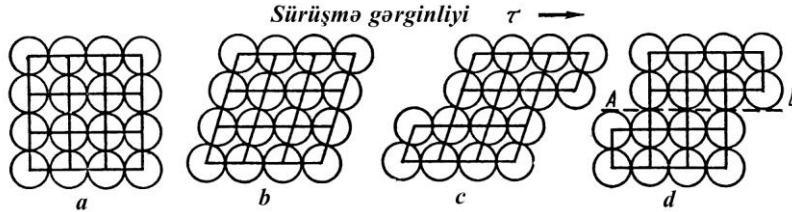
Materialların mexaniki xassələrini qiymətləndirərkən aşağıdakı meyarlar nəzərə alınmalıdır:

1. Məmulun konstruktiv xüsusiyyətindən və istismar şəraitindən asılı olmayan standart xassələr. Bu xassələr materialın dartılmaya, sıxılmaya, əyilməyə, zərbə özlülüyünə standart sınağı və bərkliyinin ölçülməsi yolu ilə təyin edilir.
2. Materialın konstruktiv möhkəmliyini qiymətləndirən meyarlar. Bu meyarlar materialın istismar şəraitində iş qabiliyyətini səciyyələndirir. Metal materialların konstruktiv möhkəmlik meyarlarını iki qrupa bölmək olar. Birinci qrupa metal materialın qəfil dağılmaya qarşı etibarlılığını (dağılma özlülüyü, çatlarn böyüməsi prosesində udula bilən enerji və s.) müəyyən edir. İkinci qrupa isə məmulun uzunömürlülüyünü müəyyən edən meyarlar (yorulmaya müqavimət, yeyilməyə davamlılıq, korroziyaya davamlılıq və s.) aiddir.
3. Konstruksiyanın möhkəmliyini bütünlükdə qiymətləndirən meyarlar. Stend sınaqları, natura və istismar sınaqları ilə təyin edilən bu amillərə

qalıq gərginliklərin paylanma xarakteri və qiyməti, məmulatın hazırlanma və konstruksiya edilmə qüsurları və s. aiddir.

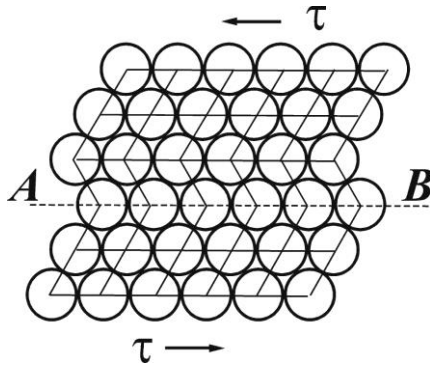
Elastik və plastik deformasiya

Cismə tətbiq edilmiş qüvvələrin təsiri altında onun forma və ölçülərinin dəyişməsinə deformasiya deyilir. Qüvvənin təsiri kəsildikdən sonra aradan



Шякил 19. Сүрүшмя иля пластик деформасийанын схеми: а – кристалын илкин вязиййяти; б – еластик деформасийа олунмуш вязиййят; в – еластик вя пластик деформасийа олунмуш вязиййят; д – АБ мцстявиси цзря галыг пластик

qalxan deformasiyaya elastik deformasiya deyilir. Əgər qüvvə təsiri



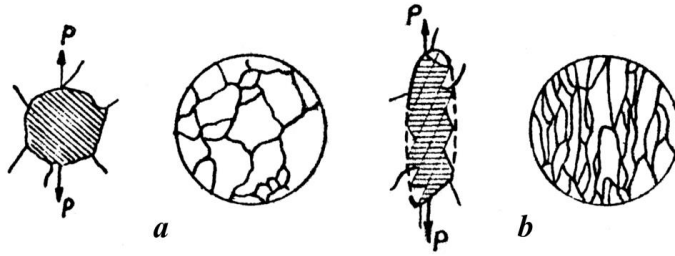
kəsildikdən sonra deformasiya qalarsa belə deformasiya plastik deformasiya adlanır.

Fiziki mahiyyətinə görə elastik və plastik deformasiya bir-birindən kəskin fərqlənir. Elastik deformasiya zamanı atomların kristal qəfəsindəki müvazinət vəziyyətinə nisbətən yerdəyişməsi dönərli yerdəyişmədir, yəni qüvvə təsiri kəsildikdən sonra atomlar əvvəlki müvazinət vəziyyətinə qayıdır, kristallar ilkin forma və ölçülərini bərpa edir. Elastik deformasiya metalın strukturunda və xassələrində qalıq dəyişikliklərinə səbəb olmur.

Plastik deformasiya kristalın bir hissəsinin başqa hissəsinə nisbətən dönməz yerdəyişmələri ilə əlaqədardır. Qüvvə təsiri kəsildikdən sonra deformasiyanın yalnız elastik hissəsi aradan qalxır. Plastik deformasiyaya uğraya bilmə qabiliyyəti, yəni plastiklik metallara bir sıra qiymətli xassələr verir. Belə ki, plastiklik sayəsində metalların təzyiqlə emalı mümkündür. Plastiklik yerli gərginliklərin materialın bütün həcmi böyünca paylanmasına imkan verir və dağılma təhlükəsini azaldır.

Metalların sürüşməyə müqaviməti dartılmaya və sıxılmaya müqavimətinə nisbətən az olur. Ona görə də adətən plastik deformasiya prosesinə kristalın bir hissəsinin başqa hissəsinə nəzərən sürüşməsi kimi baxılır. Sürüşmə nəticəsində kristal quruluşu dəyişməyərək əvvəlki kimi qalır (şəkil 19).

Plastik deformasiya olunma mexanizminin başqa növü əkizləşmədir (şəkil 20). Burada da deformasiya sürüşmə hesabına baş verir, lakin kristalın sürüşən hissəsi sürüşməyən hissəsinin güzgüdə əksi kimi yer tutur.



Polikristallik metalın plastik deformasiyası hər bir kristal dənəsinin sürüşmə və ya əkizləşmə ilə deformasiyası yolu ilə gedir. Deformasiya dərəcəsi böyük olduqda kristal dənələri formasını dəyişir. Belə ki, əgər deformasiyaya qədər kristal dənələri girdə idilərsə (şəkil 21.a), deformasiya nəticəsində dənələr sürüşmə müstəviləri boyunca qüvvə təsiri istiqamətində uzanaraq lifli və ya təbəqəli struktur əmələ gətirir (şəkil 21.b). Dənələrin formasının dəyişməsilə yanaşı, onların daxilində blokların parçalanması da baş verir.

Deformasiya dərəcəsi böyük olduqda dənələrin nəzərə çarpacaq kristalloqrafik cəhətlənməsi əmələ gəlir. Xarici qüvvə təsiri altında belə cəhətlənməyə deformasiya teksturası deyilir. Həm də deformasiya dərəcəsi böyük olduqca tekstura da böyük olur. Teksturanın xarakteri metalın özünün təbiətindən və deformasiyanın növündən (yayma, dartma və s.) asılı olur. Tekstura əmələ gəlməsi metalın mexaniki və fiziki xassələrinin anizotropiyasına səbəb olur.

Soyuq deformasiya dərəcəsi artdıqca metalın deformasiyaya müqavimətini xarakterizə edən xassələri (σ_m , $\sigma_{0,2}$, bərklik və b.) artır, plastik deformasiya olunma qabiliyyəti (ψ və δ), yəni plastikliyi azalır. Plastik deformasiya nəticəsində metalın möhkəmliyinin artmasına döyənəklənmə deyilir.

Metalların dağılması

Gərginliyin kifayət qədər böyük qiymətlərində deformasiya materialın dağılması ilə nəticələnir. Dağılma prosesi iki mərhələdən çat yaranması və onun nümunənin kəsiyi boyunca yayılması mərhələlərindən ibarətdir.

Dağılma ərəfəsində plastik deformasiyanın dərəcəsindən asılı olaraq dağılmanı kövrək dağılma və özlü dağılmaya bölürlər. Özlü dağılmada metal dağılmadan qabaq xeyli plastik deformasiyaya uğrayır. Kövrək dağılmada

isə dağılma ya plastik deformasiyasız, ya da onun çox kiçik qiymətində baş verir.

Kövrək və özlü dağılmanı – dağılmaya sərf olunan iş (enerji tutumu), çətin və sınıq səthinin vəziyyəti və çətin yayılma sürəti xarakterizə edir.

Bilavasitə dağılmaya sərf olunan iş kövrək dağılmada özlü dağılmaya nisbətən xeyli az olur. Kövrək dağılma sistemdə toplanmış elastik enerjinin hesabına xaricdən əlavə enerji tətbiq edilmədən, öz-özünə baş verir. Özlü dağılmada isə cismə fasiləsiz xarici enerji verilməlidir. Bu enerji cismin plastik deformasiyasına sərf edilir.

Kövrək dağılma çətin çox böyük yayılma sürətilə xarakterizə olunur. Özlü çətin yayılma sürəti isə kiçikdir və əsasən gərginliklərin artma sürətindən asılıdır.

Kövrək dağılmada sınığın səthi parlaq hamar sahələrlə xarakterizə olunur. Özlü dağılmada isə dağılma səthi tutqun, plastik deformasiyadan yaranmış lifli görkəm alır.

Əslində tam kövrək və ya tam özlü dağılma yox, qarışıq dağılma baş verir.

Eyni material deformasiya şəraitindən, təsir edən amillərdən asılı olaraq həm kövrək, həm də özlü dağılmaya uğraya bilər, həmin amilləri xarici və daxili amillərə bölmək olar. Xarici amillərə temperatur, gərginlik konsentratorlarının tipi, yükləmə şəraiti və yükləmə sürəti, detalın forma və ölçüləri, daxili amillərə isə materiala xas olan kristal qəfəsinin tipi, materialın tərkibi, onun emal texnologiyasından asılı olaraq quruluşu (strukturu) aiddir.

Bir sıra metallar (*Fe, Mo, W, Zn* və b.) temperaturdan asılı olaraq həm kövrək, həm də özlü dağılmaya uğraya bilər. Temperaturun aşağı düşməsi nəticəsində meydana gələn kövrək dağılma hadisəsinə soyuqsınma deyilir. Soyuqsınma A.F.İoffenin təklif etdiyi sxemə uyğun olaraq yaxşı izah edilə bilər (şəkil 22). Belə ki, temperaturun dəyişməsi dağıdıcı gərginliyə (1) demək olar ki, təsir göstərmədiyi halda, axıcılıq həddinə (2) ciddi təsir göstərir. $T_{s.h.}$ – soyuqsınma həddi temperaturu və ya ifrat kövrəklik temperaturu adlanır. Bu temperaturdan yuxarı özlü, aşağı temperaturda isə kövrək dağılma baş verir.

Qızmanın deformasiya olunmuş metalın strukturuna və xassələrinə təsiri

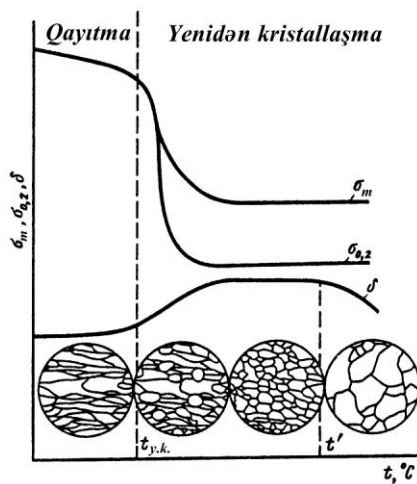
Yuxarıda (2.2) qeyd edildiyi kimi plastik deformasiya edilmiş metalın fiziki-mexaniki xassələri nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişir. Döyənəkli metalda kristal quruluşun qüsurları artır, daxili gərginliklər əmələ gəlir ki, nəticədə metalın sərbəst enerjisi artır, o dəyanətsiz qeyri-müvazinət halı alır. Təbii ki,

otaq şəraitində uzun müddət saxlama, xüsusən qızma, metalın strukturunun müvazinət halına qayıtmasına səbəb olur.

Deformasiya olunmuş (döyənəkli) metal qızdırılarkən onun deformasiyaya qədərki xassələrini bərpa edən qayıtma, poliqonlaşma və yenidən kristallaşma (rekristallizasiya) prosesləri baş verir.

Hər şeydən əvvəl bir qədər qızdırdıqda (məsələn, dəmiri 400 °C – qızdırdıqda) kristal qəfəsin pozuqluğu aradan qalxır, dislokasiyaların və vakansiyaların sıxlığı, həmçinin daxili gərginliklər azalır. Lakin metalın strukturunda nəzərə çarpacaq dəyişikliklər baş vermir, dənələr uzadılmış formada qalır. Bu prosesə qayıtma deyilir. Qayıtma mütləq şkala ilə 0,2 T_{θ} -dən (T_{θ} – ərimə temperaturudur) bir qədər aşağı qızdırıldıqda baş verir.

Qayıtma prosesində izafi vakansiyalar və düyünlərarası atomlar dislokasiyalar tərəfindən udulur. Bundan əlavə vakansiyaların dənələrin kənarına doğru axması baş verir və onların konsentrasiyası azalır. Qayıtma prosesində metalın fiziki xassələri əvvəlki qiymətini alsa da mexaniki



xassələr kompleksi demək olar ki, dəyişmir. Poliqonlaşma qayıtmanın ikinci mərhələsi olub kristallitlərin kiçikbucaqlı sərhədləri olan subdənələrə (poliqonlara) fraqmentlənməsindən ibarətdir.

Metalın temperaturu bir qədər də artdıqda döyənəkli metalda mikrostruktur dəyişiklikləri baş verir (şəkil 23). Belə ki, atomların mütəhərrikliliyi artır, cəhətlənmiş lifli struktur əvəzinə yeni bərabəroxlu kristallar əmələ gəlir. Bu prosesə yenidən kristallaşma deyilir. Yenidən kristallaşma iki mərhələdə gedir – ilkin yenidən kristallaşma və ya emal yenidən kristallaşması və toplayıcı

yenidən kristallaşma.

Şəkil 23-dən görüldüyü kimi $t_{y.k.}$ – ilkin yenidən kristallaşma temperaturunadək kristallar deformasiyaya uğramış şəklini saxlayır, $t_{y.k.}$ – temperaturundan sonra deformasiya olunmuş materialda yeni dənə rüşeymləri əmələ gəlir və böyüməyə başlayır.

Beləliklə, bu prosesdə əvvəlki kristallar bərpa olunmayaraq tamamilə yeni kristallar əmələ gəlir. Yeni kristalların ölçüsü əvvəlkilərdən xeyli fərqlənə bilər. Deformasiya olunmuş metalda səmtlənmiş lifli struktur əvəzinə yeni bərabəroxlu kristallar əmələ gəlməsi ilkin yenidən kristallaşma və ya emal

yenidən kristallaşması, prosesin başlanğıc $t_{y.k.}$ – temperaturu isə yenidən kristallaşma (rekristallizasiya) astanası temperaturu adlanır.

İlkin yenidən kristallaşma nəticəsində döyənəklik praktiki olaraq tam aradan qalxır, metalın xassələri əvvəlki qiymətinə yaxınlaşır.

Yenidən kristallaşma astanası temperaturu – $t_{y.k.}$ deformasiya dərəcəsi, qızdırma müddətindən, dənələrin ölçüsündən, həmçinin metalın təmizliyindən asılı olur. A.A.Boçvar qaydasına görə $T_{y.k.} = \alpha T_{\theta}$ (T_{θ} – ərimə temperaturudur). Texniki təmiz metallar üçün $\alpha = 0,3-0,4$; ərintilər üçün $\alpha = 0,5-0,6$.

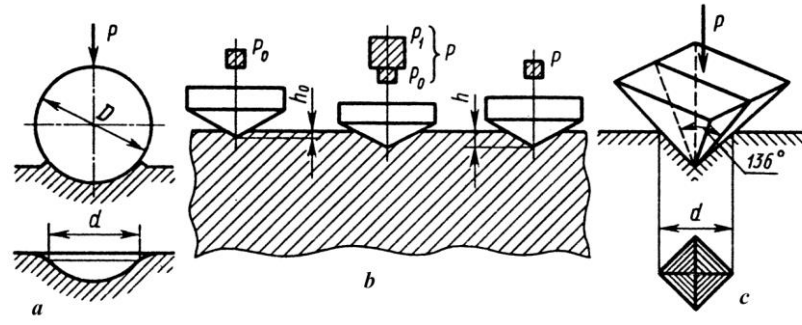
Döyənəyi tamamilə aradan qaldırmaq üçün metalı daha yüksək temperaturadək qızdırırlar. Bu, yenidən kristallaşmanın sürətlə və tam keçməsinə təmin edir. Belə termiki emal yenidən kristallaşma tabalması adlanır.

İlkin yenidən kristallaşma başa çatdıqdan sonra qızma prosesi davam etdikcə metalın bir dənəsi başqa dənənin hesabına böyüməyə başlayır. Yenidən kristallaşma dənələrinin böyümə prosesi toplayıcı yenidən kristallaşma adlanır. Şəkil 23-dən görüldüyü kimi müəyyən t' temperaturundan sonra dənələrin sürətlə böyüməsi başlayır, başqa sözlə yenidən kristallaşma prosesində ifrat qızma baş verir. Bunun nəticəsində isə metalın plastikliyi azala bilər.

Metalın deformasiya edilmə temperaturu ilə yenidən kristallaşma temperaturu arasındakı nisbətdən asılı olaraq deformasiya soyuq və qızmar deformasiyaya bölünür. Yenidən kristallaşma temperaturundan aşağı temperaturdakı deformasiya soyuq deformasiya adlanır. Bu zaman metalda döyənəklənmə baş verir və onun möhkəmliyi artır. Qızmar deformasiya isə yenidən kristallaşma temperaturundan yuxarı temperaturda aparıldığı üçün baş vermiş döyənəklənmə soyuma prosesində aradan qalxır və beləliklə metalın möhkəmliyi artmır.

Brinell, Rokvell və Vickers üsulu ilə bərkliyin təyini

Metalların xarici yük təsirinə dözümlüyü onların mexaniki xassələri müəyyən edir. Mexaniki xassələr hər bir material üçün yükləmənin həddini müəyyən etməyə, müxtəlif metalların möhkəmliyini müqayisə etməyə, metalın keyfiyyətinə nəzarət etməyə imkan verir. Metalların mexaniki xassələrinə adətən möhkəmliyi, bərkliyi, elastikliyi, plastikliyi, kövrəkliyi və s. aid edirlər.



Şəkil 24. Brinell (a), Rokvell (b) və Vickers (c) üsulu ilə bərkliyin təyini sxemi

Mexaniki xassələrin ən çox yayılmış sınaq üsulları statik dartılma, bərkliyin öyrənilməsi və dinamik sınaq üsullarıdır.

Statik dartılma sınağı ilə möhkəmlik və axıcılıq həddi, elastikiyyət modulu, nisbi uzanma və sıxılma, başqa sözlə möhkəmlik, elastiklik və plastiklik xarakteristikaları materiallar müqaviməti kursunda öyrənilir. Ona görə də burada sınaq üsullarına baxılır.

Metalların mexaniki xassələrinin öyrənilməsinin ən sadə üsulu bərkliyin təyini. Bərklik materialın səth təbəqəsinə kontakt təsiri zamanı plastik deformasiyaya müqavimət göstərmə xassəsinə deyilir. Bərkliyi əsasən Brinell, Rokvell və Vickers üsulları ilə təyin edirlər.

Bərkliyin Brinell üsulu ilə təyini polad kürenin sabit yük altında sınılan nümunəyə basılmasına əsaslanır (şəkil 24.a). Yük götürüldükdən sonra nümunənin səthində küreciyin izi qalır. Əgər kürenin diametri D və nümunənin səthində izin diametri d ilə ifadə edilərsə, Brinellə görə bərklik:

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

olar.

Bərkliyi hesablamaq üçün izin diametrini ölçmək, sonra isə cədvəldən həmin diametrə uyğun bərkliyi tapmaq lazımdır. Brinell üsulu ilə bərkliyi 450 HB -dən çox olan metalların sınağı məsləhət görülmür. Çünki bu zaman kürecik özü deformasiya oluna bilər və sınağın nəticəsi düz olmaz. Brinell üsulu ilə bərklik TB və ya $TŞ$ tipli cihazlarla təyin edilir.

Rokvell üsulu ilə bərkliyin təyini üçün nümunənin səthinə təpə bucağı 120° olan almaz konus və ya diametri 1,58 mm olan tablandırılmış polad küre basılır (şəkil 24.b). Belə ki, bərkliyi çox olan metalların sınağı üçün almaz

konusdan, nisbətən yumşaq metallar üçün isə polad küredən istifadə edirlər.

Rokvell üsulu ilə bərklik izin dərinliyini ölçməklə tapılır, həm də Rokvellə görə bərklik ölçüsüz kəmiyyət olub sınaq üsulundan asılı olaraq *HRA* (A şkalası üzrə sınaq), *HRC* (C şkalası üzrə sınaq) və *HRB* (B şkalası üzrə sınaq) işarələnilir. Sınaq *TR* tipli cihazda aparılır.

A şkalası qalınlığı kiçik (0,5-1,0 mm) olan səth qatlarının və çox bərk materialların; B şkalası nisbətən yumşaq (<400 HB), C şkalası isə bərkliyi >450 HB olan materiallar üçün istifadə edilir.

Vickers üsulu ilə bərkliyin təyini zamanı nümunənin səthinə *F* yükü təsirilə düzgün dördüzlü piramida şəkilli almaz ucluq basılır və alınmış izin diaqonal – *d* ölçülür (şəkil 24.c).

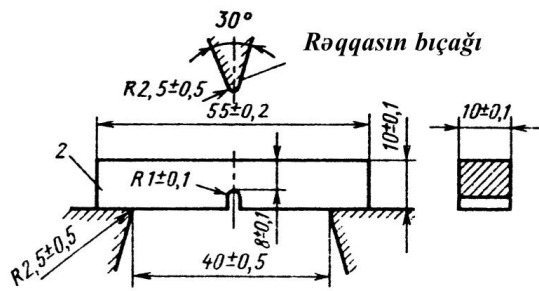
Vikkersə görə bərklik,

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2}$$

düsturu ilə hesablanır (*F* – kqg ilə götürülür).

Bu üsul qalınlığı az olan detalların və ya nazik səth təbəqələrinin yüksək bərkliyini ölçmək üçün tətbiq edilir.

Nazik örtük qatlarının, struktur təşkiledicilərinin, həmçinin çox kiçik detalların bərkliyini təyin etmək üçün mikrobərklik ölçülür. Bu üsulla sınaq almaz piramidanı kiçik yük altında basmaq üçün mexanizmlə təchiz edilmiş *PMT* tipli metalloqrafik mikroskopda aparılır.



Metalın kövrək dağılmaya meylini aşkar etmək üçün onun zərbə özlülüyünü təyin edirlər. Bu üsul ortasında gərginlik konsentratoru olan nümunənin rəqqaslı kopyorun bir zərbəsilə qırılmasına əsaslanır (şəkil 25). QOST 9454-78-ə uyğun olaraq zərbə özlülüyü *KCU*, *KCV*

və ya *KCT* ilə işarələnilir. *KC* bilavasitə zərbə özlülüyünün əlaməti, *U*, *V*, *T* isə gərginlik konsentratorunun şəklidir (*U* şəklində gərginlik konsentratorunun radiusu $1 \pm 0,07$ mm, *V* – şəklində $0,25 \pm 0,025$ mm-dir, *T* – şəklində isə nümunədə çat olur).

İş prosesində uzun müddət dəyişən yük təsirinə məruz qalan metal nəinki σ_m gərginliyindən aşağı, hətta $\sigma_{0,2}$ gərginliyindən aşağı gərginlikdə sınaq bilər. Metalın təkrar və ya işarəsidəyişən yük altında dağılması yorulma adlanır. Metalın yorulmaya müqavimət qabiliyyətinə isə davamlılıq deyilir.

Davamlılıq həddi dedikdə, elə gərginlik nəzərdə tutulur ki, o t sikli ərzində nümunənin dağılmasına səbəb olmur. Davamlılıq həddi σ_R ilə işarə olunur. $R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$ – asimmetriya əmsalı adlanır, σ_{min} və σ_{max} qiymətcə bərabər, işarəcə əks olduqda $R = -1$ olur. Belə t sikli simmetrik sikl adlanır, davamlılıq həddi isə σ_{-1} ilə işarələnir.

3. Metal ərıntilərinin quruluşu və hal diaqramları

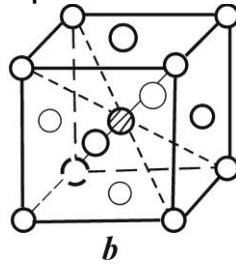
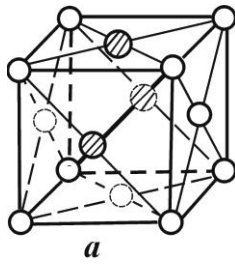
Ümümi anlayış

Ərintinin müəyyən tərkib, xassə, kristal qəfəs tipi, aqreqat vəziyyətilə xarakterizə olunan və onun başqa hissələrindən ayrılma səthilə ayrılan eynicinsli hissəsinə faza deyilir.

Ərintilərdə maye məhlul, bərk təmiz element, bərk məhlul, kimyəvi birləşmə kimi fazalar əmələ gələ bilər. Fazaların sayından asılı olaraq ərintilər birləzalı, ikifazalı və çoxfazalı ola bilər.

Ərintinin komponentlərindən biri öz kristal qəfəsini saxlayır, digər komponentin və ya komponentlərin atomları birincinin qəfəsində yerləşərsə belə fazaya bərk məhlul deyilir. Bərk məhlul homogen sistemdir və onun daxilində ayrılma səthi yoxdur.

Bərk məhlullar əvəzləmə və yerləşmə bərk məhlullarına ayrılır (şəkil 26). Əvəzləmə bərk məhlulu əmələ gəldikdə həll olunan komponentin atomları həlledicinin kristal qəfəsində onun atomlarını əvəz edir (şəkil 26.a).



Yerləşmə bərk məhlulunda isə həll olunan komponentin atomları həlledicinin kristal qəfəsinin qovşaqlar arasındakı boşluqlarında yerləşir.

Bərk məhlul əmələ gələrkən bütün hallarda kristal qəfəs təhrif olunur, həm də yerləşmə bərk məhlulu əmələ gəldikdə kristal qəfəsin periodunun artması (genişlənmə) baş verirsə, əvəzləmə bərk məhlulu yaranarkən kristal qəfəsin periodu həm kiçilə, həm də böyüyə bilər. Bu, həll edici komponentin atom radiusu ilə həll olan komponentin atom radiusu arasındakı nisbətdən asılıdır.

Bütün metallar biri-birində müəyyən qədər həll ola bilirlər. Məsələn, mis alüminiumda 6,5%-ə qədər, sink misdə 39%-ə qədər, mis nikeldə qeyri-məhdud və s. həll ola bilər. Həllolma dərəcəsindən asılı olaraq əvəzləmə bərk məhlullarını qeyri-məhdud və məhdud məhlullara bölmək olar. Qeyri-məhdud məhlullar aşağıdakı şərtlərdə əmələ gəlir:

1. Komponentlərin kristal qəfəsləri eyni tipli olmalıdır.
2. Atomların (ionların) radiusları arasındakı fərq 9-15% - dən çox olmamalıdır (Yum-Rozeri qaydası).
3. Komponentlər elementlərin dövrü sisteminin eyni qrupuna və ya qonşu qruplara aid olmalıdır.

Qeyri məhdud əvəzləmə bərk məhlullarına *Cu-Ni*, *V-Ti*, *Mo-W* və s. sistemləri misal göstərmək olar.

Yerləşmə bərk məhlulu yalnız həll olunan komponentin atom radiusu həlledici atom radiusuna nisbətən kiçik olduqda yarana bilər. Belə bərk məhlullar adətən karbon, azot, hidrogen kimi atom radiusu kiçik olan elementlərin metallarda həll olmasından əmələ gəlir. Yerləşmə bərk məhlulunun əmələ gəlməsi kristal qəfəsinin periodunun böyüməsinə səbəb olur. Yerləşmə bərk məhlulları yalnız məhdud həll olan ola bilər.

Kimyəvi birləşmələr normal valentlik əsasında yaranır. Onları bərk məhlullardan fərqləndirən əsas xüsusiyyətlər aşağıdakılardır:

1. Kimyəvi birləşmənin kristal qəfəsi onu təşkil edən komponentlərin qəfəslərindən fərqlənir.
2. Birləşmədə elementlərin kütlə nisbəti həmişə tam olur. Bu da kimyəvi birləşməni A_nB_m tipli düsturla ifadə etməyə imkan verir.
3. Kimyəvi birləşmənin xassələri onu təşkil edən komponentlərin xassələrindən kəskin sürətdə fərqlənir.
4. Birləşmənin ərimə temperaturu sabitdir, bərk məhlulun əriməsi isə müəyyən temperatur intervalında baş verir.
5. Kimyəvi birləşmənin əmələ gəlməsi istilik effekti ilə müşayiət olunur.

Normal valentli kimyəvi birləşmələrin tipik nümunəsi maqneziumun dövrü sistemin IV-VI – qrup elementləri ilə birləşməsidir (Mg_2Sn , Mg_2Pb , Mg_2Pb_2 , Mg_3Sb_2 , MgS və s.). Bir metalın başqası ilə əmələ gətirdiyi birləşmə **intermetallid** və ya **intermetallid birləşmə** adlanır. Belə birləşmələrdə atomlar arasında əsasən metallik rabitə tipi mövcud olur. Metalların qeyri-metallarla birləşməsində (nitridlər, karbidlər və s.) metallik rabitə olarsa, belə birləşmələr **metallik birləşmə** adlanır.

Ərintilərdə əmələ gələn kimyəvi birləşmələrin mühüm formaları aşağıdakılardır.

Yerləşmə fazaları. *Fe*, *Mn*, *Cr*, *Mo* və s. kimi keçid metalları atom radiusları nisbətən kiçik olan karbon, azot, bor, hidrogenlə karbid, nitrid, borid və hidrid tipli birləşmələr əmələ gətirir. Quruluş və xassələri müəyyən ümumiliyə malik olan belə birləşmələr yerləşmə fazaları adlanır. yerləşmə fazaları M_4X (Fe_4N , Mn_4N və s.), M_2X (W_2C , Mo_2C , Fe_2N və s.), MX (WC , VC , TiC , TiN , VN və s.) düsturu ilə ifadə oluna bilər.

Yerləşmə fazalarının kristallik strukturu qeyri-metal (R_x) və metalın (R_m) atom radiuslarının nisbəti ilə müəyyən olunur. $R_x/R_m < 0,59$ olduqda bu fazalarda atomlar kubik və ya heksaqonal tipli kristal qəfəslərdə yerləşir, qeyri-metal atomlar isə qəfəsin boşluqlarına dolur.

Yerləşmə fazaları temperaturun artması ilə azalan yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olur. Yerləşmə fazalarına aid olan karbidlərin ərimə temperaturu yüksək olur. Bir sıra yerləşmə fazaları yüksək bərkliklə xarakterizə olunur.

Birləşmədə $R_x/R_m < 0,59$ şərti yerinə yetirilmədikdə mürəkkəb kristal qəfəslı birləşmə əmələ gəlir. Belə birləşmələr yerləşmə fazası adlandırılıla bilməz. Belə birləşmələrdə kristal qəfəsinin bəzi düyünləri komponentlərdən birinin atomları ilə tutulmur. Onlara **çixılma bərk məhlulu** deyilir. Çixılma bərk məhlulları VC , TiC , ZrC , NbC kimi karbidlərdə əmələ gələ bilər. Bu karbidlərdə M_nX_m stexiometrik nisbəti ilə müqayisədə komponentin biri digərindən artıq olur.

Elektron birləşmələri. Bu birləşmələr Cu , Ag , Au , Li , Na kimi metallar və ya keçid qrupu metalları ilə (Mn , Fe , Co və s.) valentliyi 2-5 olan Be , Mg , Zn , Cd , Al və s. kimi metallar arasında yaranır.

Elektron birləşmələri elektron konsentrasiyasının (elementar qəfəsə düşən bütün valent elektronlarının qəfəsdəki atomların ümumi sayına nisbəti) qiyməti ilə xarakterizə olunur. Bu qiymət $3/2$, $21/13$, $7/4$ kimi nisbətlə ifadə olunur.

$3/2$ elektron konsentrasiyalı birləşmələr həcmi mərkəzli kub, mürəkkəb kub və ya heksaqonal qəfəsə malik olur və β -faza kimi işarələnir. Belə birləşmələrə $CuBe$, $CuZn$, Cu_3Al , Cu_5Sn , $CoAl$, $NiAl$, $FeAl$ kimi birləşmələr aiddir.

$21/13$ elektron konsentrasiyalı birləşmələr mürəkkəb qəfəsə malik olur və γ -faza olaraq işarələnir. Xarakter birləşmələrə Cu_5Zn_8 , Cu_5Cd_8 , Fe_5Zn_{21} , Co_5Zn_{21} -i misal göstərmək olar.

$7/4$ elektron konsentrasiyalı birləşmələr six yerləşmiş heksaqonal qəfəsə malik olur və ε -faza kimi işarələnir. Bu birləşmələrə $CuZn_3$, $CuCd_3$, Cu_3Si , Cu_3Sn və s. aiddir.

Bir sıra hatlarda komponentlər biri-birində həll olmur və ya kimyəvi birləşmə əmələ gətirmir. Bu halda ərintinin strukturunu ayrı-ayrı komponentlərin kristallarından ibarət mexaniki qarışıq təşkil edir.

Ərintidə komponentlərin qarşılıqlı təsirindən və başqa amillərdən asılı olaraq fazaların forması, ölçüsü və yerləşməsi müxtəlif ola bilər. Bu da ərintinin strukturunu müəyyən edir. Ərintinin strukturu mikroanaliz vasitəsilə müəyyən edilir.

Metal ərintilərinin hal diaqramları

Materialşünaslıq kursunun bir sıra məsələlərinin öyrənilməsi ərintilərin hal diaqramları ilə əlaqədardır. Hal diaqramı müvazinət şəraitində faza tərkibinin temperaturdan və konsentrasiyadan asılılığının qrafik təsvirinə deyilir. Bu diaqrama bəzən faza müvazinəti diaqramı da deyirlər.

Hal diaqramları olduqca yavaş soyuma və ya qızma şəraitində faza çevrilmələrini müəyyən etməyə, bütün çevrilmələr baş verdikdən sonra ərintinin son vəziyyətini xarakterizə etməyə imkan verir. Hal diaqramları termiki emal rejimlərini, təzyiqlə emalın optimal temperatur intervallarını və s. təyin etməyə imkan verir.

Ərintinin vəziyyəti xarici şəraitdən (temperatur, təzyiq) asılı olub əmələ gələn fazaların sayı və onların konsentrasiyası ilə xarakterizə olunur. Fazaların sayının dəyişmə qanunauyğunluğu faza qaydası ilə müəyyən edilir. Faza qaydası sistemin sərbəstlik dərəcəsi, komponentlərin sayı və müvazinətdə olan fazalar arasındakı asılılığı ifadə edir:

$$C = K + 2 - F,$$

burada C – sistemin sərbəstlik dərəcəsi (və ya variantlıq);

K – sistemi təşkil edən komponentlərin sayı;

F – müvazinətdə olan fazaların sayı;

2 – xarici amillərin (temperatur və təzyiq) sayıdır.

(Adətən proseslər sabit təzyiq altında getdiyi üçün xarici amillərin sayı 1 götürülür).

Sərbəstlik dərəcəsi (sistemin variantlığı) müvazinətdə olan fazaların sayı dəyişmədən temperaturun və konsentrasiyanın (təzyiq sabit qalmaq şərti ilə) dəyişməsi mümkünlüyünü göstərir.

Təzyiq sabit qaldıqda $C=K+1-F$ olur. Məlumdur ki, $C \geq 0$ olmalıdır, başqa sözlə $K+1-F \geq 0$ və $F \leq K+1$, yəni fazaların sayı ən çoxu komponentlərin sayından bir vahid artıq ola bilər. İki komponentli sistemdə $K=2$ olduğu üçün $F \leq K+1=3$ olur. Yəni belə sistemdə fazaların sayı 3-dən artıq olmur.

Fazaların sayı maksimum qiymətə, üçə bərabər olarsa, sərbəstlik dərəcəsi $C=0$ olar. Belə sistemə nonvariantlı (yəni variantsız) sistem deyilir. Bu sistemdə fazaların müvazinəti konkret şəraitdə – sabit temperatur və fazaların dəyişməz konsentrasiyası şəraitində mövcud olur. Başqa sözlə

faza çevrilməsi sabit bir temperaturda başlayır və həmin temperaturda da başa çatır.

Ərintilərin hal diaqramları adətən eksperiment əsasında qurulur. Bunun üçün termiki analiz, dilatometrik analiz, mikroanaliz və s. usullardan istifadə edilir. Termiki analiz üsulunda soyuma və qızma termiki ayrıləri qurulur. Həmin ayrılərin duruş və dönmə nöqtələri çevrilmənin istilik effekti ilə əlaqədar olub çevrilmə temperaturunu göstərir. Hal diaqramları adətən iki komponentli, bəzən isə üç komponentli ərintilər üçün qurulur.

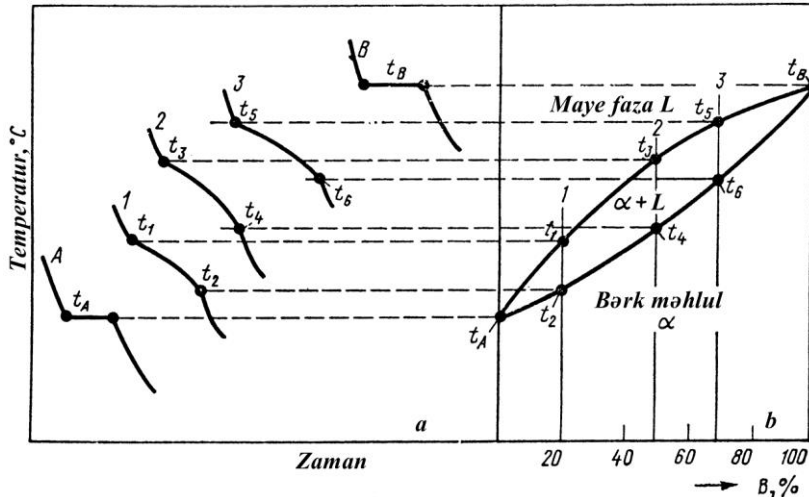
Ərintilərdə komponentlərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində əmələ gələn fazaların xarakterindən asılı olaraq hal diaqramlarının şəkli müxtəlif olur. Onları əsasən aşağıdakı tiplərə bölmək olar:

1. Komponentləri mexaniki qarışıq əmələ gətirən ərintilərin hal diaqramları – birinci növ hal diaqramı.
2. Komponentlərin bərk halda məhdud həll olan ərintilərin hal diaqramları – ikinci növ hal diaqramı.
3. Komponentləri bərk halda qeyri-məhdud həll olan ərintilərin hal diaqramları – üçüncü növ hal diaqramı.
4. Komponentləri bərk halda kimyəvi birləşmə əmələ gətirən ərintilərin hal diaqramı – dördüncü növ hal diaqramı.

Termiki analiz üsulu ilə ərintilərin hal diaqramının qurulması

Termiki analiz üsulu ilə hal diaqramının qurulmasına komponentləri biri-birində qeyri-məhdud həll olan ərintilərin misalında baxaq. Hal diaqramının konsentrasiya oxunda kənar nöqtələr saf komponentləri (A və B) göstərir, aralıq nöqtələr isə müxtəlif konsentrasiyalı ərintilərdir (şəkil 27).

Hal diaqramını qurmaqdan ötrü saf komponentlər və aralıq ərintilər üçün



soyuma əyriləri (termiki əyrilər) qurulur. Saf A komponentinin kristallaşması t_A temperaturunda başlayır (şəkil 25.a, A əyrisi). Əyridə düz xətlə ifadə olunan dayanma temperaturu nəzərə çarpır. Həqiqətən kristallaşma başlayan andan ərintidə iki faza-maye məhlul və bərk kristallar olduğu üçün

($F=2$) fazalar qaydasına görə $C=K+1-F=1+1-2=0$. Məlumdur ki, sərbəstlik dərəcəsi $C=0$ olduqda kristallaşma sabit temperaturda gedir. Saf A komponentinin kristallaşması başa çatdıqdan sonra temperatur yenidən enir. Saf B komponentin kristallaşması da eyni qayda ilə gedir (şəkil 27.b, B əyrisi).

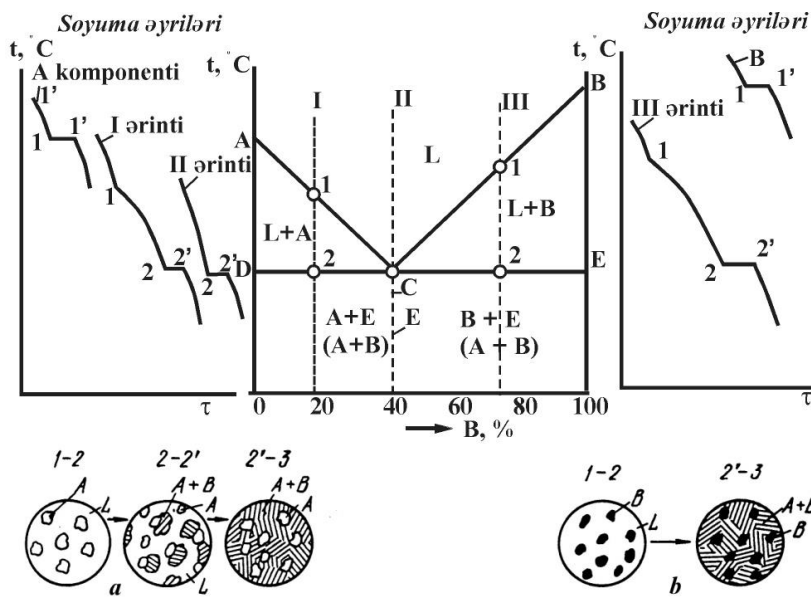
1 ərintinin soyudulması zamanı maye məhluldan kristalların ayrılması t_1 temperaturunda A və B komponentlərinin əmələ gətirdiyi α -bərk məhlulun ayrılması ilə başlayır. Bu zaman ərintidə fazaların sayı $F=2$ olduğu üçün (maye məhlul+ α -bərk məhlul) $C=1$ olur və kristallaşma dəyişən temperatur şəraitində baş verir. Kristallaşma prosesində istilik ayrıldığı üçün t_1 temperaturundan sonra soyuma yavaşlayır. Soyuma əyrisində bu t_1-t_2 parçası ilə əks olunur. t_2 temperaturunda kristallaşma başa çatır və ərinti bir fazalı α -bərk məhluldan ibarət olur. 2 və 3 ərintilərinin kristallaşması da eyni qayda ilə gedir.

Müvafiq konsentrasiyalı ərintinin kristallaşmağa başladığı t_A, t_1, t_3, t_5, t_B və kristallaşmanın başa çatdığı – t_A, t_2, t_4, t_6, t_B böhran nöqtələrini ordinat oxuna uyğun birləşdirib A-B sisteminin hal diaqramını alırıq (şəkil 27.b). Soyuma əyrilərindəki (termiki əyrilər) kristallaşmanın başlanma temperaturuna

uyğun t_1, t_3, t_5 – likvidus nöqtələri, kristallaşmanın başa çatma temperaturuna uyğun t_2, t_4, t_6 nöqtələri solidus nöqtələri adlanır. Likvidus və solidus nöqtələrinin hal diaqramında hündəsi yeri müvafiq sürətdə likvidus xətti (t_A, t_1, t_3, t_5, t_B) və solidus xətti (t_A, t_2, t_4, t_6, t_B) adlanır. Likvidus və solidus xətləri arasında ərintilərdə iki faza-maye ərinti (L) və α -bərk məhlul mövcuddur.

Komponentləri mexaniki qarışıq əmələ gətirən ərintilərin hal diaqramı

Ərintinin A və B komponentlərindən təşkil olunduğunu fərz edək. Belə ki, komponentlər maye halında biri-birində qeyri-məhdud həll olur, bərk halda isə həll olmur və kimyəvi birləşmə əmələ gətirmir. Bu sistemdə maye məhlul (L), A komponentinin kristalları (A) və B komponentinin kristalların-



dan (B) ibarət fazalar əmələ gələ bilər. Beləliklə, komponentlərin sayı $K=2$, fazaların mümkün sayı $F=3$ olduğu üçün sistemin sərbəstlik dərəcəsi $C=K+1-F=0$ ola bilər. Yəni sistemin müəyyən halında nonvariantlıq mümkündür.

Şəkil 28-də hal diaqramının ümümi şəkli verilmişdir. Diaqramda ACB xətti likvidus, $ADCEB$ xətti isə solidus xəttidir. Soyuma zamanı AC xəttində A komponentinin, BC xəttində isə B komponentinin kristalları ayrılmağa başlayır. Məsələn, I-ərinti 1 nöqtəsində kristallaşmaya başlayır. Bu nöqtədən (bu temperaturdan) aşağıda ərinti maye məhlul və A kristallarından ibarət olur. 2 nöqtəsində kristallaşma sabit temperaturda baş verir, burada nonvariantlıq mövcud olduğu üçün kristallaşma prosesində hər üç faza iştirak edir. Başqa sözlə burada maye məhluldan eyni zamanda həm

A , həm də B komponentinin kristalları ayrılır. Maye məhluldan eyni zamanda ayrılan iki növ (və ya daha çox) kristalın mexaniki qarışığına evtektika (latın dilində tezəriyən deməkdir) deyilir. Beləliklə, kristallaşma başa çatdıqdan sonra ərinti ikifazlı ($A+B$), strukturuna görə isə A kristalları ilə evtektikadan ($A+E$) ibarət olur.

II ərinti C nöqtəsində sabit temperaturda kristallaşır. Kristallaşma nəticəsində A və B kristallarının mexaniki qarışığı alınır, ərinti evtektik struktura malik olur.

III ərintinin kristallaşması I ərintiyə uyğun olaraq baş verir, lakin əvvəlcə maye məhluldan B kristalları ayrılır. Kristallaşma başa çatdıqdan sonra ərintinin faza tərkibi $A+B$ olsa da, strukturu $B+E$ olur.

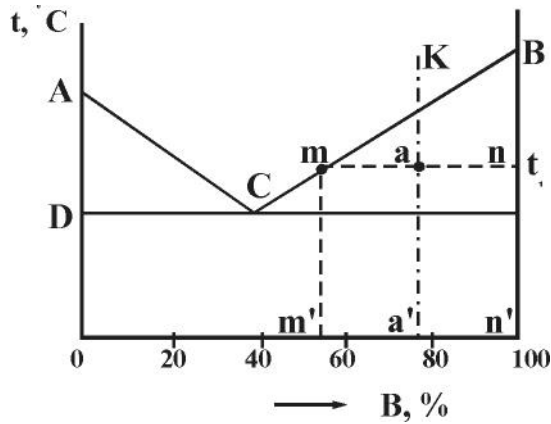
Soyumanın müxtəlif anları üçün ərintinin strukturu şəkil 28.b-də göstərmişdir.

Şəkil 28-də diaqramda müxtəlif fazaların mövcudluğu sahələri göstərilmişdir. Bu sahələrə uyğun olaraq C nöqtəsi tərkibli (evtektika) ərinti evtektik ərinti, bu nöqtədən soldakı ərintilər evtektikaya qədər, sağdakı ərintilər isə evtektikadan sonrakı ərinti adlanır.

3.5. Parçalar qaydası

Kristallaşma prosesində həm fazaların konsentrasiyası, həm də hər fazanın miqdarı dəyişir. Məsələn, yuxarıda baxdığımız hal diaqramında maye məhluldan A komponentinin kristalları ayrıldıqca, o B komponenti ilə zənginləşir. Eyni zamanda kristal fazanın miqdarı artdıqca maye məhlulun miqdarı azalır. Sistemdə iki faza mövcud olduqda hal diaqramının istənilən nöqtəsində fazaların konsentrasiyasını və hər bir fazanın miqdarını parçalar qaydasına əsasən tapmaq olar.

K ərintisi (şəkil 29) likvidus xəttindən yuxarıda maye məhlul, a nöqtəsində isə maye məhlulla B kristallarından ibarətdir. Likvidus xəttindən yuxarıda maye məhlulun tərkibi konsentrasiya oxunun a' nöqtəsinə müvafiqdir. Kristallaşma müəyyən həddə qədər getdiyi üçün a nöqtəsində fazaların konsentrasiyası dəyişir. Parçalar qaydasının birinci müddəasına görə fazalarda komponentlərin konsentrasiyasını təyin etmək üçün ərintinin vəziyyətini xarakterizə edən verilmiş nöqtədən üfüqi xətt çəkilir. Həmin



Шякил 29. Парчалар гайдасынын щал диаграмына тятбиги

xəttin verilmiş sahəni hüdudlaşdıran xətlərlə kəsişmə nöqtələrinin konsentrasiya oxuna proyeksiyaları müvafiq fazaların tərkibini göstərir.

Bu qaydaya uyğun olaraq t_1 temperaturunda K ərintisinin fazalarının tərkibini təyin etmək üçün a nöqtəsindən üfüqi xətt çəkirik. m və n kəsişmə nöqtələrinin m' və n' proeksiyaları müvafiq surətdə maye məhlulun və kristalların tərkibini göstərir.

Parçalar qaydasının ikinci müddəasına görə fazaların miqdarını təyin etmək üçün verilmiş nöqtədən üfüqi xətt çəkilir. Bu xəttin verilmiş nöqtədən (a) fazaların konsentrasiyalarını xarakterizə edən nöqtələrədək (m və n) olan parçaları fazaların miqdarına tərs mütənəsibdir. Əgər ərintinin ümumi miqdarını vahid, kristal fazanın miqdarını isə x qəbul etsək,

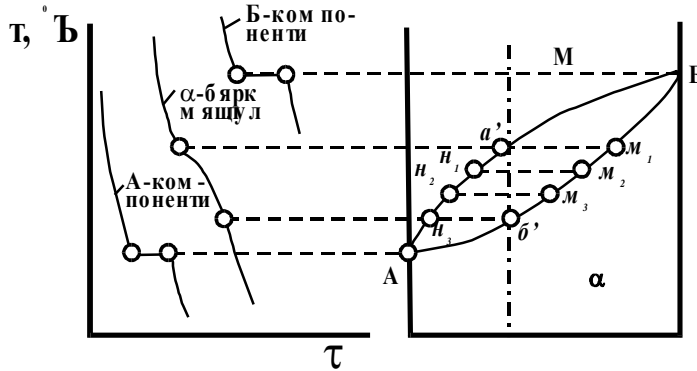
$$x = \frac{ma}{mn}$$

olar. Müvafiq surətdə maye fazanın miqdarı

$$1 - x = \frac{an}{mn}$$

kimi təyin edilir.

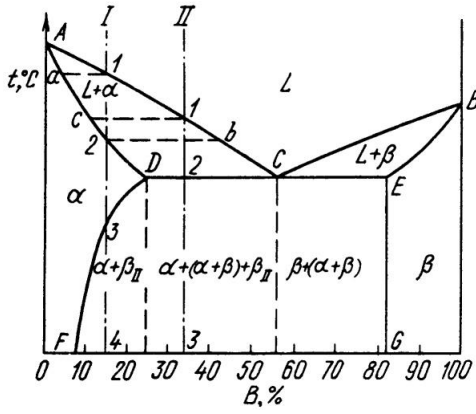
Komponentləri bərk halda qeyri-məhdud həll olan ərintilərin hal diaqramı



Bu sistemdə ərintini təşkil edən A və B komponentləri həm maye və həm də bərk halda biri-birində qeyri-məhdud həll olur, kimyəvi birləşmə əmələ gətirmir. Sistemdə maye (L) və bərk məhlul (α) fazaları mümkündür. Beləliklə, $K=2$, $F=2$ olduğu üçün sistemin sərbəstlik dərəcəsi $C=1$ olar, yəni kristallaşma temperaturun və fazaların konsentrasiyasının dəyişməsi şəraitində baş verir. Buna görə də soyuma əyrilərində iki böhran temperaturu – kristallaşmanın başlanması və başa çatması temperaturları qeyd olunur.

Şəkil 30-də baxılan hal diaqramının ümumi şəkli və soyuma əyriləri verilmişdir. Diaqramda $t_{A1}t_3t_B$ likvidus, $t_{A2}t_4t_6t_B$ isə solidus xəttidir. Likvidus xəttinin a nöqtəsində maye məhluldan α -bərk məhlulun kristalları ayrılmağa başlayır. Parçalar qaydasına əsaslanaraq həm maye məhlulun, həm də α -kristallarının tərkibinin temperaturdan asılı olduğunu görürük. Belə ki, maye məhlulun tərkibi likvidus xəttinin $a n_1 n_2 n_3$ hissəsi boyunca, α -bərk məhlulun tərkibi isə solidus xəttinin $m_1 m_2 m_3 b$ hissəsi boyunca dəyişir. Əgər soyuma prosesi olduqca yavaş gedirsə maye və bərk fazalarda baş verən diffuziya (həcmi diffuziya), həmçinin fazaların qarşılıqlı diffuziyası (fazalararası diffuziya) nəticəsində kristalların tərkibi bərabərləşə bilər. Beləliklə, kristallaşma başa çatdıqda ərinti bircinsli α -bərk məhlul dənələrindən ibarət olar.

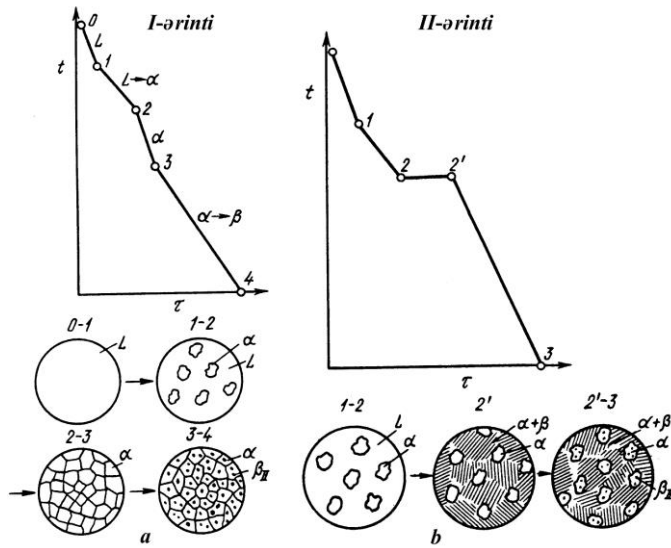
Lakin diffuziya prosesi kristallaşma prosesindən yavaş gedir. Buna görə də real şəraitdə istər eyni kristal hüduunda, istərsə də müxtəlif kristalların tərkibi bərabərləşə bilmir. Ayrı-ayrı kristallar daxilində tərkibin müxtəlifliyi kristaldaxili və ya dendrit likvasiyası adlanır.



Kristaldaxili likvasiya ərintini uzun müddət yüksək temperaturadək (solidus xəttindən bir qədər aşağı) qızdırmaq yolu ilə zəiflədilə bilər. Bu prosesə diffuziya tabılması deyilir.

3.7. Komponentləri bərk halda məhdud həll olan ərintilərin hal diaqramı

Ərintinin A və B komponentlərindən təşkil olunduğunu qəbul edək. Bu sistemdə aşağıdakı fazalar mümkündür: maye faza (L), B komponentinin A komponentində bərk məhlulu (α – bərk məhlul) və A komponentinin B komponentində bərk məhlulu (β –



bərk məhlul). Həm də komponentlərin həllolma qabiliyyəti temperaturdan asılı olaraq dəyişir. Beləliklə, komponentlərin sayı $K=2$, fazaların sayı $F=3$ olduğu üçün sistemin sərbəstlik dərəcəsi $C=0$ ola bilər, yəni sistemdə non-variantlıq mümkündür.

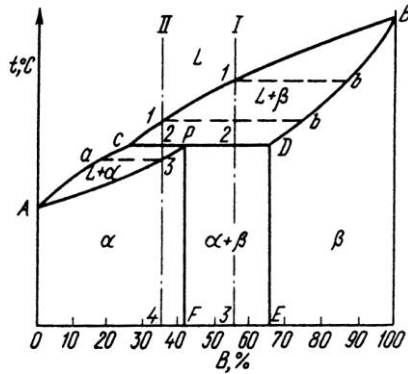
Baxılan sistemin kristallaşmasında evtektik və peritektik çevrilmələr mümkündür. Çevrilmənin növündən asılı olaraq hal diaqramının şəklində də dəyişir.

Əvvəlcə evtektik çevrilməli hal diaqramını nəzərdən keçirək (şəkil 31).

Diaqramda ACB likvidus xətti, $ADCEB$ solidus xəttidir. DF xətti B komponentinin A komponentində həllolma həddini göstərir. ACB likvidus xəttindən yuxarı ərinti maye məhlul halındadır. $ADCEB$ xətti isə kristallaşmanın başa çatdığı temperaturalara müvafiqdir. DCE xəttini adətən evtektik çevrilmə xətti, C nöqtəsini isə evtektika nöqtəsi adlandırırlar. II, III

və IV ərintilərdə temperatur evtektika xəttinə çatdıqda C nöqtəsi konsentrasiyasına malik maye məhluldan hər iki bərk məhlulun kristallarının qarışığı ayrılır. Bərk məhlulların isə tərkibi müvafiq surətdə D və E nöqtələrinə uyğun gəlir. Beləliklə, $L_c \rightarrow \alpha_D + \beta_E$ evtektik çevrilməsi baş verir.

Diaqramdan göründüyü kimi A komponentinin B komponentində həllolma həddi temperaturdan asılı deyil. Lakin B komponentinin A komponentində həll olması temperatur aşağı düşdükcə azalır. Bu isə I və II ərintilərdə α -



bərk məhlulunun parçalanaraq ondan β_{II} – ikinci kristallarının ayrılmasına səbəb olur. Soyuma yavaş getdikdə və diffuziya böyük olduqda ikinci faza dənələrin sərhədlərində tor şəklində yerləşir. Sürətlə soyudulduqda isə ikinci faza dənə daxilində dispers içqarışığı kimi ayrılır. Şəkil 32-də evtektik çevrilməli hal diaqramı üçün soyuma əyriyələri və əmələ gələn strukturların sxemi verilmişdir.

Şəkil 33-də peritektik çevrilmə baş verən ərintilərin hal diaqramı verilmişdir. Peritektik

çevrilmədə maye fazanın əvvəlcə ayrılmış bərk faza ilə sabit temperaturda qarşılıqlı təsiri nəticəsində yeni növ kristallar əmələ gəlir. Diaqramda ACB likvidus xətti, $APDB$ solidus xətti, CPD isə peritektik çevrilmə xəttidir.

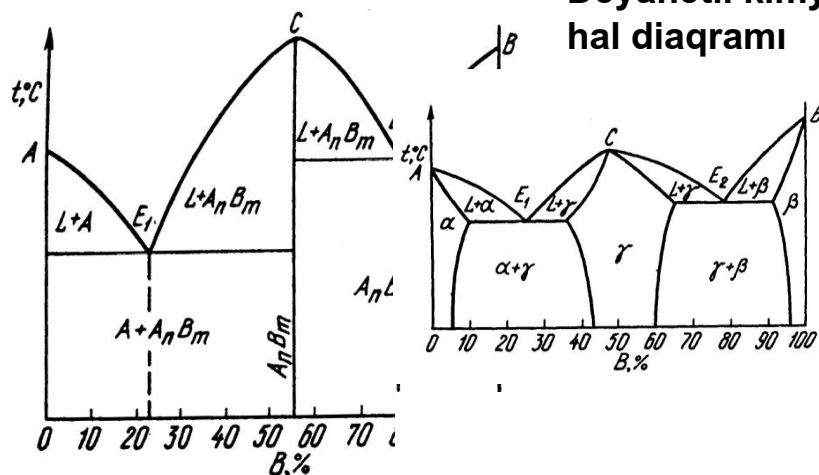
I-ərintinin kristallaşma prosesini müşahidə edək. I nöqtəsində maye məhluldan β -bərk məhlulun kristalları ayrılır. Peritektik çevrilmə temperaturunda β kristallarının tərkibi D nöqtəsinə, maye fazanın tərkibi C nöqtəsinə müvafiq olur. Maye və kristal fazaların qarşılıqlı təsirindən üçüncü faza- α -bərk məhlulun P nöqtəsi tərkibli kristalları əmələ gəlir: $L_c + \beta_d \rightarrow \alpha_P$. Bu peritektik çevrilmədir. Peritektik çevrilmə başa çatdıqdan sonra ərintinin faza tərkibi $\alpha + \beta$ -dan ibarət olur.

II ərintidə maye məhlulun miqdarı peritektik çevrilmə temperaturunda α -fazasını əmələ gətirmək üçün lazım olan miqdardan çox olduğu üçün izafi maye 2-3 temperatur intervalında α -kristallarına çevrilir.

Komponentləri kimyəvi birləşmə əmələ gətirən ərintilərin hal diaqramı

Məlumdur ki, kimyəvi birləşmə komponentlərin tam müəyyən nisbətində əmələ gəlir. Buna görə də hal diaqramında kimyəvi birləşmə konsentrasiya oxunu həmin nisbət ilə kəsən şaquli xətlə ifadə olunur. Kimyəvi birləşmələr dəyanətli və dəyanətsiz, bərk məhlullar əsasında əmələ gələ bilən və s. olduğu üçün onların hal diaqramları da müxtəlif şəkili olur.

Dəyanətli kimyəvi birləşmə halı üçün hal diaqramı

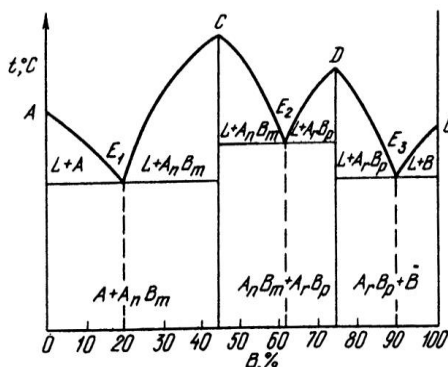


Fərz edək ki, A və B komponentləri A_nB_m dəyanətli kimyəvi birləşmə əmələ gətirir. Bu zaman A-B sistemində aşağıdakı fazalar əmələ gələ bilər: maye faza – L; A və B komponentləri və A_nB_m

kimyəvi birləşməsi. Təbii ki, bu dörd fazadan eyni zamanda yalnız üçü mövcud

ola bilər:

$L+A+A_nB_m$ və ya



$L+B+A_nB_m$.

Şəkil 34-də birləşmə əmələ gəldiyə öz

temperaturu,

qəfəsi və s.) görə komponent kimi baxmaq mümkün olduğu üçün diaqrama komponentləri biri-birində həll olmayaraq mexaniki qarışıq əmələ gətirən $A-A_nB_m$ və A_nB_m-B sistemləri kimi baxa bilərik.

A və B komponentləri iki kimyəvi birləşmə A_nB_m və A_rB_p əmələ gətirərsə, o zaman diaqramı üç sistem – $A-A_nB_m$, $A_nB_m-A_nB_p$ və A_nB_p-B sistemləri kimi təhlil etmək mümkündür (şəkil 35).

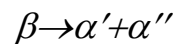
dəyanətli kimyəvi birləşmə əmələ gələn sistem üçün hal verilmişdir. Kimyəvi xarakterinə (sabit ərimə özünə məxsus kristal

Komponentləri bərk məhlullar, həmçinin kimyəvi birləşmə əsasında bərk məhlul əmələ gətirən hal üçün hal diaqramı.

Fərz edək ki, A və B komponentləri əsasında α və β bərk məhlulları, A_nB_m kimyəvi birləşməsi əsasında isə γ -bərk məhlulu əmələ gəlir. Bu şərait üçün hal diaqramına $\alpha-\gamma$ və $\gamma-\beta$ hal diaqramlarının məcmuu kimi baxmaq olar (şəkil 36).

zalı α -bərk məhlulundan ibarətdir.

b) Hər iki komponent polimorf xassəlidir, həm də yüksək temperaturlu modifikasiyalar biri-birində qeyri-məhdud, aşağı temperaturlu modifikasiyalar isə məhdud həll olur (şəkil 38.b). Bu sistemdə birinci kristallaşmadan sonra β -bərk məhlul əmələ gəlir. İkinci kristallaşma ümumi kristallaşma qanunlarına tabedir və hal diaqramı şəkil 31-də verilmiş diaqrama oxşar şəkil alır. Burada DCE xəttinə uyğun temperaturda β -bərk məhlulun parçalanması baş verir:



Parçalanma evtektik reaksiyaya oxşar gedir. Lakin α' və α'' kristalları maye məhluldan yox, bərk kristallik maddədən ayrılır. Belə çevrilmə evtektoid çevrilməsi, əmələ gələn $\alpha' + \alpha''$ qarışığı isə evtektoid adlanır. Diaqrama görə C nöqtəsinə qədər olan ərintilər evtektoidə qədər ərinti, C nöqtəsi tərkibli ərinti evtektoid ərintisi, C nöqtəsindən sağdakı ərintilər isə evtektoiddən sonrakı ərinti adlanır.

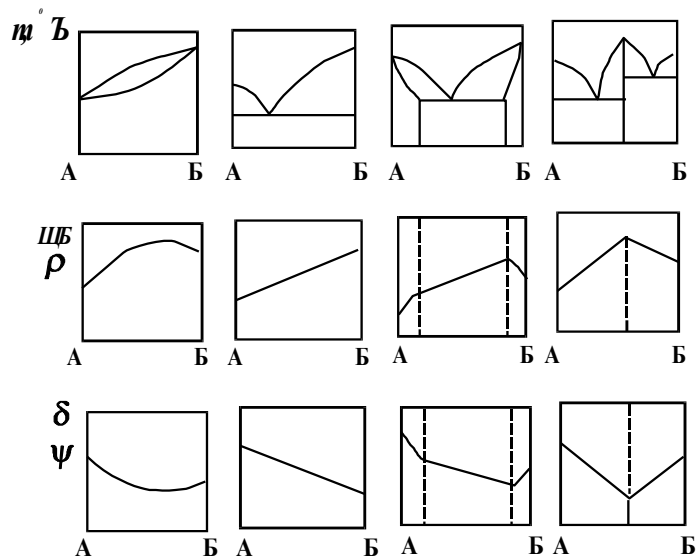
Hal diaqramlarının ərintilərin xassələri ilə əlaqəsi

Hal diaqramlarının öyrənilməsi göstərdi ki, diaqramın şəkli komponentlərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində əmələ gələn fazaların xarakterindən asılıdır. Eyni zamanda ərintilərin xassələri də fazaların xarakterindən asılı olur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, ərintilərin hal diaqramları ilə onların xassələri arasında müəyyən qanunauyğun asılılıq vardır. Bu qanunauyğunluq ilk dəfə N.S.Kurnakov tərəfindən müəyyən edilmişdir və çox zaman Kurnakov qaydası adlanır.

Şəkil 39-də bəzi mexaniki və fiziki xassələrlə tipik hal diaqramları arasında əlaqə göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi ərintidə mexaniki qarışıqlar əmələ gələrsə mexaniki və fiziki xassələr düz xətt, bircinsli bərk məhlul əmələ gəldikdə isə əyri xətt qanunauyğunluğu ilə dəyişir. Hal diaqramlarının şəkli ərintinin texnoloji xassələri barədə də müəyyən təsəvvür yaradır. Məsələn, bircinsli ərintilər (saf metal və ya bircinsli bərk məhlul) təzyiqlə emal üçün daha yararlıdır.

Strukturda evtektikanın meydana gəlməsi plastikliyin aşağı düşməsinə səbəb olur. Evtektik və ya evtektikaya yaxın tərkibli ərintilər daha yaxşı tökmə xassələrinə malik olur (bərkimə temperaturu nisbətən aşağı, mayeaxıcılığı yüksək olur və s.).

Strukturunu bircinsli olmayan ərintilərin kəsici alətlə emalı nisbətən asan olur.



4. Dəmir və dəmir əsaslı ərintilər

Dəmir-karbon sistemində komponentlər və fazalar

Saf dəmir dövri sistemin VIII qrupuna aid gümüşü boz rəngli metaldir. Onun ərimə temperaturu 1539 °C, sıxlığı 7,86 q/sm³-dir. Hazırda 99,999% təmizliyində dəmir almaq mümkündür. Dəmirin texniki növlərinin təmizliyi isə 99,8-99,9%-dir. Texniki dəmirin möhkəmlik həddi $\sigma_m=250$ MPa, plastikliyi isə yüksəkdir: nisbi uzanma $\delta=50\%$, nisbi sıxılma $\psi=80\%$ -dir.

Dəmirin bərk halda həcmimərkəzli kub və üzümərkəzli kub kristal qəfəsinə malik iki modifikasiyası mövcuddur. 911 °C temperaturadək həcmimərkəzli kub qəfəsli α -dəmir (Fe_α), 911...1392 °C intervalında üzümərkəzli kub qəfəsli γ -dəmir (Fe_γ), 1392 °C-dən yuxarı temperaturda isə yenə həcmimərkəzli kub qəfəsli α -dəmir (çox vaxt bunu δ -dəmir- Fe_δ ilə işarə edirlər) modifikasiyaları mövcuddur. $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$ çevrilmə böhran temperaturunu A_3 (qızdırılmada Ac_3 , soyudulmada Ar_3) ilə, $Fe_\gamma \leftrightarrow Fe_\delta$ böhran temperaturunu isə A_4 (müvafiq surətdə Ac_4 və Ar_4) ilə işarə edirlər. $Fe_\alpha \leftrightarrow Fe_\gamma$ çevrilməsi nəticəsində dəmirin həcmi azalır, sıxlığı isə artır. γ -dəmirin sıxlığı 8,0...8,1 q/sm³-dir.

768 °C temperatura qədər dəmir ferromaqnit, yuxarı temperaturda isə paramaqnitdir. Bu böhran temperaturu Kuri nöqtəsi adlanır və A_2 ilə işarə edilir.

Karbon dövri sistemin IV qrupuna aid qeyri-metal elementdir. Onun ərimə temperaturu 3500 °C, sıxlığı 2,25 q/sm³-dir. Təbiətdə karbonun qrafit və almaz adlanan iki modifikasiyasına rast gəlinir. Qrafit heksaqonal kristal qəfəsinə malik yumşaq və az möhkəmliyə malik materialdır.

Karbon dəmirdə həll olaraq yerləşmə bərk məhlulu, həmçinin kimyəvi birləşmə əmələ gətirir. Həllolma dərəcəsi dəmirin kristal qəfəsinin növündən asılıdır. Çoxkarbonlu ərintilərdə karbon qrafit şəklində də ola bilər.

Dəmir-karbon sistemində maye məhlul, ferrit və austenit bərk məhlullar, kimyəvi birləşmə (sementit) və qrafit fazaları əmələ gələ bilər.

Ferrit (F) karbonun və başqa aşqarların α -dəmirdə bərk məhluludur. Aşağı temperaturlu α -ferritdə karbon 0,02%-ə qədər həll ola bilər. Yuxarı temperaturlu δ -ferritdə isə karbonun həllolma qabiliyyəti 0,1%-ə qədərdir. Karbon atomları ferritin kub kristal qəfəsinin yan üzvlərinin mərkəzində, vakansiyalarda və dislokasiyalarda yerləşir. Ferritin mexaniki xassələri təmiz dəmirin xassələrinə yaxın olub aşağıdakı kimidir: $\sigma_m=250$ MPa: $\sigma_{0,2}=120$ MPa: $\delta=80\%$; 80-90 HB.

Austenit (A) karbonun və başqa aşqarların γ -dəmirdə bərk məhluludur. γ -dəmirdə 2,14%-ə qədər karbon həll ola bilər. Austenitdə karbon atomları kubun mərkəzində, həmçinin kristalların qüsurlu sahələrində yerləşir. Austenitin plastikliyi yüksək, möhkəmliyi isə azdır.

Sementit – dəmirlə karbonun Fe_3C kimyəvi birləşməsidir (dəmir karbidi). Müəkkəb rombik kristal qəfəsinə malik olan sementitin tərkibində 6,67% karbon vardır. Sementitin ərimə temperaturu təxminən 1250 °C-dir. 210 °C temperaturadək sementit ferromaqnit xassəsinə malikdir. Sementitin bərkliyi yüksək – 1000 HV qədər, plastikliyi isə çox aşağıdır. Sementit metastabil fazadır və çoxkarbonlu ərintilərdə müəyyən şəraitdə parçalanaraq ferrit və qrafit fazaları əmələ gətirir.

Dəmir-sementit ($Fe-Fe_3C$) hal diaqramı (metastabil müvazinət)

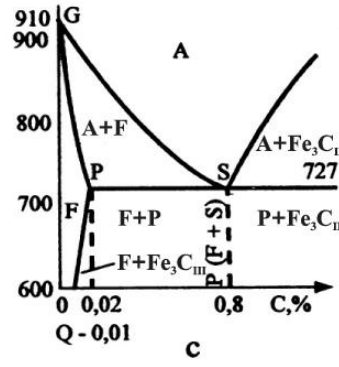
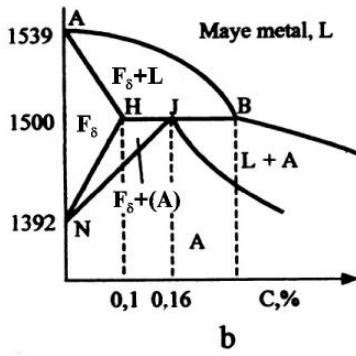
Praktikada 5%-dən çox karbonlu dəmir-karbon ərintiləri tətbiq olunmur. Sementitin isə tərkibində 6,67% karbon var. Buna görə də hal diaqramını karbonun sementit əmələ gətirə biləcək konsentrasiyası ilə məhdudlaşdırırıq. Kimyəvi birləşməyə şərti olaraq müstəqil komponent kimi baxa bildiyimiz üçün diaqramı dəmir-sementit ($Fe-Fe_3C$) hal diaqramı kimi nəzərdən keçirək (şəkil 40).

Diaqramda $ABCD$ -likvidus, $AHJED$ -solidus xəttidir. A nöqtəsi dəmirin ərimə temperaturuna (1539 °C), D nöqtəsi sementitin ərimə temperaturuna (1250 °C), N nöqtəsi (1392 °C) və G nöqtəsi (911 °C) dəmirin polimorf çevrilmə temperaturlarına müvafiqdir. P nöqtəsi (0,02%C) karbonun α -dəmirdə, E nöqtəsi (2,14%C) γ -dəmirdə, H nöqtəsi (0,10%) δ -dəmirdə həllolma həddinə uyğundur. S nöqtəsi (0,8%C) evtektoid temperaturunda (727 °C) austenitdə karbonun miqdarını göstərir.

Diaqramdakı üç üfüqi xətt $t=const$ şəraitində keçən üç nonvariantlı reaksiyanın getdiyini göstərir. HB xəttində ($t=1490$ °C) $L_B+F_H\rightarrow A_j$ peritektika reaksiyası baş verir. Bu reaksiya tərkibində 0,1-0,51%C olan ərintilərdə baş verir. ECF xəttində ($t=1147$ °C) tərkibində 2,14-6,67%C olan ərintilərdə $L_C\rightarrow A_E+Fe_3C$ evtektika reaksiyası baş verir. Austenitlə sementitin mexaniki qarışığı ledeburit (Le) adlanır. PSK xətti ($t=727$ °C) evtektoid çevrilməsi ilə xarakterizə olunur. $A_s\rightarrow F_p+Fe_3C$ evtektoid reaksiyası nəticəsində alınan mexaniki qarışıq perlit (P) adlanır.

Əvvəlcə sistemdə müxtəlif konsentrasiyalı ərintilərin ilkin kristallaşmasını nəzərdən keçirək.

Tərkibində 0,51 %-dən az karbon olan ərintilərin kristallaşması likvidus xəttinin *AB* parçasında maye ərintidən δ -ferrit (F_δ) kristallarının ayrılması ilə bařlayır. Tərkibində 0,1%- 



qədər karbon olan ərintilərin kristallaşması AH xəttində F_{δ} bərk məhlulu əmələ gəlməsilə başa çatır. 0,1-0,16% C tərkibli ərintilər HJB xətti boyunca $L_B + F_{\delta H} = F_{\delta H} + A_j$ peritektika çevrilməsinə uğradıqdan sonra F_{δ} ilə austenitin (A) mexaniki qarışığından ibarət ikifazlı struktur əmələ gətirir. 0,16-0,51% karbon tərkibli ərintilər isə əvvəlcə peritektika xəttində $L_B + F_{\delta H} = L_B + A_j$ çevrilməsinə uğrayır, JE xəttində ilkin kristallaşma başa çatdıqdan sonra isə birfazlı austenit strukturu əmələ gəlir.

0,51-2,14% C tərkibli ərintilər BC və JE xətləri ilə məhdudlaşan intervalda kristallaşaraq bir fazlı austenit strukturu əmələ gətirir.

2,14%-dən artıq karbon tərkibli ərintilərin kristallaşması evtektika xəttinə qədər austenitin, evtektika xəttindən sonra isə sementitin ayrılması ilə başlayır. 2,14-4,3% miqdarında karbon tərkibli (evtektikaya qədər) ərintilərin ilkin kristallaşması ECF xəttində evtektika çevrilməsilə başa çatır və austenitlə ledeburitdən ibarət ikifazlı struktur ($A + Le$) əmələ gəlir. Evtektika tərkibli (C nöqtəsi) ərinti sabit temperaturda ledeburit əmələ gətirərək kristallaşır. Evtektikadan sonrakı ərintilərin ilkin kristallaşması isə sementitlə ledeburitdən ($Fe_3C_I + Le$) ibarət ikifazlı struktur əmələ gəlməsilə başa çatır.

Tərkibində 2,14%-ə qədər karbon olan dəmir-karbon ərintiləri polad, 2,14%-dən çox karbon olan ərintilər çuqun adlanır. Poladla çuqunun prinsiplial fərqi karbonun austenitdə həllolma qabiliyyətindədir. Diaqramdan görüldüyü kimi poladlarda yüksək temperaturda karbon bütünlüklə austenitdə həll olur. Çuqunlardan fərqli olaraq poladın strukturunda evtektik qarışığa – ledeburitə rast gəlinmir. Buna görə də poladlar nisbətən asan deformasiya olunan – döyülə bilən ərintilərə aid edilir. Çuqunlar isə strukturlarında evtektika olması sayəsində daha yaxşı tökmə xassələrinə malik olur.

İndi isə ikinci kristallaşmanı – bərk halda baş verən çevrilmələri nəzərdən keçirək.

Diaqramda GS xətti soyutma zamanı $\gamma \rightarrow \alpha$ çevrilmə temperaturuna uyğun gəlir. GS xəttindən aşağıda austenitdən α -ferrit kristalları ayrılmağa başlayır. GS xəttini təşkil edən böhran nöqtələrini A_3 (soyutmada A_{r3} , qızdırmada A_{c3}) ilə işarə edirlər.

ES xətti, temperaturun dəyişməsilə austenitdə karbonun həll olmasının dəyişməsinə göstərir. Ərintini soyutduqda bu temperaturdan aşağıda austenitdən sementit ayrılmağa başlayır. Bu sementit bərk kristallardan yarandığı üçün ikinci sementit adlanır (Fe_3C_{II}). ES xəttini təşkil edən böhran nöqtələri A_{cm} ilə işarə edilir.

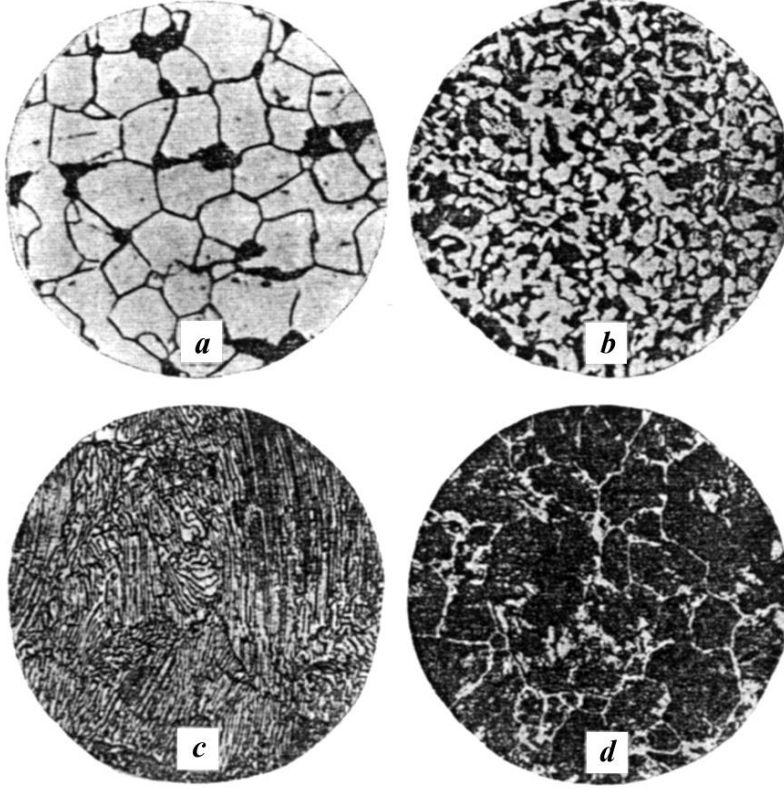
S nöqtəsi (PSK xətti) 0,8%C konsentrasiyalı austenitin soyuma zamanı minimum müvazinət temperaturunu göstərir. Evtektoid çevrilməsi baş verən PSK xəttinin temperaturu A_1 , (soyutmada A_{r1} , qızdırmada A_{c1}), ilə işarə edilir.

P nöqtəsi evtoktoid temperaturunda karbonun α -dəmirdə həll olma həddini, PQ xətti isə temperatur dəyişdikcə həllolmanın dəyişməsinə göstərir. PQ xəttindən aşağıda soyuma zamanı ferritdən izafi sementit kristalları ayrılır. Bu sementit üçüncü sementit (Fe_3C_{III}) adlanır. Beləliklə, PQ xəttindən solda ərinti bir fazalı α -ferrit (F_α) strukturuna, P və Q nöqtələri arası konsentrasiyalı ərintilər isə ferrit və Fe_3C_{III} -dən ibarət iki fazalı struktura malik olur.

Tərkibində 0,02%-ə qədər karbon olan dəmir-karbon ərintiləri texniki dəmir adlanır.

0,02-0,8%C tərkibli poladlar evtektoidə qədər polad adlanır. Onların strukturu $A_{r_3} - A_{r_1}$ temperatur intervalında austenitdən ayrılan ferritdən və A_{r_1} temperaturunda C nöqtəsi konsentrasiyalı austenitdən əmələ gələn perlitdən ibarət olur.

0,8%C tərkibli evtektoid poladı perlit strukturuna malik olur.



Tərkibində 0,8-2,14%C olan poladlar evtektoiddən sonrakı polad adlanır. Bu poladların strukturu ikinci sementitdən (Fe_3C_{II}) və A_{r_1} temperaturunda əmələ gələn perlitdən ibarət olur.

Tərkibində müxtəlif miqdarda karbon olan poladların mikrostrukturunu şəkil 41-də verilmişdir.

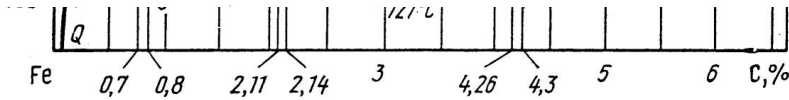
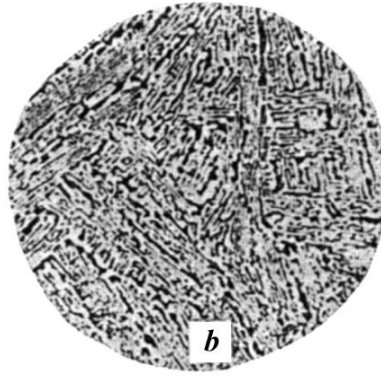
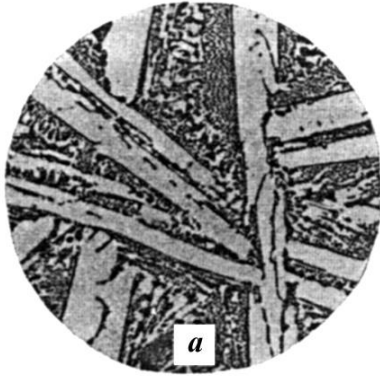
Evtektikaya qədərki çuqunlarda (2,14-4,3%C tərkibli) *ECF* xəttindən aşağı temperaturlarda soyuma zamanı *ES* xətti

boyunca austenitin qismən parçalanması nəticəsində Fe_3C_{II} ayrılır. *PSK* xəttinə çatdıqda tərkibində 0,8%C qalan austenit perlitə çevrilir. Eyni zamanda ledeburitin tərkibində olan austenitdə də həmin çevrilmələr baş verir və *PSK* xəttindən aşağıda ledeburit perlit+sementitdən ibarət olur. Beləliklə, evtektikaya qədərki çuqunların strukturu nəticədə perlit+ledeburit+ Fe_3C_{II} olur.

Evtektik çuqun (4,3%C) *PSK* xəttindən aşağıda ledeburit (perlit+sementit) strukturuna, evtektikadan sonrakı çuqun isə sementit+ledeburit strukturuna malik olur.

Müxtəlif tərkibli çuqunların mikrostrukturunu şəkil 42-də göstərilmişdir.

Beləliklə, dəmir-karbon ərintilərinin karbonun konsentrasiyasından asılı olaraq tam soyudulmadan sonra müxtəlif struktura malik olduğunu görürük.



Faza tərkibi isə karbonun konsentrasiyasından asılı olmadan ferrit+sementitdən ibarətdir.

4.3. Dəmir-qrafit hal diaqramı (stabil müvazinət)

Karbonun miqdarı 2,14%-dən az olduqda, o austenitdə tam həll olduğu üçün qrafit fazasının əmələ gəlməsi yalnız dəmir-karbon ərintisinin tərkibində 2,14%-dən çox karbon olan zaman, başqa sözlə çuqunlarda

mümkündür. Çuqunlarda qrafit fazasının əmələ gəlməsinə qrafitləşmə deyilir. Şəkil 43-də Fe-C sisteminin hal diaqramı verilmişdir. Bu diaqramda qırıq xətlərlə stabil müvazinət halında qrafitin ayrılması göstərilmişdir.

Stabil müvazinət halında evtektika və evtektoid temperaturları ($E'F'$ və $P'SK'$ xətləri) metastabil müvazinət halına nisbətən yüksəkdir. Fe-C sistemində tərkibində 4,26%C olan austenit+qrafit evtektikası 1153 °C temperaturda əmələ gəlir. 1153-738 °C intervalında austenitdən ikinci qrafit ayrılır.

Evtektoid çevrilməsi 738 °C temperaturda, karbonun 0,7% miqdarında baş verir və evtektoid ferrit+qrafitdən ibarət olur. Dəmir-karbon sistemində maye ərintidən və ya austenitdən metastabil sementit fazasının əmələ gəlmə imkanı qrafitə nisbətən daha yüksəkdir, çünki sementit qrafitə nisbətən daha çox termodinamik dəyanətli olan fazadır. Qrafit fazası ancaq kiçik temperatur intervalında çox yavaş soyuma nəticəsində ayrılır. Sürətlə soyudulduqda və ya 1147 °C-dən aşağı ifrat soyuma zamanı maye çuqundan sementit ayrılır. Maye çuqunda olan qrafit, SiO_2 , Al_2O_3 və s. kimi qarışıqlar qrafit rüşeymlərinin əmələ gəlməsini və onların böyüməsini asanlaşdırır.

Karbonun və daimi aşqarların poladın xassələrinə təsiri

Polad əslində çoxkomponentli ərintidir. Onun tərkibində karbonla yanaşı xassələrinə təsir edən *Mn, Si, P, S, O, H, N, Cr, Cu, Ni* və b. kimi daimi və ya texnoloji aşqarlar var. Həmin aşqarların bəziləri polad əridilərkən kənar edilə bilmədiyi üçün (*P, S*), bəziləri isə oksigensizləşdirmə prosesində (*Mn, Si*) və ya şixtə ilə, məsələn legirlənmiş metal qırıntılarından (*Cr, Ni*) keçir. Həmin aşqarlar daha çox miqdarda da mövcuddur.

Poladın strukturunu və xassələrini müəyyən edən ən vacib element karbondur. Yavaş soyutmadan sonra poladın strukturunun iki fazadan – ferrit və sementitdən ibarət olduğunu gördük. Bərk və kövrək sementit zərrəcikləri dislokasiyaların hərəkətinə müqaviməti artırır, başqa sözlə poladın deformasiyaya müqavimətini artırır, plastikliyini isə azaldır. Nəticədə, poladın tərkibində karbonun miqdarı artdıqca onun dartılmada müqavimət həddi və axıcılıq həddi artır, nisbi uzanması, daralması və zərbə özlülüyü azalır.

Əsasən oksigensizləşdirmə prosesində poladın tərkibinə keçən silisiumun miqdarı adətən 0,35-0,4%-dən, manqanın miqdarı isə 0,5-0,8%-dən çox olmur (bu elementlərin legirleyici element kimi daxil edilməsi halı buraya aid deyil).

Bərk məhlulda-ferritdə qalan silisium axıcılıq həddini xeyli artırır. Nəticədə, poladın uzadılma, xüsusən soyuq halda soyuqoturma qabiliyyətini aşağı salır. Buna görə də soyuq ştamplama və ya soyuqoturma üçün tətbiq edilən poladlarda silisiumun miqdarı az olmalıdır. Odur ki, həmin məqsədlə qayan poladlardan istifadə edilməsi məqsədə uyğundur.

Manqan poladın plastikliyini demək olar ki, azaltmadan möhkəmliyini nəzərə çarpacaq dərəcədə artırır, onun qızmarsınmasını zəiflədir.

Poladın tərkibində olan zərərli aşqarlardan biri kükürddür. O, dəmirlə bərk halda dəmirde həll olmayan *FeS* kimyəvi birləşməsi əmələ gətirir. *FeS* isə dəmirə 988 °C-də əriyən evtektika əmələ gətirir. Bu evtektika dənələrin kənarlarında yerləşir. Poladı yayma və ya döymə üçün 1000-1200 °C temperaturadək qızdırdıqda həmin evtektika əriyərək metalın dənələri arasındakı əlaqəni pozur. Bu da həmin yerlərdə çatlar əmələ gəlməsinə səbəb olur. Bu halətə qızmarsınma deyilir. Poladın tərkibində manqan olduqda cətin əriyən *MnS* birləşməsi əmələ gəlir ki, bu da qızmarsınmanı aradan qaldıra bilir. Kükürd eyni zamanda poladın qaynaq edilmə qabiliyyətini və korroziyaya davamlılığını azaldır. Buna görə də poladda kükürdün miqdarı 0,035-0,06%-dən çox olmalı deyil.

Fosfor ferritdə həll olaraq onun kristal qəfəsini pozur, müvəqqəti müqavimətini və axıcılıq həddini artırır, lakin plastikliyini və özlülüyünü kəskin surətdə azaldır. Fosfor həmçinin soyuqsınma həddini də yüksəldir. Fosforun likvasiya meyli onun mənfi təsirini daha da gücləndirir. Poladın tərkibində zərərli aşqar sayılan fosforun 0,025-0,07%-dən çox olmasına yol verilmir.

Azot, oksigen və hidrogen də polad üçün zərərli aşqarlar sayılır. Azot və oksigen FeO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_4N və s. kimi kövrək qeyri-metal qarışıqlar və ya bərk məhlul şəklində, ya da sərbəst halda koğuşlarda, çatlarda və başqa qüsurlu sahələrdə ola bilər. Onlar poladın soyuqsınma həddini yüksəldir, kövrək dağılmaya müqavimətini və davamlılıq həddini aşağı salır.

Poladda həll olan hidrogen onu kövrəkləşdirdiyi üçün çox zərərli sayılır. Hidrogen yayılmış pəstahlarda və döyüklərdə floken adlanan çox nazik çatların əmələ gəlməsinə səbəb olur. Flokenli poladın sənayedə tətbiqinə yol verilmir.

Karbonlu konstruksiya poladları

Ümumiyyətlə, karbonlu poladlar tətbiq sahəsinə görə konstruksiya poladlarına və alət poladlarına bölünürlər. Konstruksiya poladları öz növbəsində keyfiyyət göstəricilərinə görə (zərərli elementlərdən təmizlənmə dərəcəsinə görə) adi keyfiyyətli poladlara və keyfiyyətli poladlara bölünürlər. Oksigensizləşdirmə dərəcəsinə görə isə poladlar sakit (sp – spokoynie), qaynayan (kp – kipəhie) və yarım sakit (ps – poluspokoynie) poladlara ayrılır.

Adi keyfiyyətli poladlar zərərli elementlərdən (P , S , O , N) az təmizləndiyi üçün ən ucuz polad hesab edilir. Onların tərkibində xeyli qeyri-metal qarışıqlar olmaqla, həm də likvasiyaya, meyillidirlər. Bu poladlardan nisbətən kiçik gərginliklə yüklənmiş maşın hissələri, qızmaryayılmış yayıqlar (tirlər, çubuqlar, şvellerlər, vərəqələr, borular), döyüklər hazırlanır. Adi keyfiyyətli poladların təsnifatı, markalanması və xassələri QOST 380-88 ilə müəyyən edilir.

Bu poladlar St hərfləri və 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 rəqəmləri ilə markalanır. Rəqəmlər böyüdükçə poladın tərkibində karbonun miqdarı artıq olur, müvafiq surətdə möhkəmliyi böyük, plastikliyi isə az olur.

QOST ilə tərkibində 0,8-1,1% Mn olan StZQps, St5Qps markalı poladlar da nəzərdə tutulur. Bu poladlarda Q hərfi ilə manqan işarə edilir.

Ən çox St3sp markalı polad tətbiq edilir. Bu poladın mexaniki xassələri belədir; $\sigma_m=380-490$ MPa, $\sigma_{0.2}=210-250$ MPa, $\delta=25-22\%$.

Adi keyfiyyətli poladlardan qızmaryayılmış adi yaymalar (şveller, bucaqlıq, çubuq, tir, vərəq və s.), inşaatda qaynaq, pərçim, bolt konstruksiyaları hazırlamaq üçün, bəzən də kiçik yüklü maşın detalları (ox, val, dişli çarx və s.) hazırlamaq üçün istifadə edilir.

Qaynayan poladların soyuqsınma temperaturu yuxarı olduğu üçün onlardan soyuq iqlim şəraitində istifadə edilmir.

Poladda karbonun miqdarı artdıqca onun qaynaqedilmə qabiliyyəti pisləşir. Ona görə də St5 və St6 markalı poladlardan qaynaq konstruksiyalarında istifadə edilməsi məsləhət görülmür.

Keyfiyyətli karbonlu poladların tərkibində kükürdün miqdarı $\leq 0,035\%$, fosforun miqdarı $\leq 0,035-0,040\%$ olur. Eyni zamanda qeyri-metal qarışıqlar da az olur. QOST 1050-74 əsasən keyfiyyətli karbonlu poladlar 05, 08, 10, 15, ...85 rəqəmləri ilə markalanır. Rəqəmlər poladın tərkibində yüzədə bir faizlə karbonun orta miqdarını göstərir. Məsələn, 15 markalı poladın tərkibində $0,15\%C$, 65 markalı poladın tərkibində $0,65\%C$ var. Rəqəmlərdən sonra poladın qaynayan və ya yarımşakit polad olduğu göstərilir (sakit – *sp* işarəsi yazılmır).

Keyfiyyətli karbonlu poladların tərkibində bəzən manqanın miqdarı $1,0-1,2\%$ olur. Belə poladları markalayarkən rəqəmlərdən sonra Q hərfi yazılır.

Keyfiyyətli karbonlu poladları şərti olaraq az karbonlu, orta karbonlu və çox karbonlu poladlara bölmək olar. Azkarbonlu poladlara tərkibində $0,25\%-ə$ qədər karbon olan poladları aid edirlər. Bu qrupdan olan 05kp, 08, 08kp, 10, 10kp poladların möhkəmliyi az, plastikliyi isə yüksəkdir. Onların normallaşdırmadan sonra mexaniki xəssələri $\sigma_m=340$ MPa, $\sigma_{0.2}=200-210$ MPa və $\delta=31-32\%$ ilə xarakterizə olunur. Bu poladlardan az yük daşıyan detallar, nazik vərəqlərdən soyuq ştamplama yolu ilə məmullar hazırlanır.

15, 20, 25 markalı poladların mexaniki xəssələri bir qədər yüksəkdir ($\sigma_m=380-460$ MPa, $\sigma_{0.2}=230-280$ MPa, $\delta=23-27\%$). Onlar çox zaman termiki emalsız və ya normallaşdırılmış halda tətbiq edilir. Yaxşı qaynaq edilmə xəssələrinə malik olduqları üçün məsul qaynaq konstruksiyalarında, həmçinin sementitləmə ilə möhkəmlənən detallar hazırlanmasında da istifadə edilir.

Orta karbonlu (tərkibində $0,3-0,5\%C$ olan) 30, 35, 40, 45, 50, 55 markalı poladlar normallaşdırma və səthi tablandırımdan sonra ən müxtəlif detalların hazırlanması üçün tətbiq edilir. Onların tablandırma dərinliyi çox deyil. Suda tablandırıldıqdan sonra böhran diametri cəmi $10-12$ mm-dir. Buna görə də bu poladların nisbətən kiçik en kəsiyi olan detalların və ya

başdan-başa tablandırma tələb etməyən iri detalların hazırlanmasında tətbiq edilməsi məsləhət görülür.

Çox karbonlu 60, 65, 70, 75, 80, 85 markalı poladlar yüksək möhkəmliyə, yeyilmə davamlılığına və elastikliyə malikdir. Bu poladları tablandırma və tabəksiltmə, normallaşdırma və tabəksiltmə və ya səthi tablandırma əməliyyatlarına uğradaraq tətbiq edirlər. Onlardan sürtünmə şəraitində işləyən çox yüklənmiş detallar, həmçinin yay, resor və s. kimi elastik elementlər hazırlanır.

Keyfiyyətli karbonlu poladların tərkibi və xassələri QOST 1050-74 ilə müəyyən edilir. Bəzi marka poladların tərkib və xassələri cədvəl 2-də verilmişdir.

Yüngül şəraitdə işləyən bir sıra alətləri hazırlamaq üçün tərkibində 0,7-1,3%C olan keyfiyyətli və yüksək keyfiyyətli karbonlu alət poladlarından istifadə edirlər.

Cədvəl 2

Keyfiyyətli karbonlu poladların tərkib və xassələri (QOST 1050-74)

Poladın markası	C, %	Mn, %	Si, %	$\sigma_{0,2}$, MPa	σ_m , MPa	δ , %	Ψ , %	KCU, coul / sm ²
08kp	0,05-0,11	0,25-0,5	0,03	200	300	33	60	-
15	0,12-0,19	0,35-0,65	0,17-0,37	230	380	27	55	120
30	0,27-0,35	0,5-0,8	0,17-0,37	300	500	21	50	80
50	0,47-0,55	0,5-0,8	0,17-0,37	380	640	14	40	40
85	0,82-0,9	0,5-0,8	0,17-0,37	1000	1150	6	30	-
60Q	0,57-0,65	0,7-1,0	0,17-0,37	420	710	11	35	110

Poladın markası	C, %	Mn, %	Si, %	$\sigma_{0,2}$, MPa	σ_m , MPa	δ , %	ψ , %	KCU, coul / sm ²
70 Q	0,67-0,75	0,9-1,2	0,17-0,37	460	800	8	30	-

Bu poladlar *U* hərfi və karbonun orta miqdarını onda bir faizlərlə göstərən rəqəmlərlə markalanır. Polad yüksək keyfiyyətli olduqda markanın axırında *A* hərfi yazılır. Məsələn, *U7* və *U7A* (karbonun orta miqdarı 0,7%), *U12* və *U12A* (karbonun orta miqdarı 1,2%) və s.

Yüksək keyfiyyətli karbonlu poladlar keyfiyyətli poladlardan kükürd və fosforun miqdarının daha az olması ilə fərqlənir. Məsələn, *U9* markalı poladda 0,028% *S* və 0,030% *P* olduğu halda, *U9A* markalı poladda bu miqdar müvafiq surətdə 0,018% və 0,025%-dir.

Çuqunlar

Qeyd etdiyimiz kimi tərkibində 2,14%-dən çox karbon olan dəmir-karbon ərintilərinə çuqun deyilir. Dəmir-karbon sisteminin hal diaqramının təhlili göstərdi ki, hər hansı tərkibli çuqunun strukturunda həmişə evtektika mövcuddur. Bu da çuqunu tözyiqlə emal üçün yararsız edir, lakin yaxşı tökmə xassələrinin əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Çuqunun strukturunda karbon sementit və ya qrafit halında, ya da eyni zamanda həm sementit, həm də qrafit halında ola bilər. Karbonun halından asılı olaraq çuqunlar ağ, boz, yüksəkmöhkəmlikli və döyülən çuqunlara bölünür.

Ağ çuqunların strukturunda karbon sementit halında, boz çuqunlarda isə əsasən lövhəşəkilli qrafit halında olur. Boz çuqunlarda karbonun ən çoxu 0,8 faizi sementit şəklində olur. Yüksəkmöhkəmlikli və döyülən çuqunlar boz çuqundan qrafit dənələrinin forması ilə fərqlənir. Yüksək möhkəmlikli çuqunlarda qrafit dənələri kürəşəkilli, döyülən çuqunlarda isə kiləşəkilli olur.

Yuxarıda göstərmişdik ki, çuqunlarda qrafitləşmə dərəcəsi soyuma sürətilə əlaqədardır. Həm də soyuma sürətinin azalması qrafitləşməni sürətləndirir. Bunun da nəticəsində eyni töküynün müxtəlif yerlərində struktur müxtəlif ola bilər. Töküyün nazik yerlərində soyuma sürəti nisbətən yüksək olduğu üçün qrafitləşmə qalın hissələrə nisbətən pis gedir.

Çuqunun tərkibində olan aşqarlar da qrafitləşməyə təsir göstərir. Qrafitləşməyə müsbət təsir göstərən əsas aşqar silisiumdur. Çuqunun tərkibində silisium 0,7%-dən 4,0 faizə qədər dəyişə bilər. Silisiumun miqdarını dəyişməklə çuqunun tələb olunan strukturunu əldə etmək mümkün olur.

Manqan qrafitləşməyə mane olan aşqardır. Ona görə də çuqunun tərkibində manqan 0,5-1,0% ətrafında ola bilər. Qrafitləşməyə ən çox mane alan aşqar kükürddür. O, eyni zamanda çuqunun mayeəxıcılığını azaldır, tökükdə qaz qabarcıqları əmələ gəlməsinə səbəb olur və tökmə çökməsini artırır. Fosfor qrafitləşməyə demək olar ki, təsir etməsə də çuqunun mayeəxıcılığını artırır.

Çuqunun mexaniki xassələri onun strukturunu ilə, birinci növbədə qrafit fazası ilə bağlıdır. Əsasən qrafitin miqdarı, forması və strukturda paylanması mexaniki xassələri təyin edir.

Boz çuqun əslində tərkibində *Mn*, *P* və *S* kimi aşqarlar olan *Fe-Si-C* sistemli ərintidir. Boz çuqunun tərkibində karbonun əsas hissəsi və ya hamısı lövhəşəkilli qrafit halındadır. Çuqunun tərkibində karbonun miqdarı artıqca qrafitin də miqdarı artır və müvafiq surətdə möhkəmlik azalır. Digər tərəfdən yaxşı mayeəxıcılığı olmaqdan ötrü karbonun miqdarı daha çox olmalıdır. Hər iki tələbi müəyyən qədər ödəmək üçün boz çuqunda karbonun miqdarını 2,4-3,8% götürürlər.

Boz çuqunda silisium 1,2-3,5% arasında olur. Çuqunun tərkibində bir tərəfdən karbonun və silisiumun miqdarını, digər tərəfdən isə soyutma sürətini dəyişməklə onun metal əsasının lazım olan strukturunu əldə etmək olar.

Sementit halında olan karbonun miqdarına görə boz çuqunlar aşağıdakılara bölünür:

1. Ferrit boz çuqunu. Bu çuqunda bütün karbon qrafit halındadır. Strukturunu isə ferrit+lövhəşəkilli qrafitdir.
2. Ferrit-perlit boz çuqunu. Burada karbonun 0,1-0,7 faizi sementitin tərkibindədir. Çuqunun strukturunu isə perlit+ferrit+lövhəşəkilli qrafitdir.
3. Perlit boz çuqunu. Karbonun 0,7-0,8 faizi sementit halında olan bu çuqunun strukturunu perlit+lövhəşəkilli qrafitdən ibarətdir.
4. Alaca boz çuqun. Bu çuqunda sementitdə birləşmiş karbonun miqdarı 0,8 faizdən artıqdır. Strukturca perlit+ledeburit+lövhəşəkilli qrafitdən ibarətdir.

QOST 1412-85 əsasən boz çuqunlar SÇ hərfləri ilə markalanır. Həriflərdən sonra çuqunun $kq\cdot q/mm^2$ ($10^{-1}MPa$) ilə müvəqqəti müqavimətini göstərən rəqəm yazılır.

Xassələrinə və tətbiqinə görə boz çuqunları aşağıdakı qruplara bölmək olar:

– SÇ 10 və SÇ 15 markalı ferrit və ferrit-perlit boz çuqunların dartılmada möhkəmlik həddi $10-15 kq/mm^2$ ($100-150 MPa$), əyilmədə möhkəmlik həddi $28-32 kq/mm^2$ -dir. Bu çuqunlardan divarının qalınlığı $10-30 mm$ olan və nisbətən kiçik yük altında işləyən töküklər, məsələn özül tavaları, armatura və s. hazırlamaq üçün istifadə edilir.

– SÇ 20, SÇ 25, SÇ 30, SÇ 35 markalı perlit çuqunları $60-100 mm$ qədər qalınlığı olan məsul töküklər almaq üçün işlədilir. Onlardan güclü dəzgahların çatısı, böyük təzyiq şəraitində yeyilməyə işləyən silindrlər, pistonlar və s. hazırlanır.

Maye çuquna $0,3-0,8\%$ qrafit, ferrosilisiyum və ya silikokalsium əlavə etməklə modifikasiya edilmiş boz çuqun alırlar. Bu çuqunda ölçücə kiçik olan qrafit dənələri təcrid olunmuş şəkildə olduğu üçün onların möhkəmliyi yüksək olur. Modifikasiya edilmiş çuqunlara SÇ 40 və SÇ 45 misal ola bilər.

Boz çuqunların mexaniki xassələri cədvəl 3-də verilmişdir.

Ağ çuqun sementit fazası sayəsində çox böyük bərkliyə və kövrəkliyə malikdir, kəsmə ilə çox çətin emal edilir və məhdud tətbiq edilir.

Səth qatları ağ çuqun, özəyi isə boz çuqun strukturuna malik olan töküklər ağarmış çuqun adlanır. Səthin ağ çuqun strukturu alması sürətlə soyuma nəticəsində baş verir. Bu çuqunlar yeyilməyə davamlı olduğu üçün onlardan yayma valcıqları, çarxlar, dəyirman kürələri və s. hazırlanır.

Cədvəl 3

Boz çuqunların mexaniki xassələri (QOST 1412-85)

Çuqunun markası	σ_m , MPa (ən azı)	σ_{ej} , MPa (ən azı)	Bərklik, NV
SÇ 10	100	280	120-205
SÇ 15	150	320	130-241
SÇ 20	200	400	143-255
SÇ 25	250	460	156-260
SÇ 30	300	500	163-270

SÇ 35	350	550	179-290
SÇ 40	400	600	207-285
SÇ 45	450	650	229-289

Yüksək möhkəmlikli çuqun maye çuquna az miqdarda qələvi və ya qələvi-torpaq metallar əlavə etməklə alınır. Adətən 0,03-0,07% miqdarında maqneziumdan istifadə edilir. Qalan elementlərin miqdarına görə yüksək möhkəmlikli çuqunun tərkibi boz çuqundan fərqlənir.

Maqneziumun təsirindən qrafit dənələri küre şəklində alır. Eyni həcmdə kürənin səthi lövhənin səthindən az olduğu üçün çuqunun metal matrisası az zəifləyir və buna görə də yüksəkmöhkəmlikli çuqun daha yüksək xassələrə malik olur. Bu çuqun yüksək tökmə xassələri ilə yanaşı kəsmə ilə emal xassəsinə, yeyilməyə qarşı davamlılığa, vibrasiyaları söndürmə qabiliyyətinə malikdir.

Cədvəl 4

Yüksək möhkəmlikli çuqunların mexaniki xassələri (QOST 7293-85)

Çuqunun markası	σ_m , MPa	$\sigma_{əj}$, Mpa	δ , %	Bərklik, HB
	ən azı			
VÇ 35	350	220	22	140-170
VÇ 40	400	250	15	140-202
VÇ 45	450	310	10	140-225
VÇ 50	500	320	7	153-245
VÇ 60	600	370	3	192-277
VÇ 70	700	420	2	228-302
VÇ 80	800	480	2	248-351
VÇ 100	1000	700	2	270-360

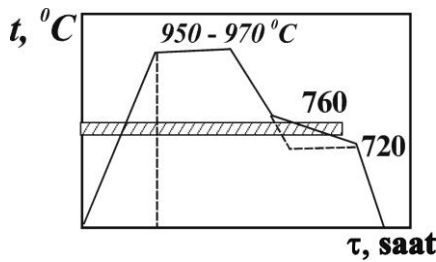
Yüksəkmöhkəmlikli çuqunlar QOST 7293-85 əsasən VÇ hərfləri ilə və rəqəmlərlə markalanır. Rəqəmlər boz çuqunda olduğu kimi kq/mm² ilə dartılmada müvəqqəti müqaviməti göstərir. Cədvəl 4-də yüksək möhkəmlikli çuqunların mexaniki xassələri verilmişdir. Bu çuqunlardan avtomobil və

dizellərin dirsəkli valları, yayma dəzgahlarının, dəmirçi pres avadanlığının və s. bir çox detalları hazırlanır.

Son zamanlar boz çuqunla yüksəkmöhkəmlikli çuqun arasında yer tutan vermikulyar qrafitli çuqundan da istifadə edilir. Bu çuqunda qrafit dənəcikləri burulmuş (qurdvarı) şəkildə olur. Vermikulyar qrafitli çuqun modifikasiya edilərkən maqneziumun miqdarı 0,015-0,04%-dək azaldılır, liqaturaya 0,2-0,5% *Ti*, 0,001-0,01% *Se* əlavə edilir. Çox zaman isə əsasən nadir torpaq elementlərdən, xüsusən ferrosoriumdan istifadə edilir.

Döyülən çuqun qrafit dənələrinin kiləkəşəkili olması ilə fərqlənir. Bu çuqunların adının döyülən olması şərtidir, onlardan məmulları plastik deformasiya yolu ilə yox, tökmə ilə alırlar.

Döyülən çuqunu ağ çuqun töküklərindən xüsusi qrafitləşdirici tabalma üsulu ilə alırlar. Çuqunun tərkibi adətən 2,2-3,0% *C*, 0,7-1,5% *Si*, 0,3-1,0% *Mn*, 0,2% *P*, 0,1% *S* ibarət olur. Maye çuqunu qəlibə tökdükdən sonra sürətlə soyudaraq əvvəlcə ağ çuqun strukturu alırlar. Sonra töküyü uzun müddət ərzində (2 sutkaya qədər) tabalmaya uqradırlar.



Tabalma iki mərhələdə aparılır. Birinci mərhələdə töküyü 950-970 °C qədər qızdırıb bir müddət saxlayırlar (şəkil 44). Bu zaman ledeburitin tərkibində olan sementit parçalanır və austenit+qrafit strukturu yaranır. Əmələ gələn qrafit kiləkəşəkili olur. Sonra töküyü evtektoid çevrilmə temperaturunadək soyudurlar. Həmin vaxt austenitdən ayrılan ikinci sementitin parçalanması nəticəsində qrafit dənələri bö-

yüyür. Evtektoid çevrilmə temperaturu intervalında (740-760 °C) soyutmanın sürətini kəskin sürətdə azaldır və ya bir az aşağı temperaturda (720 °C) uzun müddət saxlayırlar. Bu zaman qrafitləşmənin ikinci mərhələsi baş verir-austenitin parçalanmasından ferrit+qrafit strukturu alınır. Belə çuqunun tam soyudulmadan sonra strukturu ferrit+qrafit olur. Bu çuquna ferritli döyülən çuqun deyilir.

Evtektoid temperaturundan aşağı soyutma sürətlə aparılırsa austenitin parçalanması nəticəsində perlit alınır, çuqunun strukturu perlit+qrafit olar. Belə çuqunlar isə perlitli döyülən çuqun adlanır. Döyülən çuqun QOST 1215-79 əsasən KÇ hərfləri və rəqəmlərlə markalanır. Birinci rəqəm müvəqqəti müqavimətin, ikinci rəqəm isə nisbi uzanmanın qiymətini göstərir. Cədvəl 5-də döyülən çuqunların mexaniki xəssələri verilmişdir.

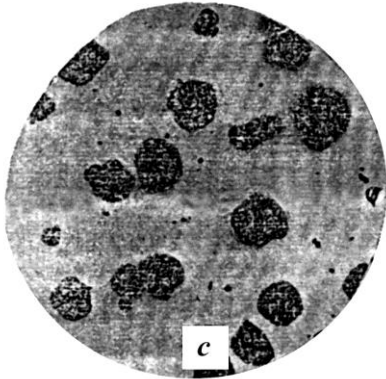
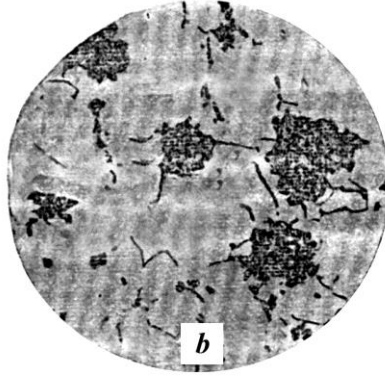
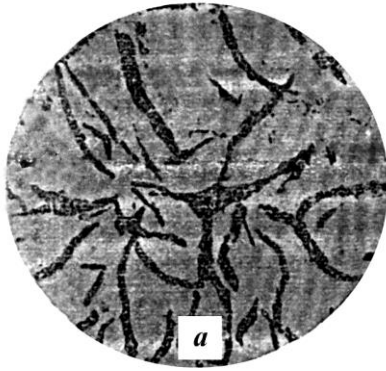
Döyülən çuqun töküklərini zərbəli və vibrasiyalı yük altında işləyən detallar (karterlər, reduktorların gövdəsi, muftalar, flənslər) üçün işlədirlər.

Cədvəl 5

Döyülən çuqunların mexaniki xassələrin (QOST 1215-79)

Çuqunun markası	σ_m , MPa	δ , %	Bərklik, NV
KÇ 33-8	330	8	165
KÇ 37-12	370	12	163
KÇ 50-4	500	4	241
KÇ 60-3	600	3	269

Şəkil 45-də çuqun strukturunda qrafitin müxtəlif formaları göstərilmişdir.



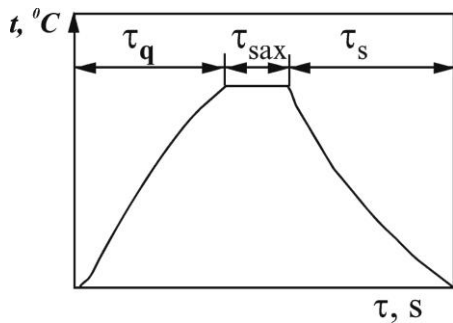
5. Termiki emalın nəzəri əsasları

Ümumi məlumat

Metal və ərintilərin strukturunu və xassələrini dəyişmək məqsədi ilə onların istilik təsiri ilə emalı prosesi kompleksinə termiki emal deyilir. Bu təsir kimyəvi, mexaniki (deformasiya), maqnit və s. təsirləri ilə eyni zamanda edilə bilər.

Termiki emal müasir texnikada metal və ərintilərin xassələrini optimal istiqamətdə dəyişmək üçün ən geniş yayılmış emal üsuludur. Termikli emal həm metalın kəsmə, təzyiq və s. üsulla emalının yaxşılaşdırılması üçün aralıq əməliyyat, həm də tələb olunan fiziki-mexaniki xassələri təmin etmək üçün son əməliyyat kimi tətbiq edilə bilər.

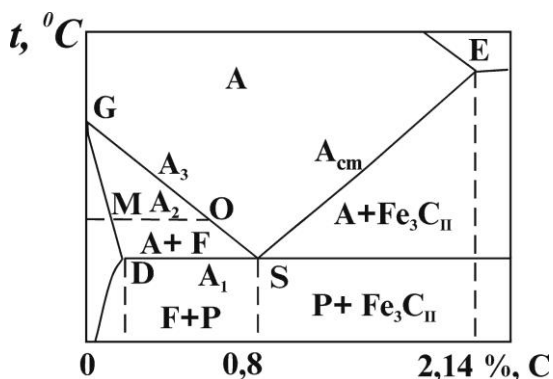
Hər hansı termiki əməliyyatın əsas amilləri temperatur və vaxt olduğu üçün termiki emal rejimini $t - \tau$ və ya $t - \lg \tau$ koordinatlarında qurulmuş qrafik



(şəkil 46) kimi vermək olar (t – temperatur, τ – vaxtdır).

Termiki emal zamanı baş verən struktur dəyişiklikləri nəticəsində ərinti müvazinət və ya qeyri-müvazinət (metastabil) halında ola bilər. Müvazinət halı ərintidə gedən bütün proseslər başa çatdıqda əmələ gəlir. Bu halda ərintinin quruluşu hal diaqramına uyğun olacaq. Ərintidə gedən proseslər başa çatmadığı şəraitdə qeyri-müvazinət halı alınır.

Poladın böhran temperatur nöqtələri A (fransızca «*arret*» – «*dayanma*» sözündən) ilə işarə edilir. Dəmir-karbon hal diaqramında qızma zamanı perlitin austenitə çevrildiyi eutektoid çevrilmə PSK xəttinin (727 °C) böhran nöqtələri A_1 , maqnit çevrilməsinə xarakterizə edən MO xəttinin (768 °C) böhran nöqtələri A_2 ilə işarə edilir (şəkil 47). Soyuma zamanı austenitdən ferritin ayrılması başlanan, qızma zamanı isə ferritin austenitə çevrilməsi qurtaran COS xəttinin böhran nöqtələrini A_3 ilə işarələndirilir. Qızma zamanı ikinci sementitin austenitdə həll olmasının başa çatdığı SE xətti nöqtələri A_{cm} ilə işarələnir.



Kristallaşmanın əsaslarını öyrənərkən qeyd etmişdik ki, prosesin getməsi üçün müvazinət halından müəyyən qədər ifrat soyuma və ya ifrat qızma tələb olunur. Ona görə də böhran temperaturlarını

işarə etmək üçün qızmada «c» hərfi (fransızca «*chauff*» – «qızma» sözündən), soyumada isə «r» hərfi (fransızca «*refroidissement*» – «soyuma» sözündən) əlavə edilir: A_{c_1} və A_{r_1} ; A_{c_3} və A_{r_3} yazılır. Məsələn, A_{c_1} nöqtəsi $p \rightarrow A$ çevrilməsinə, A_{r_1} isə $A \rightarrow p$ çevrilməsinə uyğun gəlir.

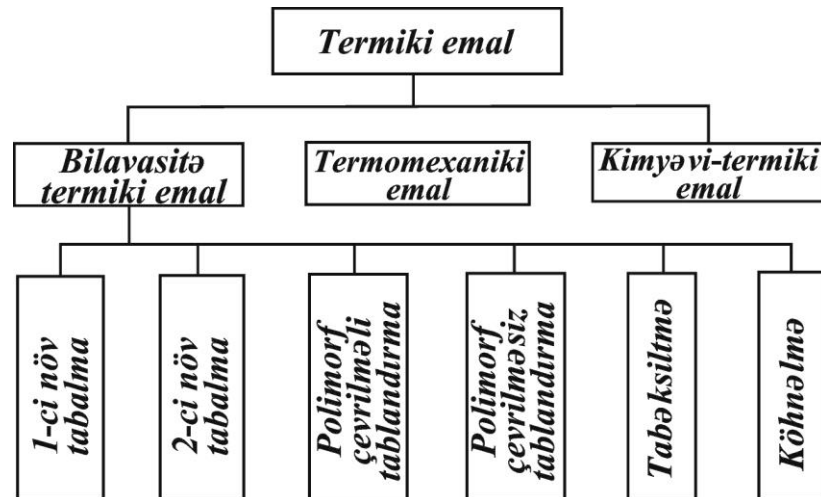
Termiki emal zamanı qızmanın ümumi vaxtı verilmiş temperaturadək qızma – τ_q və həmin temperaturda çevrilmələrin başa çatması üçün saxlama – τ_b vaxtından ibarətdir. Qızma vaxtı sobanın tipindən, məmulların ölçüsündən və onların sobaya düzülmə qaydasından, materialın tərkibindən asılıdır.

Polad məmulu sobada qızdırarkən onun oksigenlə qarşılıqlı təsiri ($C+O_2 \rightarrow CO_2$ reaksiyası) nəticəsində səthin karbonsuzlaşması və $2Fe+O_2 \rightarrow 2FeO$ reaksiyası nəticəsində kütlənin 1-3% faizi qədər qəlpə əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Termiki emalın növləri

Termiki emalın növləri əsasən A.A.Boçvarın təsnifatına uyğundur. Metalların termiki emalı bilavasitə termiki emaldan, termomexaniki emaldan və termokimyəvi emaldan ibarətdir (şəkil 48).

Bilavasitə termiki emala 1-ci növ tabalma, 2-ci növ tabalma, polimorf çevrilməli tablandırma, polimorf çevrilməsiz tablandırma, tabəksiltmə və köhnəlmə aiddir.



Şəkil 48. Termiki emal növlərinin təsnifatı

Tabalma əvvəlki texnoloji əməliyyatlar nəticəsində qeyri-müvazinət halında olan metalın qızdırılaraq daha müvazinətli hala gətirilməsindən ibarət

termiki əməliyyatdır. 1-ci növ tabalmada müvazinət halının yaranması atomların diffuziyası, rekristallizasiya, kristal qəfəsi təhriflərinin və daxili gərginliklərin aradan qaldırılması hesabına əldə edilir, faza çevrilmələri burada rol oynamır. 2-ci növ tabalmada isə müvazinət halı faza çevrilmələri hesabına yaranır. Ona görə də 2-ci növ tabalmada metal böhran temperaturlarından yuxarı temperaturadək qızdırılır.

Tablandırma metalın müəyyən temperaturadək qızdırılıb sürətlə soyudulması nəticəsində qeyri-müvazinət halına gətirilməsindən ibarətdir. Polimorf çevrilməli tablandırmada metal faza çevrilmə temperaturundan yuxarı temperaturadək qızdırılır. Bu növ tablandırma dəmir-karbon ərintiləri üçün xarakterdir. Polimorf çevrilməsiz tablandırmada isə ərintinin izafi fazanın tam həll olub bircinsli struktur əmələ gətirənədək qızdırılmasından və strukturca qeyri-dəyanətli olan ifrat doymuş bərk məhlul alınması üçün sürətlə soyudulmasından ibarətdir.

Tabəksiltmə tablandırılmış metalın faza çevrilmə temperaturundan aşağı temperaturadək qızdırılaraq nisbətən müvazinət halına qaytarılması əməliyyatına deyilir.

Köhnəlmədə metalın müvazinət halına qayıtması otaq temperaturunda uzun müddət saxlama və ya bir qədər qızdırılma nəticəsində baş verir.

Termiki emal zamanı poladın əsas çevrilmələrini xarakterizə edən strukturlar aşağıdakılardır:

1. Austenit A – karbonun γ -dəmirdə bərk məhlulu – $Fe_{\gamma}(C)$.
2. Martensit M – karbonun α -dəmirdə ifrat doymuş bərk məhlulu – $Fe_{\alpha}(C)$.
3. Ferrit F – karbonun α -dəmirdə bərk məhlulu – Fe_{α} .
4. Perlit P – ferritlə sementinin evtektoid qarışığı – $Fe_{\alpha}+Fe_3C$

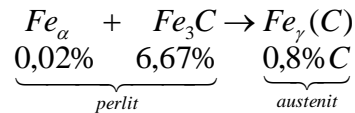
Poladın termiki emalı prosesində aşağıdakı dörd əsas çevrilmə baş verir:

1. Polad qızdırıldıqda baş verən çevrilmə – perlitin austenitə çevrilməsi $P \rightarrow A$ və ya $Fe_{\alpha}+Fe_3C \rightarrow Fe_{\gamma}(C)$.
2. İfrat soyudulmuş austenitin izotermik çevrilməsi – $A \rightarrow P$ və ya $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_{\alpha}+Fe_3C$.
3. Austenitin sürətlə soyudulduqda martensitə çevrilməsi – $A \rightarrow M$ və ya $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_{\alpha}(C)$.
4. Martensitin və qalıq austenitin qızdırıldıqda çevrilməsi.

Poladın qızdırılması zamanı baş verən çevrilmələr

Poladın qızdırılması zamanı baş verən çevrilmələr haqqında ümumi anlayışı $Fe-Fe_3C$ diaqramından almaq olar. Bunu evtektoid poladı (0,8%C) nümunəsində müşahidə edək.

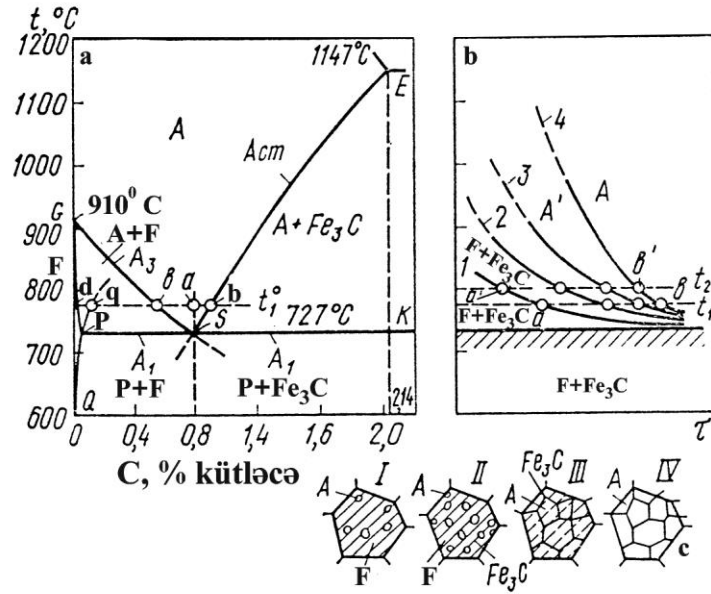
Evtektoid poladını böhran A_{c_1} temperaturundan bir qədər yuxarı temperaturadək qızdırdıqda perlit austenitə çevrilir:



Perlit (ferrit+sementit) strukturunun austenitə çevrilməsi $\alpha \rightarrow \gamma$ polimorf çevrilməsindən və bunun nəticəsində əmələ gəlmiş azkarbonlu austenitdə sementitin həll olmasından ibarətdir.

Evtektoidəqədər polad (məsələn 0,5% karbonlu) qızdırıldıqda A_{c_1} xəttindən yuxarıda perlit austenitə çevrildikdən sonra austenit+ferrit ($Fe_{\gamma}(C)+Fe_{\alpha}$) strukturu yaranır, həm də austenitin tərkibində 0,8%C olur (perlit tərkibli). $A_{c_1} - A_{c_3}$ intervalında ferrit austenitə çevrilir. Bu zaman austenitin tərkibində karbon COS xətti boyu azalaraq 0,5 faizə enir. Evtektoiddən sonrakı poladda da proses uyğun qaydada gedir. A_{c_1} temperaturunda $P \rightarrow A$ çevrilməsi baş verir. $A_{c_1} - A_{cm}$ intervalında isə sementit austenitdə həll olur və onu SE xətti boyunca karbonla zənginləşdirir (şəkil 49).

Perlitin austenitə çevrilməsi kristallaşma prosesidir. Bu proses kristallaşmanın ümumi qanunauyğunluqlarına tabe olur və austenit rüşeymlərinin əmələ gəlməsi və böyüməsi yolu ilə baş verir. Austenitin tərkibi həm ferritin, həm də sementitin tərkibindən fərqli olduğu üçün polimorf çevrilmə ilə yanaşı karbon atomlarının xeyli məsafəyə keçməsi üçün diffuziya da baş verir.

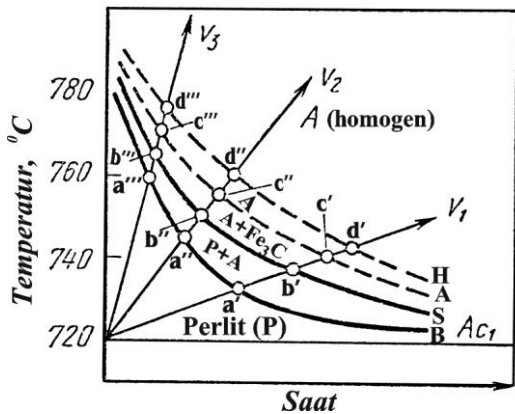


Şəkil 49. Polad qızdırıldıqda baş verən çevrilmələr: a – qızdırılma prosesində faza tərkibinin dəyişməsi; b – qızdırılma prosesində struktur dəyişikliklərinin sxemi – I-IV perlitin austenitə çevrilmə mərhələləri

Austenit rüşeymi ferrit və sementit kristallarının sərhəddində yaranır. Bu rüşeymlər karbon atomlarının diffuziyası və $\alpha \rightarrow \gamma$ çevrilməsi nəticəsində böyüməyə başlayır. Beləliklə austenit dənələri yaranır. Ferritin tamamilə austenitə çevrilməsindən sonra strukturda bir müddət bir qədər sementit qalır. Bu sementitin həll olması üçün müəyyən qədər vaxt və ya temperaturun artırılması lazımdır.

Sementitin austenitdə həll olması başa çatdıqdan sonra bir fazalı austenit strukturu əmələ gəlir. Lakin karbonun tərkibinə görə bu austenit hələ bircinsli (homogen) deyil. Austenit kristallarında karbonun konsentrasiyasının diffuziya yolu ilə bərabərləşməsi üçün əlavə vaxt lazımdır.

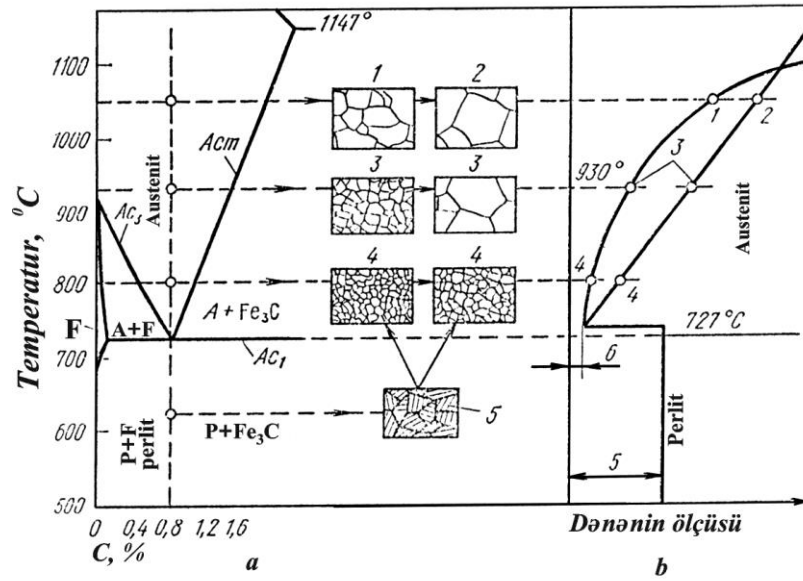
Austenitin izotermik əmələ gəlmə diaqramı ferrit-sementin strukturunun qızdırıldıqda çevrilməsi haqqında yaxşı təsəvvür yaradır (şəkil 50). Şəkildən görüldüyü kimi temperatur artdıqca çevrilmənin sürəti artır.



Diaqram (şəkil 50) temperatur–vaxt ($t-\tau$) koordinatlarında qurulduğu üçün ona V_1 , V_2 , V_3 qızma sürətlərini əlavə etmək olar. Belə olduqda fasiləsiz qızma şəraitində $P \rightarrow A$ çevrilməsi sabit temperaturda yox, müəyyən temperatur intervalında (V_1 sürətində $a'b'c'd'$, V_2 sürətində $a''b''c''d''$, V_3 sürətində $a'''b'''c'''d'''$) baş verir. Şəkildən görüldüyü kimi qızma sürəti böyük

olduqca çevrilmə daha yüksək temperaturda baş verir.

Qızmada austenit dənəsinin böyüməsi. $P \rightarrow A$ çevrilməsi başa çatdıqda austenitin ilkin dənəsi yaranır. Bu dənənin ölçüsü vahid zamanda yaranan rüşeymlərin kristal mərkəzlərinin sayından və onların böyümə sürətindən asılı olur. Perlitdə ferrit və sementit hissəcikləri nə qədər kiçik olarsa, austenitin ilkin dənəsi bir o qədər kiçik olar. Dənələrin böyüməsi sistemin sərbəst enerjisinin dənələrin səthinin kiçilməsi nəticəsində azalma meylinə uyğun olaraq kiçik dənələrin birləşməsi hesabına baş verir.



Şəkil 51. Tərkibində 0,8%C olan poladdın dənələrinin böyümə sxemi: 1 – irsi xırdadənəli polad; 2 – irsi iridənəli polad; 3 – irsi dənə; 4 – termiki emal üçün qızdırılma zamanı alınan dənə; 5 – ilkin perlit dənəsi; 6 – başlanğıc austenit dənəsi

Çevrilmə və sementitin austenitdə həll olması başa catdıqdan sonra çevrilmə temperaturunda saxlama və ya temperaturun artırılması austenit dənələrinin böyüməsinə səbəb olur.

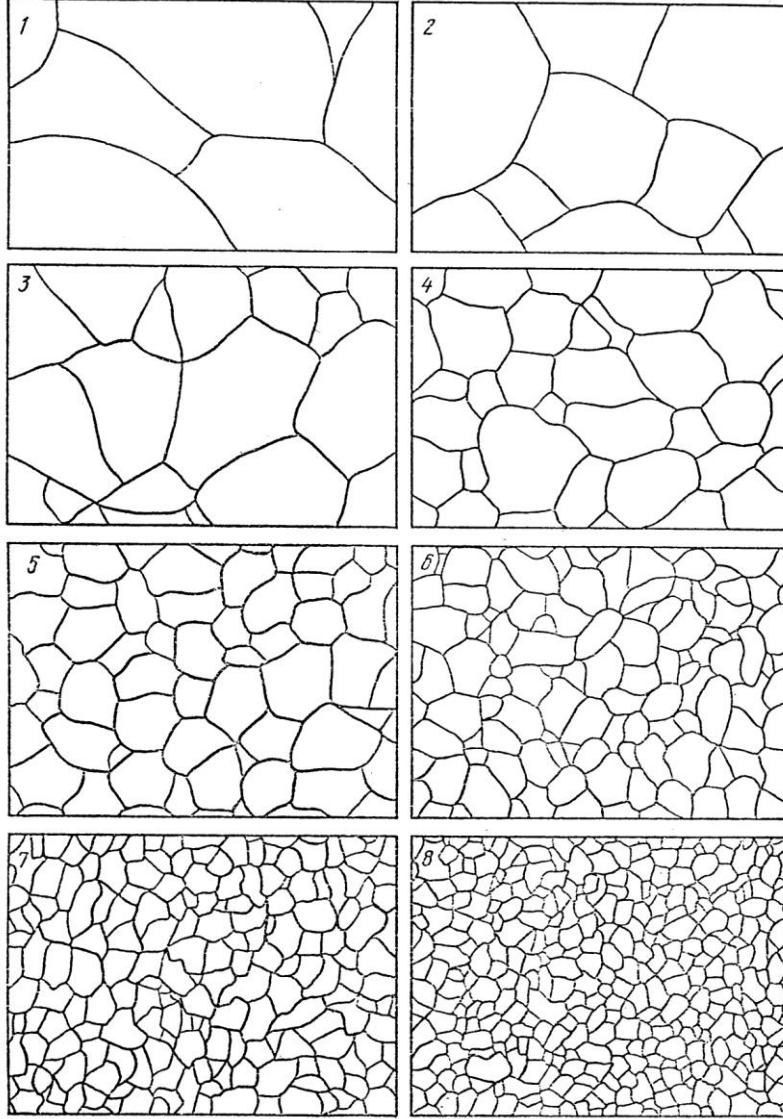
Austenit dənəsinin böyümə meyliyindən asılı olaraq poladlar irsi iridənəli və irsi xırdadənəli poladlara bölünür (şəkil 51). İrsi iridənəli poladlarda austenit dənəsi azacıq ifrat qızma nəticəsində kəskin sürətdə böyüyür. Bu poladlara ferrosilisiyum və ya ferromanqan ilə oksigensizləşdirilən poladlar aiddir.

İrsi xırdadənəli poladlarda austenit dənəsi 1000-1050 °C temperaturadək çox az böyüyür. Daha çox qızdırıldıqda isə dənələrin kəskin böyüməsi müşahidə edilir. Polad alüminium ilə oksigensizləşdirildikdə irsi xırdadənəlik xassəsi qazanır. Bu ondan əmələ gəlir ki, strukturda əmələ gələn alüminium nitridi dənələrin sərhədlərində yerləşir və 1000-1050 °C-dək austenitdə həll olmadığı üçün onun dənələrinin böyüməsini tormozlayır. Daha yüksək temperaturda *AlN* austenitdə həll olduğu üçün dənələrin kəskin böyüməsi başlayır. *Ti*, *V*, *Nb*, *Zr* və s. kimi legirləyiçi elementlər də austenit dənələrinin böyüməsinin qarşısını alır.

Şəkil 51-də tərkibində 0,8%C olan poladın dənələrinin böyümə sxemi verilmişdir.

Austenit dənəsi böyük olduqca poladın otaq temperaturunda həqiqi dənəsi də böyük olur. Poladın həqiqi dənəsinin ölçüsü, onun mexaniki xassələrinə ciddi təsir edir. Həqiqi dənənin böyüməsi σ_m , $\sigma_{0,2}$, δ və ψ -ni, xüsusən zərbə özlülüyünü aşağı salır və soyuq sınma temperaturunu yüksəldir.

Polad dənəsinin ölçüsü QOST 5639-82-yə görə 1-dən 15-dək balla qiymətləndirilir. Dənənin balı şlifin 1 mm²-də olan dənələrinin sayı ilə düz mütənasibdir. Şəkil 52-də poladın dənəverlik şkalası verilmişdir (rəqəmlər dənəverlik balını göstərir).



Şekil 52. Poladın denev rl k Őkalası $\times 100$

5.4. İfrat soyudulmuş austenitin çevrilməsi

A_1 nöqtəsindən aşağı temperaturda austenit ferrit və sementitə parçalanır – $Fe_\gamma(C) \rightarrow Fe_\alpha + Fe_3C$. Bu parçalanma istər fasiləsiz soyuma şəraitində, istər də sabit temperaturda – izotermik şəraitdə gedə bilər.

A_1 nöqtəsindən aşağı temperaturda austenitin sərbəst enerjisi ferrit-sementit qatışıqının sərbəst enerjisindən çox olur. Beləliklə, ifrat soyudulmuş austenit dəyanətsiz olur. Eyni zamanda yeni yaranan ferrit və sementit fazaları tərkibcə austenitdən fərqləndiyi üçün çevrilmə diffuziya xarakteri daşıyır-karbon diffuziya yolu ilə fazalar arasında paylanır.

Beləliklə, temperatur aşağı düşdükcə bir tərəfdən sərbəst enerjilər fərqi artması nəticəsində $A \rightarrow P$ çevrilməsi sürətlənir, digər tərəfdən karbon atomlarının diffuziya sürəti azaldığı üçün çevrilmə ləngiyir.

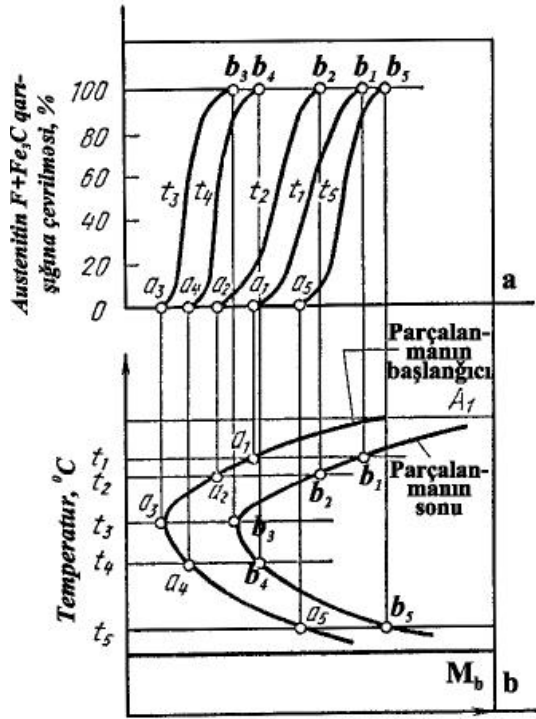
Austenitin perlitə çevrilmə prosesi müəyyən zaman ərzində baş verir. Bu proses əmələ gəlmiş perlitin zamandan asılılığını göstərən kinetik çevrilmə əyrisi ilə təsvir edilə bilər. Şəkil 53.a-da müxtəlif temperaturlar üçün izotermik şəraitdə baş verən kinetik çevrilmə əyriləri göstərilmişdir. Çevrilmənin əvvəli çox kiçik sürətlə xarakterizə olunur. Bu əslində inkubasiya dövrüdür. Sonra çevrilmə sürəti artır və austenitin miqdarı azaldıqca çevrilmə sürəti yenidən azalmağa başlayır. Şəkildə a (a_1, a_2, a_3, \dots) çevrilmənin başlanğıcı, b (b_1, b_2, b_3, \dots) çevrilmənin qurtarma nöqtəsidir.

Çevrilmənin sürəti ifrat soyuma dərəcəsiindən asılıdır. Beləki, ifrat soyuma dərəcəsinin kiçik qiymətlərində sərbəst enerjilər fərqi az olduğu üçün, nisbətən böyük qiymətlərində isə atomların diffuziya hərəkətliliyi zəif olduğu üçün çevrilmə yavaş gedir.

Müxtəlif temperaturlar üçün çevrilmənin başlanma (a_1, a_2, a_3 və s.) və qurtarma (b_1, b_2, b_3 və s.) nöqtələrini diaqram köçürəriksə, austenitin izotermik çevrilmə diaqramını alarıq (şəkil 53.b). Əyrilərin şəkli «C» hərfinə bənzədiyi üçün bu diaqramı çox zaman C-şəkili diaqram adlandırırlar. Diaqramda aşağıdakı sahələri qeyd etmək olar:

1. dəyanətli austenit sahəsi;
2. ifrat soyudulmuş austenit sahəsi;
3. qismən $A \rightarrow P$ çevrilməsi baş vermiş sahə;
4. $A \rightarrow P$ çevrilməsinin qurtardığı sahə;

5. diffuziyasız martensit çevrilməsinin başladığı sahə (martensit çevrilməsi haqqında aşağıda ayrıca danışılacaq);



6. martensit çevrilməsinin başa çatdığı sahə.

Austenitin çevrilmə məhsulunun quruluşu və xassələri çevrilmə prosesinin hansı temperaturda getməsindən asılıdır. İfrat soyuma dərəcəsi kiçik olduqda, yeni çevrilmə yüksək temperaturda (650-700 °C) baş verdikdə lövhə şəkilli struktura malik olan kobud ferrit-sementit qatışıq alınır. Bu qatışıq perlit adlanır.

İfrat soyuma dərəcəsi artdıqca kristal mərkəzlərinin sayı artır və nəticədə ferrit və sementit lövhələrinin ölçüsü kiçilir. Başqa sözlə temperatur aşağı düşdükcə austenitin çevrilmə məhsulunun dispersliyi artır. 600-650 °C temperaturda sorbit, 550-600 °C temperaturda isə

troostit adlanan struktur əmələ gəlir.

Perlit, sorbit və troostit eyni təbiətli strukturdurlardır, yəni hər üç struktur ferritlə sementinin lövhəşəkilli evtektoid qatışıqıdır. Onları fərqləndirən cəhət strukturun disperslik dərəcəsidir.

Strukturun dispersliyi ərintinin mexaniki xassələrinə ciddi təsir göstərir. Disperslik artdıqca bərklik, axıcılıq həddi ($\sigma_{0,2}$), müvvəqəti müqavimət (σ_m) artır. Məsələn, perlitin bərkliyi 180-250 HB, sorbitin bərkliyi 250-350 HB, troostitin bərkliyi 350-450 HB-dir. Ən yüksək plastiklik, nisbi uzanma və nisbi daralma sorbitə xas olur.

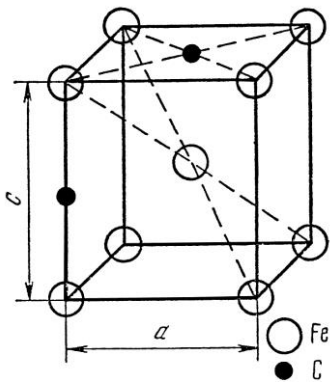
Perlit tipli strukturlar (perlit, sorbit və troostit) sementitin formasından asılı olaraq lövhəvari və dənəvər ola bilər. Lövhəvari struktur bircinsli (homogen) austenitin çevrilməsindən, dənəvər struktur isə bircinsli olmayan austenitin çevrilməsindən əmələ gəlir. Məsələn, evtektoiddən sonrakı poladın lövhəvari strukturunu almaq üçün onu A_{cm} temperaturundan yuxarı, dənəvər strukturunu almaq üçün isə $A_{c1} - A_{cm}$ intervalı arasında qızdırmaq lazımdır.

Çevrilmə 500 °C-dən aşağı temperaturda getdikdə beynit adlanan iynəvari struktur əmələ gəlir. Beynit strukturu perlit strukturlarından ferritdə karbonun miqdarının çox olması ilə də fərqlənir.

5.5. Austenitin martensitə çevrilməsi

İfrat soyuma dərəcəsinin çox böyük qiymətlərində austenitin kristal qəfəsi dəyanətsiz olur, lakin karbon atomlarının diffuziya sürəti o qədər kiçilir ki, diffuziyayı nəzərə almamaq olar. Belə şəraitdə, məsələn, evtektoid poladı 240 °C-dən aşağı temperaturadək soyudulduqda ancaq kristal qəfəsinin tipi dəyişir ($\gamma \rightarrow \alpha$ çevrilməsi baş verir), austenitin qəfəsində həll olmuş karbon isə α -qəfəsdə qalır. Beləliklə, α -dəmirdə müvazinət halında karbonun miqdarı 0,02%-dən çox olmadığı halda diffuziyasız çevrilmədə α -dəmirdə karbonun miqdarı austenitdəki qədər olur, başqa sözlə $Fe_{\gamma}(C) \rightarrow Fe_{\alpha}(C)$ çevrilməsi baş verir. Belə struktura martensit deyilir. Martensit karbonun dəmirdə qismən nizamlanmış ifrat doymuş bərk məhluludur.

Martensitin kristal qəfəsi karbonla ifrat doymuş olduğu üçün α -dəmirin kub qəfəsi pozularaq tetraqonal forma alır $c/a \neq 1$ (şəkil 54). Karbonun miqdarı artdıqca martensitin kristal qəfəsinin tetraqonallığı artır. Martensit kristalları iynəvari formaya malik olur.

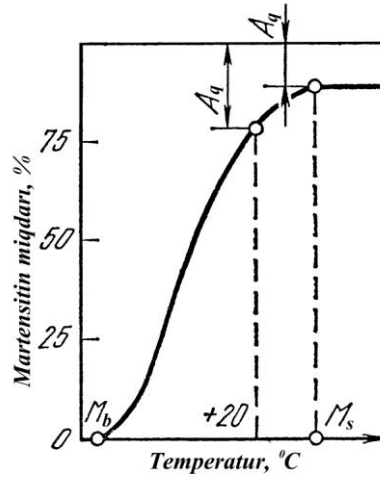


Kristal qəfəsinin pozulması ilə əlaqədar olaraq martensit yüksək möhkəmliyə (65 HRC – qədər) malik olur. Martensit başqa strukturlara nisbətən daha böyük xüsusi həcmə malik olur. Bu isə martensit çevrilməsi zamanı poladın həcmnin artmasına, nəticədə məmulda daxili gərginliklər, qabarma və ya hətta çatlar əmələ gəlməsinə səbəb olur.

Martensit çevrilməsi müəyyən M_b temperaturunda başlayır və M_s – çevrilmənin sonu temperaturunadək davam edir. Çevrilmənin başlanğıcı və sonu temperaturları poladın tərkibindən – karbonun və legirleyici elementlərin miqdarından asılıdır. Poladın tərkibində karbonun miqdarı artdıqca M_b və M_s temperaturlarının qiyməti aşağı düşür.

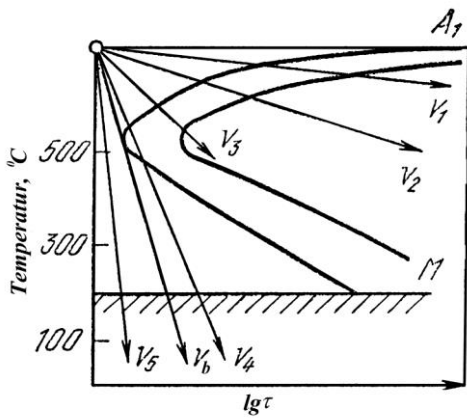
Əgər M_b - M_s temperatur dayandı-rılsa martensit Bu, eyni zamanda stabilləşməsinə və etdirdikdə onun çevrilməsinin ləng

Poladın soyuması başa xüsusən M_s otaq olduqda (məsələn, olan və ya legirlənmiş müəyyən qədər austenit qalır. Buna qalıq austeniti martensit çevrilmə əyrisi verilmişdir.



intervalında soyuma çevrilməsi də dayanır. austenitin soyumunu davam martensitə getməsinə səbəb olur. çatdıqdan sonra, temperaturundan aşağı tərkibində 0,5-0,6% C poladlarda) strukturda martensitə çevrilmədən A_q deyirlər. Şəkil 55-də

Martensit çevrilməsi baş verməsi üçün polad elə sürətlə soyudulmalıdır ki,



M_b temperaturuna enənədək perlit çevrilməsi baş verməsin. Austenitin martensit çevrilməsinin başladığı M_b temperaturunadək soyumasını təmin edən minimal sürət tablamanın böhran sürəti adlanır. Böhran sürəti – V_b fasiləsiz soyudulma prosesində austenitin çevrilmə diaqramında göstərilmişdir (şəkil 56).

5.6. Beynit (aralıq) çevrilməsi

Beynit çevrilməsi perlit və martensit çevrilmələri arasındakı temperatur

intervalında baş verir. Beynit çevrilməsi nəticəsində əmələ gələn struktur martensit çevrilməsinə uğramış və bir qədər ifrat doymuş α -bərk məhluldan və karbid hissəciklərindən ibarətdir.

Beynit yuxarı və aşağı beynit strukturlarına bölünür. 500-350 °C temperaturda əmələ gələn beynit lələkvarı şəkildə olur. Karbid perlitdə olduğu kimi lövhə şəklində yox, təcrid olunmuş dar hissəciklər şəklində ayrılır. Aşağı beynit 350 °C-dən M_b temperaturunadək soyudulduqda alınır və iynəvarı quruluşa malik olur. Bu struktur azkarbonlu martensitə oxşayır. Yuxarı beynitdə karbid hissəcikləri α -faza lövhələrinin daxilində yerləşir.

Austenitin perlit çevrilmə məhsuluna nisbətən yuxarı beynitin plastikliyi azdır, bərkliyi və möhkəmliyi (σ_m , $\sigma_{0,2}$) isə demək olar ki, dəyişmir. Aşağı beynit isə sorbit və troostitə nisbətən daha yüksək bərkliyə və möhkəmliyə malik olur.

5.7. Martensitin və qalıq austenitin qızdırıldıqda çevrilməsi. Poladın tabəksiltməsi

Tabəksiltmə martensit və qalıq austenit strukturlu tablandırılmış poladın A_{c1} -dən aşağı temperaturadək qızdırılması, bu temperaturda saxlanması və soyudulmasından ibarətdir. Martensit karbonun α -dəmirdə ifrat doymuş bərk məhlulu $Fe_{\alpha}(C)$ olduğu üçün, o qeyri-müvazinət halındadır və qızdırıldıqda müvazinət halı bərpa olunduğu üçün struktur dəyişiklikləri baş verir.

Qızma zamanı bərk məhlulun – martensitin parçalanması diffuziya xarakteri daşdığı üçün prosesin sürəti əsasən qızma temperaturundan asılı olur, həm də yadda saxlayaq ki, proses həcmnin dəyişməsilə müşayiət olunur.

Tablandırılmış poladın qızdırılması – tabəksiltmə zamanı çevrilmələr aşağıdakı dörd mərhələdə gedir.

Tabəksiltmədə birinci mərhələ martensitin parçalanmasıdır. Bu mərhələ 80-200 °C-də baş verir. Bu zaman α -məhluldan (martensitdən) karbon ayrılaraq bərk məhlulla koqerent əlaqədə olan karbid əmələ gətirir. Eyni zamanda kristal qəfəsin parametrlərinin nisbəti vahidə yaxınlaşır, tetraqonal qəfəs kub qəfəsə yaxınlaşır. Yaranan struktur tabəksildilmiş martensit adlanır.

İkinci mərhələ 250-350 °C temperaturda baş verir. Bu mərhələdə bərk məhluldan karbonun ayrılması və karbit (sementit) əmələ gəlməsi davam edir. Kristal qəfəsin tetraqonallığı daha da azalır və 300-350 °C temperaturda $c/a \approx 1$ olur. Bu isə bərk məhlulda (martensitdə) qalan karbonun miqdarının müvazinət halına yaxınlaşdığını göstərir. Martensitin parçalanması poladın həcmnin kiçilməsinə səbəb olur.

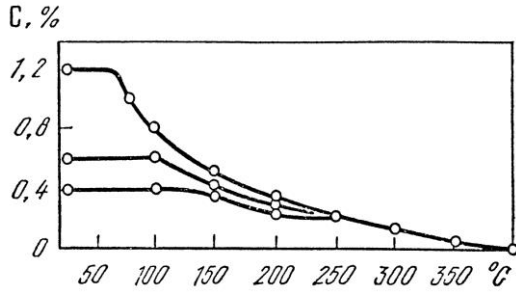
Bu mərhələdə eyni zamanda qalıq austenitin çevrilməsi də baş verir. Qalıq austenitin çevrilmə məhsulu tabəksildilmiş martensit adlansa da, strukturuna görə o, ifratsoyumuş aus-tenitin beynit çevrilmə məhsuluna oxşayır.

Üçüncü mərhələ 350-450 °C temperaturda baş verir. Bu mərhələdə α -bərk məhluldan karbonun ayrılmasının intensivliyi artır. Nəticədə α -məhluldan izafi karbonun ayrılması başa çatır, karbid hissəcikləri böyüməyə başlayır. Beləlikdə, 350-450 °C temperaturda tabəksiltmədən sonra poladın strukturu α -bərk məhlul kristallarından və kiçik dispersli sementit hissəciklərindən ibarət olur. Bu struktura tabəksiltmə troostiti deyilir.

Dördüncü mərhələdə (450 °C-dən yuxarı temperaturda) α -fazada quruluş qüsarları kəskin sürətdə azalır, karbidlərin pıxtalaşması (koaqulyasiya edilməsi) və sferoidləşməsi baş verir. Nəticədə, 500-600 °C temperaturda

karbid hissələri nisbətən iri ölçüdə olur. Bu struktura tabəksiltmə sorbiti deyilir.

Qızdırılma temperaturundan asılı olaraq α -bərk məhlulda (martensitdə karbonun miqdarının) dəyişməsi şəkil 57-da göstərilmişdir.



Tabəksiltmə troostiti və tabəksiltmə sorbiti-martensit strukturu daxilində əmələ gəldiyi üçün onlar da iynəvari şəkli saxlayır. Bununla da bu strukturlar austenitin ifrat soyumasında əmələ gələn sorbit və troostitin lövhəvari strukturundan fərqlənir.

Tabəksiltmə zamanı martensitin parçalanması poladın xassələrinə təsir göstərir. 200-250 °C-dək bərklik demək

olar ki, azalmır. Bu temperaturdan yuxarı qızdırıldıqda bərklik, müvəqqəti müqavimət σ_m və axıçılıq həddi $\sigma_{0,2}$ nəzərə çarpacaq dərəcədə azalır, nisbi uzanma δ , nisbi daralma ψ və zərbə özlülüyü artır.

Tabəksiltmə kövrəkliyi.

Tabəksiltmə zamanı bəzi poladların zərbə özlülüyü azalır. Buna tabəksiltmə kövrəkliyi deyilir.

Tabəksiltmə kövrəkliyi iki növ olur.

Birinci növ tabəksiltmə kövrəkliyi dönməz tabəksiltmə kövrəkliyi adlanır. Bu növ kövrəklik 300-400 °C-də tabəksiltmə nəticəsində baş verir. Bu kövrəklik martensitdən ayrılan karbid nəticəsində baş verir. Bu kövrəklik martensitdən ayrılan karbid hissəciklərinin dənələrin sərhədləri boyunca yığılması nəticəsində əmələ gəlir. Poladı 400 °C-dən artıq qızdırdıqda özlülüyü artır, bərkliyi və möhkəmliyi azalırsa da, təkrar 350-400 °C-dək qızdırdıqda tabəksiltmə kövrəkliyi baş vermir.

İkinci növ tabəksiltmə kövrəkliyi dönər tabəksiltmə kövrəkliyi adlanır. Bu növ kövrəklik, tablandırımadan sonra 500-550 °C intervalında yavaş soyutduqda və ya bu temperaturda uzun müddət saxladıqda bəzi legirlənmiş poladlarda baş verir. Əgər polad, tabəksiltmə temperaturundan sürətlə soyudularsa (məsələn, suda və ya yağda) kövrəklik əmələ gəlmir. Bu növ kövrəkliyin xarakter əlaməti onun dönərliyindədir. Əgər tabəksiltmə temperaturundan sürətlə soyudulan polad yenidən 500-550 °C qədər qızdırılıb saxlanılırsa və ya kiçik sürətlə soyudularsa ikinci növ tabəksiltmə kövrəkliyi təkrarən baş verir.

Dönər tabəksiltmə kövrəkliyinin səbəbi fosfor, sürmə və qalay atomlarının diffuziya nəticəsində dənələrin sərhədlərinə toplaşmasıdır. Polada 0,2-0,3% *Mo* və ya 0,5-0,7% *W* əlavə edilməsi onun dönər tabəksiltmə meyliyini xeyli azaldır.

Ədəbiyyat

1. S.M. Nəsirov, S.Ə. Qasimov, M.E. Məmmədov. Əlvan metal ərintiləri. Bakı 2015.
2. S.M. Mustafayev, S.Ə. Qasimov Materialşünaslıq və materialların emalı I hissə. Materialşünaslıq. Bakı, ADNA, 1994. 176 s.
3. Qasımzadə N.H. Metallar və başqa konstruksiya materiallarının texnologiyası. B., Maarif, 1975. 447 s.
4. R.İ. Şükürov Metalşünaslıq. Bakı, Çəşioğlu, 2002. 484 s.
5. S.M. Mustafayev. Plastik kütlələrin maşınqayırmada tətbiqi. Bakı, Azərneftnəşr, 1962. 116