

Машина және құрастырмалар бөлшектерінің жұмысының сенімділігін арттыру үшін термиялық өңдеу теориясының рөлі

Лектор: PhD, Султангазиев Р.Б.

ЖОСПАР

1 Термиялық өңдеу

2 Термиялық өңдеудің түрлері

3 Термиялық өңдеуге қолданатын жабдықтар

4 Қорытынды





Термиялық өңдеу деп – металдар мен қорытпалардан жасалған бұйымдардың құрылымы мен қасиеттерін берілген бағытта жылумен әсер ету арқылы өзгерту процессін атаймыз.

Бұл әсер химиялық, деформациялық, магниттік және басқа да әсерлермен бірге дүруі мүмкін. Термиялық өңдеу қазіргі заманда металдар мен қорытпалардың қасиеттерін өзгерту мақсатында кеңінен таралған әдіс. Термиялық өңдеуді технологиялық қасиеттерді жақсарту үшін (қысыммен, кесумен өңделгіштік) аралық операция және дайын бұйымның қажетті пайдалану сипаттамасын қамтамасыз ету үшін, металдар мен қорытпаларға механикалық, физикалық және химиялық қасиеттерінің кешенін қамтамасыз ететін соңғы операция ертінде қолданады.

Стандарттау бойынша А.А. Бочвардың комиссиясының сыныптауына сәйкес болаттар және түсті металдардың термиялық өңдеу түрлерінің сыныпталуы мен әртүрлілігі, сонымен қатар сәйкес терминологиясы жасалған болатын.

Термиялық өңдеу (ТӨ) келемі топтарға бөлінеді:

- ▶ жай термиялық;
- ▶ термия – механикалық (ТМӨ);
- ▶ химия – термиялық (ХТӨ).

Жай термиялық өңдеудің мәні металл немесе қорытпаға жылумен ғана әсер етуден; термия – механикалық өңдеу – жылумен қатар пластикалық деформацияның әсер етуінен; химия – термиялық өңдеу – жылумен бірге химиялық әсер ету арқылы жүзеге асырылады.

Металдар мен қорытпаларды жай жылудық өңдеу I – және II – текті жасыту, полиморфты түрленумен бірге жүретін шынықтыру,

I – текті жасыту. I – текті жасыту алдын – ала өңдеу кезінде пайда болған, тепе – теңдік күйден өзгерген ауытқуларды жартылай немесе толық жояды, бұл процесс кезінде фазалық түрленулердің болуы шартты емес. I – текті жасыту алдындағы процестерге құю, қысыммен өңдеу, пісіру, термиялық өңдеу және басқа да технологиялық процестер жатады.

I – текті жасытуға келесі топтарға бөлінеді:

- ▶ гомогенизациялық жасыту (диффузиялық);
- ▶ қайта кристалдануға дейінгі жасыту;
- ▶ қайта кристалданатын жасыту;
- ▶ кернеулерді азайтатын жасыту.

Гомогенизациялық жасыту (диффузиялық) – негізгі процесі дендриттік ликвация әсерлерін жою болып табылатын термиялық өңдеу түрі.

Дендриттік ликвация нәтижесінде қатты ерітінді кристалдарының ішінде химиялық біртектілік пайда болады және тұрақсыз артық фазалар пайда болуы мүмкін. Тепе – теңдік күйінен ауытқу нәтижесінде кристалдану процесінде құйылған қорытпа келесі кемшіліктерге ие болуы мүмкін:

- ▶ Дендриттік ликвация нәтижесінде артық фазалар (морт қосылыстардың ірі түйірлері, интерметаллиттер, карбиттер және т.с.с.) пайда болса, онда қорытпа созымдылығы төмендейді.
- ▶ Әртүрлі химиялық құрамға ие болатын дендриттік ұяшықтың орталық аймақтары және олардың шекаралары микрогальваникалық жұптар түзеді (электрохимиялық жемірілуге қарсы тұрақтылық төмендейді).
- ▶ Металдарды қысыммен өңдеу нәтижесінде әртүрлі химиялық құрамға ие болатын аймақтар созылады және қаланған құрылым пайда болуы мүмкін, ол шиферлік бұзылуға қабілеттілігінің жоғары болуын тудырады.
- ▶ Дендриттік ликвация қортыпаның солидус температурасын төмендетеді (балқыту туралы).
- ▶ Құйылған қортыпалардың құрылымы мен қасиеттері уақыт бойынша тұрақсыз (аққыштық құбылысының жылдамдауы).

Диффузиялық жасытуды (гомогенизациялық) легірленген болаттарға және алюминий қорытпа құймаларына және сонымен қатар басқа да құймаларға жүргізеді. Болат құймаларында диффузия нәтижесінде қатты ерітінді түйірлерінің көлемінде фосфордың, көміртегінің және легірлеуші элементтердің біртекті орналасуына қол жеткізуге болады. Болат құймаларының диффузиялық жасытуын $1100 - 1300^{\circ}\text{C}$ температурада 20–50 сағат ұстау арқылы жүргізеді. Алюминий қортыпалары үшін $420 - 520^{\circ}\text{C}$ температурада 20 – 30 сағат ұстау арқылы жүргізеді

Қайта кристалданатын және қайта кристалдануға дейінгі жасыту.

Қайта кристалдануға дейінгі жасыту – деформацияланған металдың немесе қорытпаның термиялық өңдеуі, мұндағы негізгі процесс қайтарылу болып табылады.

Қайтарылу деп – нүктелік және сызықтық ақауларды орын ауыстыруы нәтижесінде деформацияланған кристалдағы ақаулардың тығыздығы және орналасуының өз бетімен өзгеру процесінің жиынтығы.

Қайтарылу екі кезеңде жүреді: төмен температуралы – бірінші текті қайтарылу немесе демалыс; жоғары температуралы – екінші текті қайтарылу немесе полигонизация. Демалыс кезінде нүктелік ақаулардың (вакансиялардың) саны азаяды; демалыс құрылымда ешқандай өзгеріс тудырмайды: ішкі қалдық кернеулердің бір бөлігі жойылады, кристалдық тордың қисаюы жойылады.

Жоғары температураларға дейін қыздырған кезде деформацияланған металда қайта кристалдану әсерінен құрылым мен қасиеттердің күрт өзгеруі байқалады.

Қайта кристалданатын жасыту – деформацияланған металдың немесе қорытпаның термиялық өңделуі, мұндағы негізгі процесс қайта кристалдану болып табылады.

Пластикалық деформация кезінде түйірлердің кристалдық торы кең көлемдік бағытқа ие болады – деформация текстурасы пайда болады (кристаллиттер созу деформациясының бағытында созылады). Кеңістіктер түйірлердің орналасу бағыттары әртүрлі болғандықтан, деформация бір уақытта басталуы және барлық түйірлерде бірдей болуы мүмкін емес. Бірінше кезекте сырғу $30 - 70^\circ$ бұрышпен орналасқан түйірлер ісер ететін күш бағытына қарай өз сырғуын бастайды, ал содан кейін деформация дәрежесі өскен сайын барлық түйірлердің жазықтықтар бағыты өзгереді. деформация текстурасының түзілуі поликристалды металдардың анизотропты болуын тудырады. Пластикалық деформация кезінде өтетін барлық құрылымдық өзгерулер металдар мен қорытпалардың беріктенуін тудырады (қақтау). Пластикалық деформация металдар мен қорытпалардың физикалық қасиеттерінің өзгеруін тудырады: электр кедергісінің жоғарлауын, тығыздықтың төмендеуі, магниттік қасиеттердің өзгеруі. Қақталған металл жеміріліп бұзылуға бейім болады.

Пластикалық деформацияның нәтижесінде металдар мен қорытпаларда пайда болған күйі тұрақсыз болады: қақталған металл бос энергияның деңгейінің төмендеуімен тепе – теңдік күйге өз еркімен өтуге тырысады. Бұл процестің дамуына температура көп әсерін тигізеді.

Деформацияланған металдардың температурасы жоғарлағанда қайтарылу және қайта кристалдану процестері өтеді.

Қайта кристалдану – бұл жаңа деформацияланбаған түйірлердің пайда болуы және өсуі. Олар:

Бірінші текті қайта кристалдану – оларды қоршаған деформацияланған түйірлердің әсерінен жаңа деформацияланбаған түйірлердің пайда болу және өсу процессі; суықтай деформациялану нәтижесінде өзгерген құрылымды қалпына келтіреді. Талшықты құрылым түйірлерінен тұратын құрылымға ауысады. Қайта кристалдану түйірлері пайда болатын қыздырудың ең төменгі температурасы қайта кристалданудың басталу температурасы деп аталады. Жақсы деформацияланатын металдар мен қорытпаларға сәйкес келетін (деформациялану дәрежесі 60 – 70 %) қайта кристалданудың басталуының ең төменгі температурасы қайта кристалданудың температуралық шегі ($T_{п.р.}$) деп аталады. А.А. Бочвар бойынша ол температураның абсолюттік шкаласы бойынша мынаны құрайды: $= 0,4 T_{бал}$. (аса таза металдар үшін $T_{қ.к.ш.} = 0,2 \dots 0,3 T_{бал}$).

Таза металдар үшін ол мынаны құрайды:

Металл	Fe	Cu	Al	Ni	Mo	W	Pb	Sn
$T_{қ.к.ш.} \text{ } ^\circ\text{C}$	450	270	100	400	900	1200	-30	70

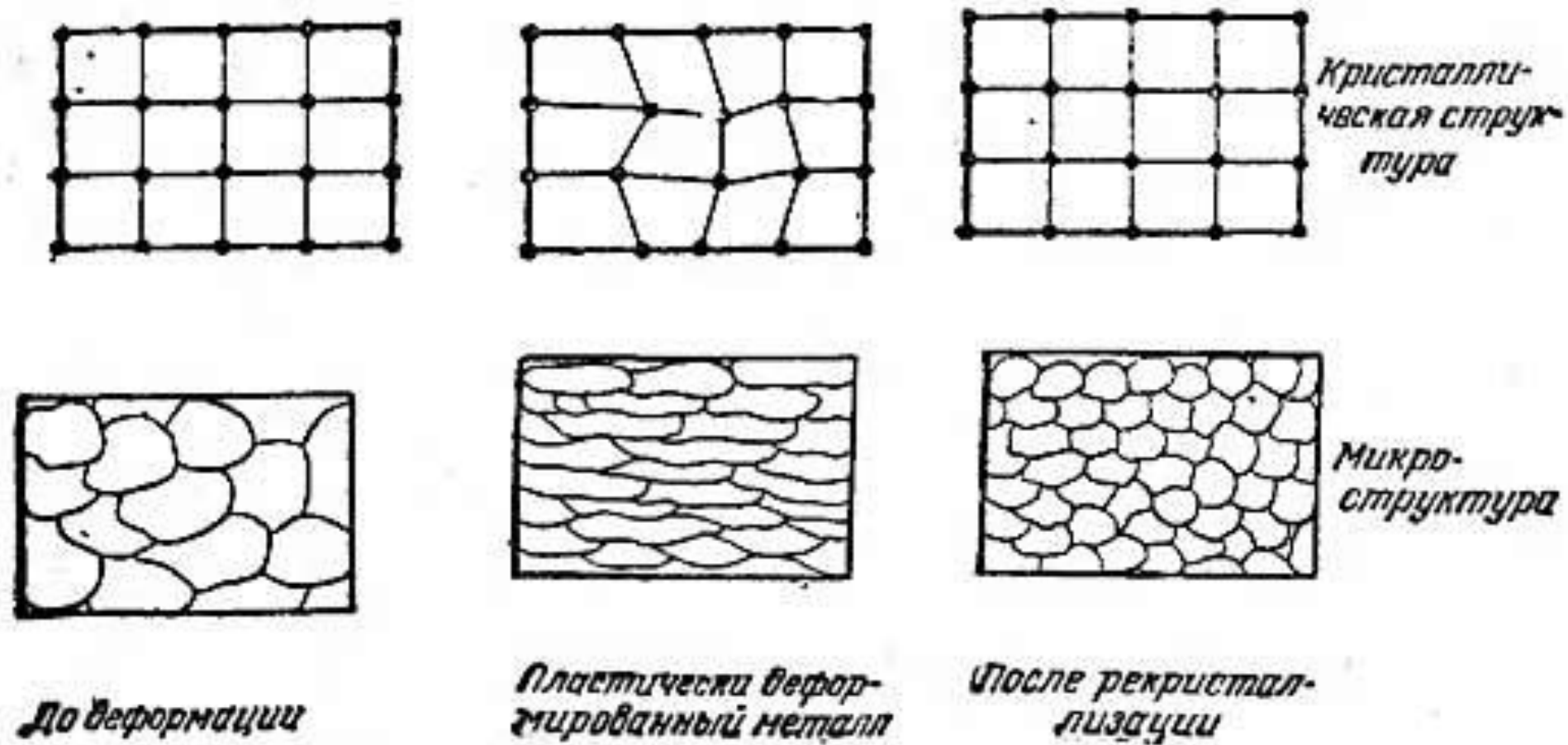


Рис. 9. Схема изменения структуры металла при деформации и рекристаллизации

Металдар мен қорытпалардың қақталмасын толық жою үшін оларға қайта кристалданатын жасыту жүргізу керек. Тәжірибе жүзінде оны материалды суықтай деформациялау алдында қақталуды жою және суықтай деформациялау операциясының созымдылығын қалпына келтіру және пластикалық деформациядан кейін материалдарға қажетті қасиеттерді беру үшін соңғы термиялық өңдеу сияқты өтеді.

Қайта кристалдану температурасы суықтай және ыстықтай пластикалық деформация арасындағы шекарасы болып табылады.

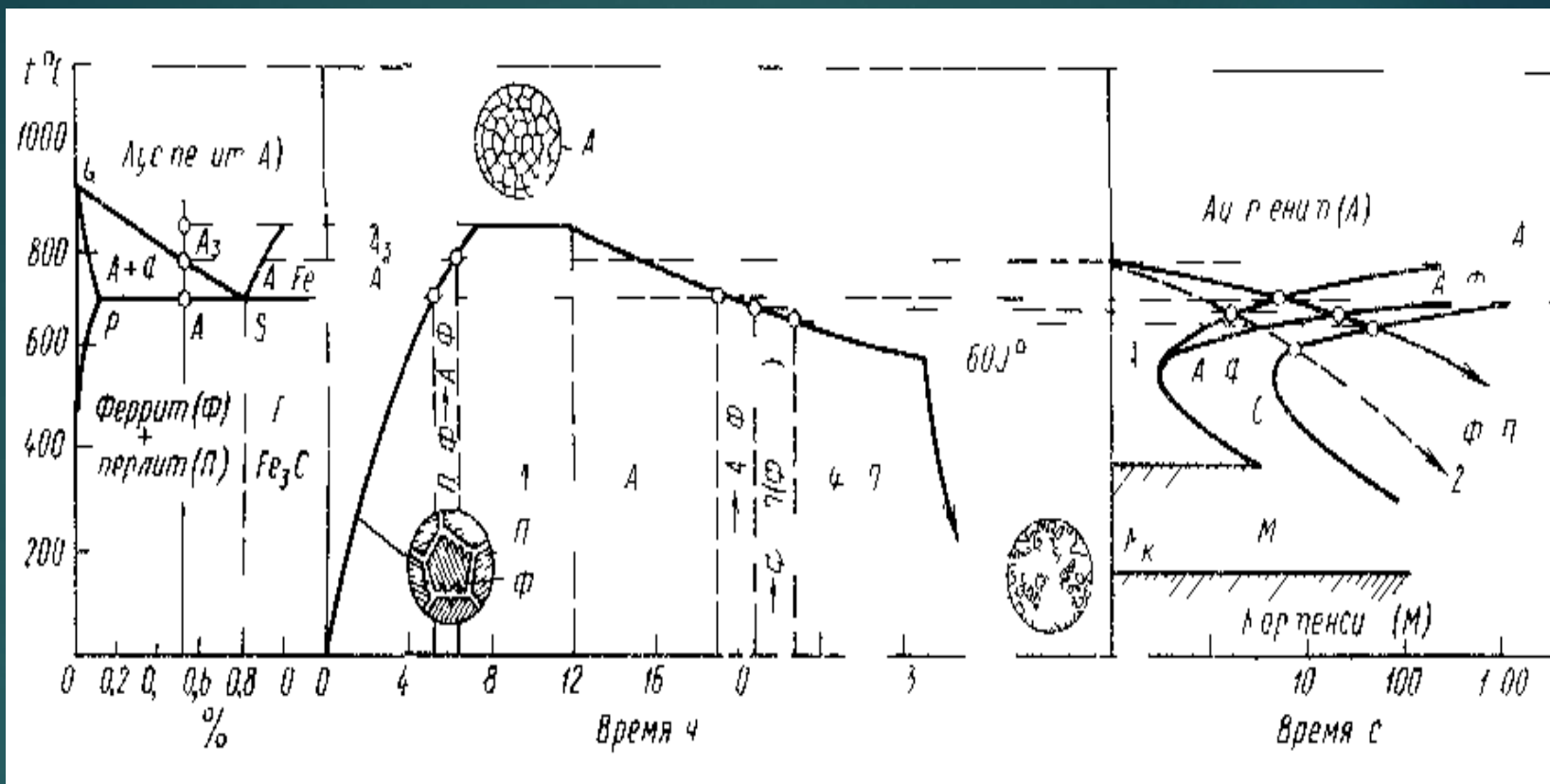
Көміртекті болаттарды (0,08 – 0,2 % C) көбінесе суықтай деформацияға, (илемдеу, штамптау және созуға) түседі, жасыту температурасы 680 – 700 °C аралығында болады. Жоғары көміртекті легіріленген болаттардан жасалған калибрленген шыбықтарды жасытуды 680 – 740 °C температурада 0,5 – 1,5 сағат көлемінде жүргізеді.

Жоғары босату (қаттылықты төмендету үшін) Ыстықтай

Кесумен өңдеу, суықтай бөлігін шөгумен (высадка) немесе сымдаумен өңдеу кезінде, қаттылықты төмендету үшін сұрыптық илемге 650 – 700°C температура кезінде 3 – 15 сағат көлемінде жоғары жасыту жүргізеді. Жоғары жасыту беріктікті талап етілетін мәнге дейін төмендетеді. Жоғары легірленген болаттар үшін жоғары босату қаттылықты төмендетудің жалғыз жолы болып табылады.

Қалдық кернеулерді жою үшін жүргізілетін жасыту. Жасытудың бұл түрін құймаларда, пісірілген бұйымдарда, кесумен өңдеуден кейінгі тетіктерде біртекті пластикалық деформация әсерінен пайда болған қалдық кернеулерді жою үшін қолданады. Қалдық кернеулер бұйымдарды өңдеу, пайдалану немесе сақтау кезінде өлшемдерінің өзгеруін, ауытқуларды және поводка тудыруы мүмкін. Қалдық кернеулерді жою үшін болат бұйымдарға жасытуды $160 - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурада одан кейінгі баяу салқындату арқылы жүргізеді. Пісіру кернеулерін жою үшін жасытуды $650 - 700\text{ }^{\circ}\text{C}$ кезінде жүргізеді.

II текті жасыту (фазалық қайта кристалдану). II текті жасытудың мәні болатты A_{c1} немесе A_{c3} нүктесінен жоғары температураға дейін қыздыру, ұстау және баяу салқындатудан тұрады. Қыздыру және салқындату процестерінде болаттың құрылымы мен қасиеттерін анықтайтын фазалық түрленулер өтеді. Көміртекті болаттарды жасытудан кейін темір – цементит күй – жай кесте сызбасында көрсетілген құрылым алынады (11.1 – сурет).



1 – жасыту кезіндегі салқындату; 2 – қалыптандыру кезіндегі салқындату

11.1 – сурет. Көміртекті болатты толық жасыту (а) сұлбасы және аустениттің ыдырауының изотермиялық күй кесте сызбасы (б)

Эвтектоидқа дейінгі болатта феррит + перлит; эвтектоидтық болатта перлит; эвтектоидтан кейінгі болатта перлит + цементит.

Жасытудан кейін болат төменгі қаттылыққа және беріктікке, бірақ жоғары созымдылыққа ие болады.көптеген жағдайларда жасыту дайындау термиялық операциясы болып табылады; жасытуды құбырларға, құймаларға, соғылмаларға, сұрыптық және пішімді соғылмаларға, ыстықтай жаймаланған беттерге жүргізуге болады. Жасытудан кейін қаттылық пен беріктік төмендейді, ал кесумен өңделу жеңілдейді; түйір майдаланады, ішкі кернеу төмендейді және құрылымның біртектілігі жойылады, жасыту пластикалықтың және тұтқырлықтың жоғарлауына көмектеседі.

II текті жасыту келесідей түрлерге бөлінеді: толық, изотермиялық және толық емес.

Толық жасытудың мәні эвтектоидқа дейінгі болатты Ac_3 нүктесінен $30 - 50^{\circ}C$ жоғары температураға дейін қыздырудан, толық қызғанға дейін және металл көлемінде фазалық түрленудің аяқталуына дейін ұстау және одан кейінгі баяу салқындатудан тұрады.

Эвтектоидқа дейінгі болаттарды Ac_3 нүктесінен $30 - 50^{\circ}C$ жоғары температураға дейін қыздырғанда аустенит (Аустенит – γ -Fe темірге көміртегі атомдарының ену қатты ерітіндісі, кристалдық торы ҚЖТ) түзіледі, ол майда түйірлерімен сипатталады, сондықтан салқындату кезінде жоғары тұтқырлыққа және пластикалықты қамтамасыз ететін майда түйірлі құрылым пайда болады.

Қыздыру температурасын кристикалық нүктеден өте жоғары қыздырғанда аустенит түйірлерінің өсуі байқалады, ол болаттың механикалық қасиеттерін төмендетеді. Жасыту кезіндегі салқындату жылдамдығы аса салқындатылған аустениттің тұрақтылығына және болаттың құрамына тәуелді болады. Перлиттік түрленулер температурасының аймағында аустенит неғұрлым тұрақты болса, соғұрлым салқындату баяу болуы керек. Көміртекті болаттарға қарағанда ($100 - 150\text{ }^{\circ}\text{C/сағ}$) легіріленген болаттар айтарлықтай баяу салқындатылады ($40 - 60\text{ }^{\circ}\text{C/сағ}$). Толық жасытуды құрамында $0,3 - 0,4\%$ С бар болаттың сұрыптық дайындамаларына, соғылмаларға және пішімді құймаларға жүргізеді.

Изотермиялық жасыту – толық жасытудағы сияқты легіріленген болаттарды қыздыру және A_{c1} нүктесінен төмен температураға дейін ($660 - 680\text{ }^{\circ}\text{C}$) салыстырмалы жылдам салқындатудан тұрады. Осы температуралар кезінде аустениттің толық ыдырауына қажетті $3 - 6$ сағаттық изотермиялық ұстауды тағайындайды, одан кейін ауада салқындатады.

Изотермиялық жасытудың артықшылығы процес уақытының азайтылуы және біртекті ферритті – перлитті құрылымның алынуы жатады. Изотермиялық жасытуды легіріленген көміртектенетін болаттардан жасалған орташа өлшемді соғылмаларға (штампталған дайындамалар) және сұрыптық соғылмаларға жүргізеді.

Толық емес жасыту толық жасытудан болатты төмен температурада қыздырумен (A_{c1} нүктесінен аз жоғары) ерекшеленеді. Толық емес жасытуды эвтектоидқа дейінгі болаттардың кесумен өңделуін жақсарту үшін жүргізеді; толық емес жасыту кезінде ферриттің бір бөлігінің қайта кристалдануы өтеді (Феррит – а темірге көміртегі атомдарының ену қатты ерітіндісі, кристалдық торы КЖТ).

Артық ферриттің бір бөлігі ғана аустенитке түрленеді. Конструкциялық болаттар үшін жасытудың мұндай түрін $750 - 770\text{ }^{\circ}\text{C}$ температуралар кезінде $30 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ /сағатына салқындату жылдамдығымен суыту арқылы жүргізеді. Толық емес жасытуды эвтектоидтан кейінгі көміртекті және легірленген болаттарда кеңінен қолданады, нәтижесінде болаттың құрылымында пластинка пішінді перлиттің орнына түйіршікті (сфера тәрізді) құрылымды алуға болады.

Эвтектоидтық құрамға жақын болаттардың түйіршікті перлитке жасыту температурасының интервалы өте аз ($750 - 760\text{ }^{\circ}\text{C}$), эвтектоидтан кейінгі болаттар үшін интервал $770 - 790\text{ }^{\circ}\text{C}$ дейін кеңейеді. Сфераның түзілуі кезіндегі салқындату баяу болуы керек. Ол аустениттің ферритті – карбитті қоспасына ыдырауын қамтамасыз етеді. Түйіршікті перлитті жасытуды төмен және орташа көміртекті болаттардан жасалған жұқа табақтар мен сымдардың пластикалығын жоғарлату үшін суықтай штамптау және сымдау үшін жүргізеді.

Қалыптандырулық (нормализационный) жасыту. Қалыптандыру – эвтектоидқа дейінгі болаттарды A_{c3} нүктесінен, эвтектоидтан кейінгі болаттарды A_{cm} нүктесінен $30 - 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ жоғары қыздыру, садканың күйі және фазалық түрленулердің аяқталуы үшін аз уақыт ұстау, одан кейін ауада салқындатудан тұрады. Қалыптандыру болаттың толық фазалық қайта кристалдануын тудырады және құю немесе қақтау, соғу немесе штамптау кезінде алынған ірі түйірлі құрылымдарды жою үшін керек. Қалыптандыруды болат құймаларының қасиеттерін жақсарту үшін шынықтыру мен босатудың орныша қолданады.

Болатты шынықтыру. Шынықтыру деп – эвтектоидтық болатты Ac_3 нүктесінен, ал эвтектоидтан кейінгі болаттарды Ac_1 нүктесінен 30 – 50 °C жоғары температураға дейін қыздыру, сол температурада ұстау және критикалық нүктеден жоғары жылдамдықпен жылдам салқындатудан тұратын термиялық операцияны айтамыз (11.2 – сурет). Шынықтырудың критикалық жылдамдығы дегеніміз – барлық аустенит эвтектоидтық ыдырау өнімінсіз мартенситке түрленетін жылдамдық. Эвтектоидқа дейінгі болаттың шынықтырудан кейінгі құрылымы – мартенсит + қалдық аустенит, эвтектоидтан кейінгі – мартенсит + цементит. Мартенсит – α – темірге көміртегі атомдарының аса қаныққан ену қатты ерітіндісі. Тетроганальды кристалдық торға ие болады. Шынықтыру соңғы термиялық өңдеу операциясы емес; шынықтыру кернеулерін азайту үшін болатты шынықтырғаннан кейін босату жүргізеді



Егер тепе – теңдік күйінде бөлме температурасында темірде көміртегінің еруі 0,025 % құрайтын болса, онда мартенситте оның мөлшері бастапқы аустениттің мөлшеріндей (2,14 %) болуы мүмкін. Көміртегі атомдары а – темір (мартенситтің) торының осы бойынша октаэдрлік қуысына орналасады және оны өте күшті өзгертеді. Мартенсит тетрагональды торға ие болады, мұндағы бір период «с» екіншісіне «а» қарағанда үлкен болады. Көміртегі мөлшері артқан сайын тетрагональды призма биіктігі «с» артады, ал оның негізінің өлшемдері төмендейді. Мартенситте көміртегі мөлшері неғұрлым көп болса, соғұрлым с/а қатынасы көп болады, атап айтсақ тор тетрагональдығы жоғары болады.

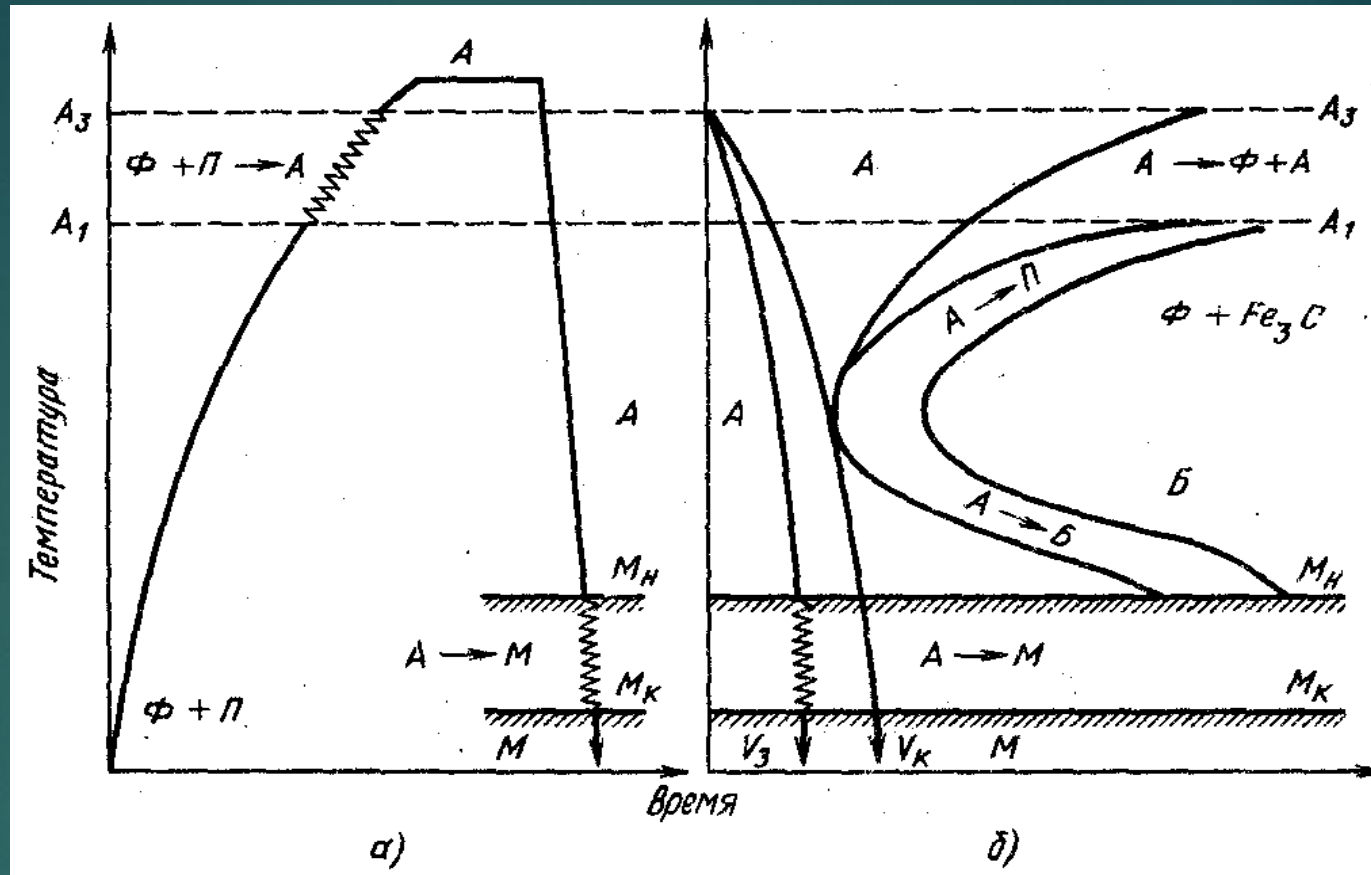
$s/a = 1 + 0,046C$ қатынасы, мұндағы с – аустениттегі көміртегі мөлшері. Егер аустенит диффузиялық процестер мүмкін болмайтын төмен температураға дейін жылдам суытумен қатты салқындатылған болса, онда мартенситтік түрлену өтеді. Мартенситтік түрлену диффузиясыз сипатқа ие болады, атап айтсақ ол мартенсит торында көміртегі және темір атомдарының

Процесте түрлену өскен сайын серпімді кернеулер өседі, ол пластикалық деформацияның тууына және атомдары ретсіз орналасқан фаза аралық шекараларды тудырады. Мартенситті түрленудің дамуы үшін болатты M_n нүктесінен төмен температураға дейін үздіксіз салқындатып отыру керек. Егер салқындатуды тоқтататын болсақ, онда мартенситтік түрлену де тоқтайды. Бұл ерекшелік оны диффузионды перлиттік түрленуден ажыратады. Температура неғұрлым төмен болса, соғұрлым көп мартенсит пайда болады. Болаттың құрамына және түзілу температурасына байланысты мартенсит кристалдары әртүрлі морфологияға және субқұрылымға ие болуы мүмкін.



Мартенситтің екі түрін ажыратады: пластинкалы және рейкалы. Пластинкалы мартенсит мартенситтік нүктенің төмен температурасымен сипатталатын жоғары көміртекті болаттарда түзіледі. Құрамындағы көміртегінің мөлшері 0,4 – 0,5 % жоғары болатын шынықтырылған болаттардың құрамында қалдық аустенит болады. Оның мөлшері аустениттің құрамындағы көміртегімен легірлеуші элементтердің мөлшері көп болса және Мк және Мн нүктелерінің температурасы неғұрлым төмен болса, оның мөлшері соғұрлым көп болады. Мартенситтің басты артықшылығына жоғары қаттылығы мен беріктігі жатады.

Мартенситтің қаттылығы құрамындағы көміртегінің мөлшері артқан сайын жоғарлайды; бірақ көміртегінің мөлшері артқан сайын, оның морт сынғыштыққа бейімділігі жоғарлайды. Мартенситтің аустенитпен салыстырғанда меншікті көлемі жоғары болады. Мартенситтің салыстырмалы көлемінің артқаны шынықтыру кезіндегі ішкі кернеудің жоғарлауының пайда болуының бір себебі болып табылады, ол бұйымдардың деформациясын және жарықшалардың пайда болуын тудырады.



а – шынықтыру сұлбасы; б – аса салқындатылған аустениттің ыдырауының изотермиялық диаграммасы; А – аустенит; Б – бейнит; Φ – феррит; М – мартенсит

11.2 – сурет. Эвтектоидқа дейінгі болатты шынықтыру сұлбасы.

Шынықтыру деп – болатты шынықтыру нәтижесінде қаттылығын арттыру қабілеті. Ол болаттың құрамындағы көміртегімен анықталады.

Шынығу қабілеттігі – болаттың мартенситті немесе трооститті – мартенситті құрылымымен және белгілі бір тереңдікке дейін жоғары қаттылықты алу қабілетін түсінуге болады, шынықтырудың критикалық жылдамдығы неғұрлым төмен, атап айтсақ аса салқындатылған аустениттің тұрақтылығы неғұрлым жоғары болса, онда болаттың шынығу қабілеті соғұрлым жоғары болады.

Шынықтыру кезіндегі салқындату мартенситті құрылымды қамтамасыз етуі керек және шынықтыру ақауларын болдырмауы керек. Өте жиі шынықтыру үшін қайнаған сұйықтар қолданылады – су, сілтілер мен тұздардың сулы ерітінділері, майлар. Бұл орталарда шынықтыру кезінде үш периодпен ажыратылады:

бүркемелік қайнау – болаттың беткі қабатында бу қаптамасы түзілгенде, салқындату жылдамдығы салыстырмалы төмен болады;

Шынықтыру әдістері. Өте жиі бір салқындатушы ортасы бар шынықтыруды қолданады. Мұндай шынықтыруды үздіксіз деп атайды.

Үзілісті шынықтыру (екі орта қолданылады). Басында мартенситтік түрленуден (Мн), біршама жоғары температураға дейін салқындатады, одан кейін майда немесе ауада суытады.

Өзіндік босатуы бар шынықтыру. Бұйымды шынықтыру ортасында суытуды тоқтатады (бұйымның ортаңғы бөлігінде жылудың біршама мөлшері сақталады). Бұйымның беткі қабатындағы температура жоғарлайды және ортасындағы температурамен теңеседі. Қашау, слесарлық балғалардың беткі қабатында жоғары қаттылықты, өзегінде жоғары тұтқырлықты талап ететін аспаптарды жасауда қолданылады.

Сатылы шынықтыру. Болатты суда суытады (180 – 250 °C), онда біраз уақыт ұстайды, содан кейін ауада суытады. Көміртекті болаттардан жасалған диаметрі 8 – 10 мм аспайтын аспаптарды жасау үшін қолданылады.

Изотермиялық шынықтыру – сатылы шынықтыру сияқты, бірақ мартенситтік түрленудің басталу нүктесінде (M_n) ұстау уақыты ұзағырақ беріледі. Сатылы және изотермиялық шынықтырулар кезінде салқындату ортасы ретінде $150 - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ температуралар интервалындағы балқытылған тұздар ($55\% \text{ KNO}_3 + 45\% \text{ NaNO}_2$), сонымен қатар балқытылған сілтілер ($20\% \text{ NaOH} + 80\% \text{ KOH}$) қолданылады. Тұздардың (сілтілердің) температурасы неғұрлым төмен болса, салқындату жылдамдығы соғұрлым жоғары болады. Егер тотықтандыруды болдырмайтын балқытылған тұздарда тетікбөлшектер алдын – ала қыздырылса, онда күйдіргіш сілтілердің балқымаларында салқындатқанда, бұйымның беті ашық сұр түсті таза болып алынады. Мұндай шынықтыруды ашық түсті деп атайды.

Суықпен өңдеу. Құрамында 0,4 – 0,5 % көміртегі бар шынықтырылған болаттың құрамында әрқашан қалдық аустенит болады. Аустениттің болуы қаттылық пен тозуға төзімділікті төмендетеді және оның өз бетімен мартенситке өту нәтижесінде төмен температуралар кезінде жұмыс істейтін тетікбөлшектердің өлшемдерінің өзгеруіне әкеледі.

Қалдық аустениттің мөлшерін азайту үшін суықпен өңдеуді (– 30 – –70 °С) және одан кейін босатуды жүргізеді. Суықпен өңдеуді өлшеу аспаптарын, серіппелерді және құрамында көп мөлшерде аустенитті сақтап қалатын жоғары легірленген көміртектенетін болаттардан жасалған тетікбөлшектер үшін қолданады.

Болаттарды босату. Босату – шынықтырылған болаттарды A_{c1} нүктесінен төмен температураға дейін қыздыру, сол температурада ұстау және одан кейін белгілі бір жылдамдықпен салқындатудан тұрады. Босату термиялық өңдеудің соңғы операциясы болып табылады, нәтижесінде болат талап етілетін механикалық қасиеттерге ие болады. Сонымен қатар босату толығымен немесе жартылай шынықтыру нәтижесінде пайда болған ішкі кернеулерді жояды. Бұл ішкі кернеулер босату жылдамдығы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым жақсы шығарылады. Болаттардың қасиеттеріне босату температурасы негізгі әсер етеді. Босатудың үш түрі бар.

Төмен температуралы (төменгі) босатуды 250 °C температураға дейін қыздыру арқылы жүргізеді. нәтижесінде шынықтырылған макрокернеулер азаяды, шынықтыру мартенситі босату мартенситіне айналады, беріктік жоғарлайды және қаттылықтың аз өзгеруінсіз тұтқырлық жақсарады. Шынықтырылған болат (0,6 – 1,3 % C) төменгі босатудан кейін 58 – 63 HRC қаттылығын сақтайды, сонымен қатар жоғары тозуға төзімділікке ие болады. Босатудың мұндай түрін көміртекті және аз легірленген болаттардан жасалған өлшеу аспаптарын, сонымен қатар беттік шынықтыру, көміртектендіру циандау немесе нитрокөміртектендіру жүргізілген тетікбөлшектерге жүргізеді. Босату уақыты әдетте 1,5 – 2 сағатты құрайды.

Орташа температуралы (орташа) босатуды 350 – 500 °C аралығында жүргізіледі және негізінен рессорлар, серіппелер, сонымен қатар штамптар үшін қолданылады. Орташа босату серпімділік шегінің, төзімділіктің және релаксациялық тұрақтылықтың жоғары болуын қамтамасыз етеді. Орташа босатудан кейінгі болаттың құрылымы – босату трооститі немесе трооститті мартенсит; болаттың қаттылығы 40 – 50 HRC болады. Босатудың бұл түрінен кейінгі суытуды суда жүргізу керек, ол бұйымның беткі қабатында соғылмалы қалдық кернеудің түзілуіне әкеледі, ол өз кезегінде серіппелердің төзімділік шегін арттырады.

Жоғары температуралы (жоғарғы) босатуды 500 – 680 °C температурада жүргізеді. Жоғары босатудан кейінгі болаттың құрылымы босату соорбиті болады. Жоғарғы босатудан кейінгі болаттың беріктігі мен тұтқырлығының ең жақсы қатынасы болады. Шынықтыру мен жоғарғы босату (жақсарту) уақытша кедергіні, аққыштық шегін, салыстырмалы тарылуды, әсіресе соққы тұтқырлығын жоғарлатады.

Болаттардың ескіруі. Ескіру деп – уақыт өте келе қорытпалардың қасиеттерінің өзгеруін айтамыз. Ескіру нәтижесінде материалдардың физика – механикалық қасиеттері өзгереді – беріктігі мен қаттылығы жоғарлайды, ал созымдылығы мен тұтқырлығы төмендейді. Ескіру 20 °C температурада (табиғи) немесе төмен температураларға дейін қыздыру арқылы (жасанды ескірту) жүргізіледі. Ескіруді екі түрге бөледі: термиялық, шынықтырылған қорытпаларда өтетін және деформациялық (механикалық), қайта кристалдану температурасынан төмен температураларда созымды деформацияланған қорытпаларда өтетін.

Термиялық ескіруді қатты күйінде шекті ауыспалы ерігіштікке қабілетті құралғыштары бар қорытпаларға жүргізеді. Деформациялық ескіру қорытпаның күй кесте сызбасына байланысты емес. Көптеген темір қорытпалары және түсті металдардың қорытпалары ескіруге бейім келеді. Кейбір жағдайларда ескіру оң әсерін тигізеді және оларды алюминий, титан, магний қорытпаларын термиялық өңдеу кезінде беріктігі мен қаттылығын арттыру мақсатында (термиялық ескірту), пайдалану кезінде жоғары серпімділік, беріктік және шаршау қасиеттеріне ие болуы керек болатын, серіппелі болаттардан жасалған тетікбөлшектерді беріктендіру үшін (деформациялық ескірту) қолданады. Басқа жағдайларда ескірту кері әсер етеді: соққы тұтқырдығын күрт төмендетеді және суықтай сынғыштық шегін жоғарлатады, табақтай болаттарды штампталу қабілетін төмендетеді, ол дәлдік өлшеу аспаптары және прецизионды тетікбөлшектер үшін өте зиян болып табылады.

