

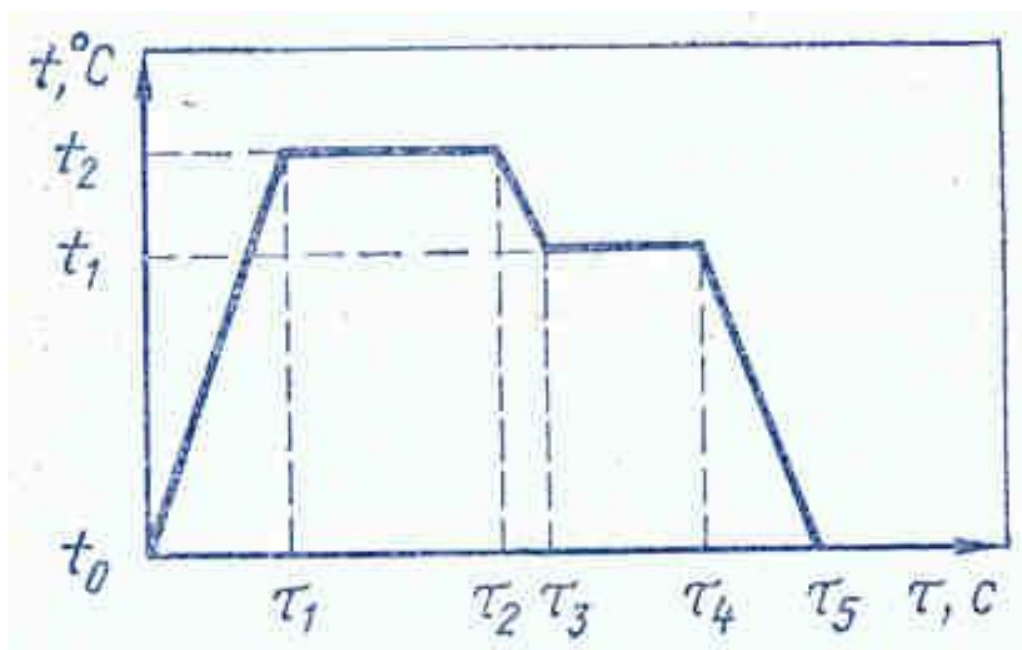
ТЕРМИЯЛЫҚ ӨНДЕУДІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

10.1 Жалпы мәліметтер

Қатты металл қорытпаларының қасиетін талапқа сай келтіру үшін оның ішкі құрылысын және құрылымын өзгерту мақсатымен қыздыру, ұстау, суыту операцияларынан тұратын технологиялық процесс термиялық өңдеу деп аталады. Термиялық өңдеуді қысып өңдеуге, кесуге т.б операцияларға қорытпаны дайындау үшін немесе тетіктердің қажетті физикалық-механикалық қасиеттерін қамтамасыз ету үшін қолданады.

Термиялық өңдеу кезінде қорытпалардың құрылымы өзгереді. Термиялық өңдеуден кейін металл қорытпалары тұрақты немесе тұрақсыз (метатұрақты) күйде болады.

Термиялық өңдеудің негізгі факторлары - температура және уақыт. Сондықтан термиялық өңдеу режімі $t - \tau$ координаталарының бойындағы график ретінде көрсетіледі, мұндағы t – температура, τ – уақыт (48 - сурет).



48 – сурет. Термиялық өңдеу графигі.

Болаттың фазалық өзгеру (межелі) температуралары A әрпімен белгіленеді. Темір-көміртегі диаграммасында перлиттің аустенитке өзгеру нүктесі A_1 - PSK сызығына, A_2 (768°C) - MO сызығына, A_3 - GS және SE сызықтарына сәйкес. Қорытпаны суыту кезінде GS сызығының бойымен аустенит ферритке, қыздыру кезінде феррит аустенитке өзгереді. Суыту кезінде SE сызығының бойымен аустениттен екінші текті цементит бөлініп шығады, қыздыру кезінде цементит аустенитте ериді.

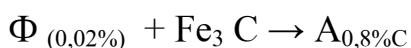
Жылу гистерезисіне байланысты суыту және қыздыру кезіндегі өзгеріс бір температурада жүрмейді. Сондықтан қыздыру «с»- индексі және суыту температурасындағы нүктелер « r »- индексі арқылы ажыратылады. Мысалы, A_{c1} , A_{c3} – қыздыру температуралары, ал A_{r1} , A_{r3} – суыту температуралары. Сонымен, A_{c1} – перлиттің аустенитке өзгеру нүктесі ($P \rightarrow A$), ал A_{r1} – аустениттің перлитке өзгеру нүктесі ($A \rightarrow P$). A_{c3} – ферриттің аустенитте еруінің аяқталу нүктесі, A_{r3} – аустениттен ферриттің (GS сызығы) және цементиттің (ES сызығы) бөлінуінің басталуы. A_{st} – екінші текті цементиттің аустенитте (ES сызығы) еруінің аяқталуы.

Қыздыру уақыты металдың пештегі температураға жетуі мен сол температурада ұстау уақытының қосындысынан тұрады.

10.2 Ферритті-карбидті құрылымның қыздыру кезінде аустенитке өзгеруі

Термиялық өңдеу түрлерінің көпшілігінде болатты аустенитке өзгеру температурасына дейін қыздырады. Қыздыру кезіндегі аустениттің пайда болуы кристалдану теориясының негізгі ережелеріне байланысты диффузиялық процесс.

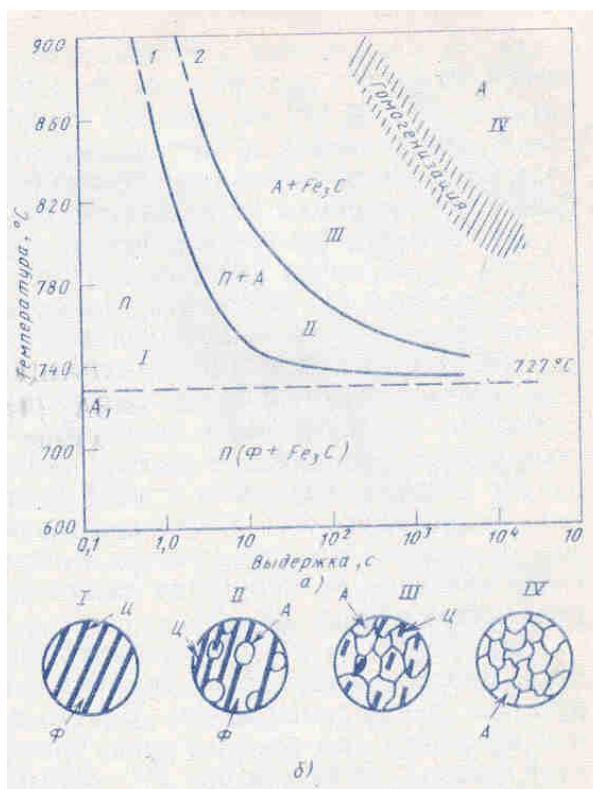
Болатты қыздыру кезінде жүретін фазалық өзгерістерді темір-көміртегі диаграммасынан көруге болады (38-сурет). Құрамында 0,8%С бар эвтектоидты болатты A_{c1} нүктесінен жоғары қыздырғанда перлит (ферритті-карбидті құрылым) аустенитке өзгереді:



Бұл өзгеру қатарынан жүретін екі процестен тұрады: аллотропиялық өзгеру $\alpha \rightarrow \gamma$ және цементиттің аустенитте еруі. Эвтектоидқа дейінгі болатты A_{c1} нүктесінен жоғарыда қыздырғанда перлит аустенитке өзгеріп, екі фазалы құрылым – аустенит және феррит түзіледі. Әрі қарай қыздыру кезінде A_{c1} – A_{c3} нүктелері аралығында феррит біртіндеп аустенитке өзгереді; мұнда аустениттің құрамындағы көміртегі GS сызығының бойымен өзгеріп отырады (38- сурет). A_{c3} нүктесінде феррит толығымен аустенитке айналып, ондағы көміртегінің мөлшері эвтектоидты болаттың құрамындағы көміртегінің мөлшерімен теңеледі. Эвтектоидтан кейінгі болаттың өзгеруі осыған ұқсас өтеді. $A_{c1}(727^{\circ}C)$ нүктесінен сәл жоғары температурада қыздырғанда перлит аустенитке өзгереді. A_{c1} – A_{st} температуралары аралығында цементит аустенитте ериді де, A_{st} температурасынан жоғарыда тек аустенит болады, құрамындағы көміртегі эвтектоидтан кейінгі болаттағы көміртегінің мөлшеріне теңеледі. Перлиттің аустенитке өзгеру механизміне сай алғашында аустенит өскіндері пайда болады, соңынан осы өскіндер өсіп дамиды. $A_{c1}(727^{\circ}C)$ температурасынан жоғарыдағы аустениттің құрамындағы көміртегі 0,8% теңеледі. Мұндай аустениттің қалай пайда болуын қарастыралық.

Ас₁ нүктесінен жоғары қыздыру кезінде аллотропиялық өзгерістен $\alpha \rightarrow \gamma$ жылжу шекаралары туындап, оның нәтижесінде көміртегі аз, формасы тілімшекті алғашқы аустенит пайда болады. Жаңадан пайда болған аустенитте цементиттің еруіне байланысты көміртегінің мөлшері көтеріледі. Аустенит өскіндерінің өсуіне байланысты жылжыған шекаралар түзетіліп, аустениттің тепе-теңдік күйге қалыптасуына әсерін тигізеді.

Аустениттің алғашқы өскіндері феррит пен цементит фазаларының шекарасында орналасады (49, б – сурет, I, II).



1- перлиттің аустенитке өзгеруінің басталуы; 2- перлиттің аустенитке өзгеруінің аяқталуы.

49 – сурет. Эвтектоидты болаттың (0,8 %) аустенитке изотермиялық өзгеру диаграммасы (а) және ферритті-карбидті құрылымның аустенитке өзгеру схемасы (б).

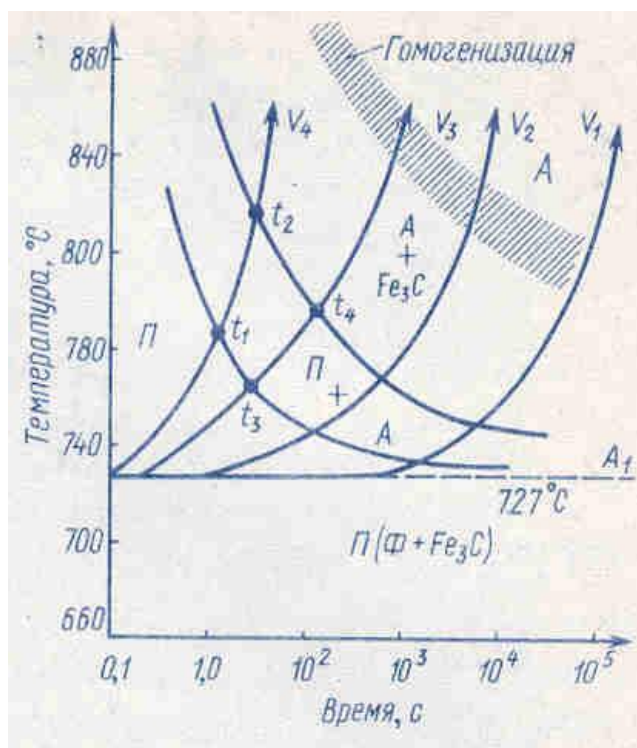
Аустениттің құрамындағы көміртегінің атомдары қарқынды диффузияланудың салдарынан жаңадан пайда болған аустениттің өскіндері өсіп дами бастайды да, оның құрамындағы цементит еріп $\alpha \rightarrow \gamma$ өзгереді, сонымен бірге аустениттің жаңа түйіршіктері туындайды.

Цементиттің еруіне байланысты аллотропиялық өзгеріске $\alpha \rightarrow \gamma$ түскен аустениттің көлемі тезірек өседі, ферриттен аустенитке өзгерген болаттың құрылымында аздаған цементит сақталады (49,б - сурет, III). Цементит аустенитте толығымен еру үшін изотермиялық қыздыру уақытын ұзарту керек. Жаңадан қалыптасқан аустениттің құрамындағы көміртегінің орналасу

реті біркелкі емес. Цементиттің бөлшектеріне жақын орналасқан аустениттегі көміртегінің концентрациясы, ферриттің бөлшектерінің маңайындағыдан жоғары. Оны біртегістеу (гомогенизация) үшін қосымша уақыт жұмсалады.

Ферритті-цементитті құрылымның аустенитке өзгеруін аустениттің изотермиялық өзгеру диаграммасынан көруге болады (49,а- сурет). Мысалы, құрамында 0,8% көміртегі бар эвтектоидты болат алынған. Диаграммада көрсетілгендей перлиттің аустенитке өзгеру процесі температура жоғарылаған сайын тездейді. Егер A_{c1} ($727^{\circ}C$) температурасында перлит аустенитке минуттар ішінде өзгерсе, $800-850^{\circ}C$ температурада 5-10 секунд қана қажет (49, а- сурет). Диффузиялық процестің жылдамдығының артуына байланысты аустениттің көлемі ұлғайып, жаңадан аустенит өскіндерінің пайда болу мүмкіншілігі туады.

Ферритті –цементитті құрылымның аустенитке өзгеруі тек қыздыру температурасына ғана байланысты емес, оның бастапқы күйіне де қарайды. Ферритті –цементитті құрылым бастапқыда жұқа болса, аустениттің өскіндер саны көбейіп, диффузия жолы азаяды, аустениттендіру процесі жылдам өтеді. Егер цементиттің бастапқы құрылымы домаланған және ірі болса, онда аустениттендіру процесі баяу жүреді. Болаттың құрамындағы көміртегінің көлемі артқан сайын аустенитке өзгеру процесі жылдамдайды, феррит пен цементиттің қосынды ауданының ұлғаюына байланысты цементиттің көлемі артады.



50– сурет. Үздіксіз қыздыру кезінде аустениттің пайда болу диаграммасы. Эвтектоидты болат (0,8%).

Егер болаттың құрамына хром, молибден, вольфрам, ванадий және басқа да карбид түзуші элементтер енгізілсе, онда аустенитте тығыз еритін легірленген цементит немесе легірлеуші элементтердің карбидтерін түзіп, аустениттендіру процесі тежеледі.

Перлитті аустенитке өзгерту үшін үздіксіз қыздыруды қолдануға болады. Үздіксіз қыздыру процесі кезінде перлиттің аустенитке өзгеруі әртүрлі жылдамдықпен қыздыру кезінде өтеді. 50-суреттегі термокинетикалық диаграммадағы көрсетілген қыздыру температуралары $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$.

Қыздыру жылдамдығы жоғарылаған сайын перлиттің аустенитке өзгеру температурасы жоғарылайды. Перлиттің аустенитке өзгеретін температура аралығы ($t_1 - t_2$, $t_3 - t_4$) қыздыру жылдамдығы жоғарылаған сайын (50- сурет) ұлғая түседі. Сол себепті болатты аустениттендіру үшін қыздыру жылдамдығына сәйкес қыздыру температурасы үлкен болу керек.

10.3 Қыздыру кезінде аустенит түйіршіктерінің өсуі

Болатты жоғары температурада қыздыру жаңадан пайда болған түйіршіктердің өсуіне әкеліп соғады. Болаттың термиялық өңдеу кезіндегі қалыптасқан түйіршік өлшемі нақты түйіршік деп аталынады.

Аустениттің өсу жылдамдығына байланысты болаттар табиғи-ірі түйіршікті және табиғи-ұсақ түйіршікті болаттарға бөлінеді.

Түйіршіктің өсуге бейімділігі қорытпаны қорыту кезіндегі оның құрамына енгізілген тотықсыздандырғыш элементтеріне қарайды. Тотықсыздандырғыш ретінде алюминий енгізілген қорытпа табиғи-ұсақ түйіршікті болады.

Табиғи-ірі түйіршікті болат кремниймен және марганецпен тотықсыздандырылады. Табиғи-ірі түйіршікті болатты A_{c1} температурасынан сәл жоғары қыздырса да түйіршіктер бірден іріленеді.

Табиғи-ұсақ түйіршікті қорытпаны $950-1100^{\circ}C$ -қа дейін қыздырғанда аустенит аздап өседі. Мұндай болаттардың қатарына құрамына алюминиймен қатар карбид түзетін элементтер, әсіресе титан мен ванадий енгізілген легірленген болаттар жатады.

Түйіршіктің ірілігі болаттың механикалық қасиетін төмендетпейді, тек соққы тұтқырлығын төмендетеді. Сондай-ақ аустенит түйіршіктерінің өлшемі қыздыру жылдамдығына да байланысты қалыптасады: қыздыру жылдамдығы артқан сайын кристалдың орталық сандары көбейіп, түйіршіктің өсуі бәсеңдейді, аустенит ұсақ түйіршікті болып құрылады (49 - сурет, $I < II < III$). Ұсақ түйіршікті болат технологиялық өңдеуге қолайлы, басып өңдеу процесін жоғарғы температурада жүргізу мүмкіндігі үлкен. Жоғары температурада металл созымтал болғандықтан, өнімділік артады.

Өнімнің қорытынды нәтижесі алғашқы өзгеру сапасына тәуелді. Эвтектоидқа дейінгі болатты A_{c3} нүктесінен асырып қыздыру аса

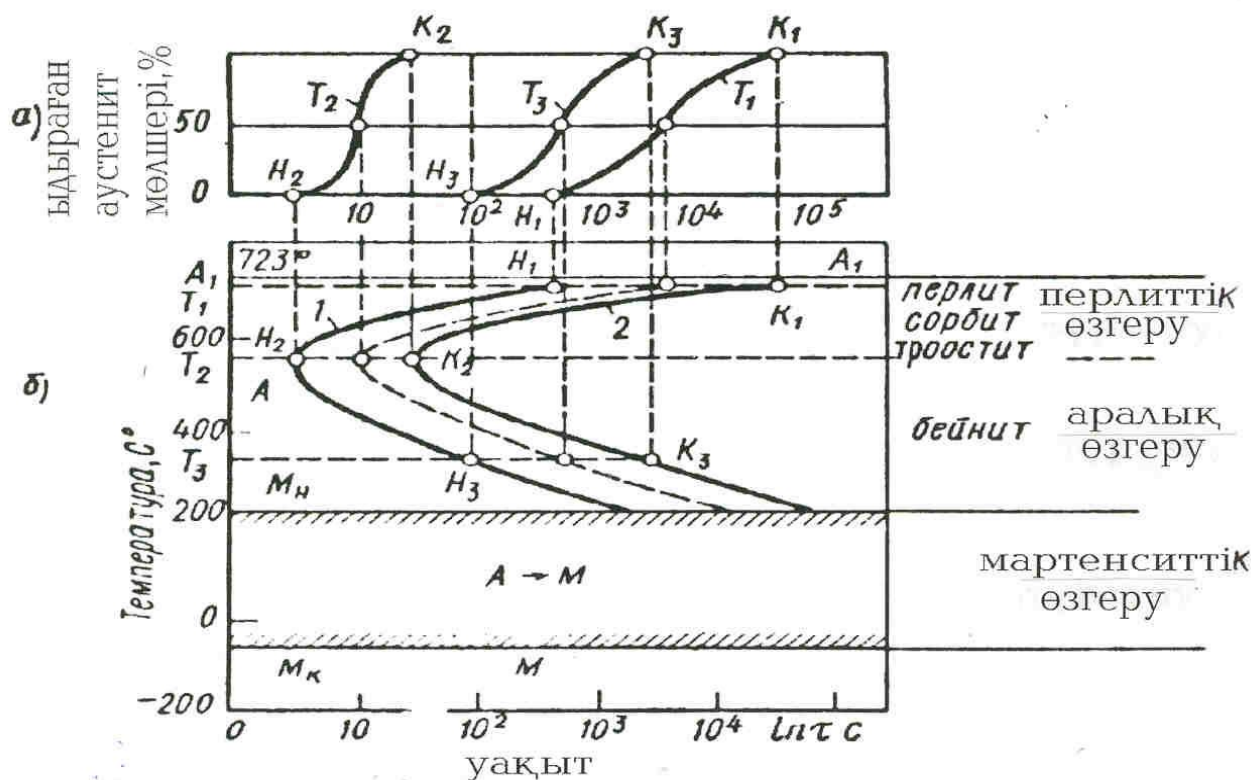
қыздырылған күйге әкеліп соғады. Аса қыздырылған болатты суытқандағы құрылым тілімшекті ине тәрізді феррит түрінде құралады (видманшетті құрылым). Мұндай ақауды қайтадан дұрыс температурада қыздыру арқылы түзетуге болады. Егер қыздыру температурасы солидус температурасына жақын болса, болат күйіп кетеді. Күйген болат беріктігін жояды, оны түзетуге келмейді. Мұндай болат шығынға шығады.

10.3.1 Болаттың қасиетіне түйіршік өлшемдерінің тигізер әсері

Түйіршіктің өлшемі ұсақ болса болаттың беріктік көрсеткіштері (σ_B , σ_T , σ_{-1}) созымталдығы (δ , ψ) және тұтқырлығы (КСУ, КСТ) жоғары, суыққа сынғыштық табалдырығы, морт қирау қабілеті төмен болады. Аустениттің түйіршіктерін микролегірлеу (V, Ti, Nb, т.б.), жоғары жылдамдықта қыздыру тәсілдері арқылы ұсақтау, болаттың конструктивтік беріктігін көтереді. Ірі түйіршікті құрылымды алу арқылы тек қана электротехникалық (трансформаторлық) болаттың магниттік қасиетін көтеруге болады.

10.4 Асыра суытылған аустениттің өзгеруіне жалпы сипаттама. Аустениттің изотермиялық өзгеру диаграммасы

Аустениттік құрылым қалыптасқанға дейін қыздырған болатты (эвтектоидқа дейінгі болат үшін A_3 нүктесінен, эвтектоидтан кейінгі болат үшін A_{cm} нүктесінен жоғары) A_1 нүктесінен төмен асыра суытқанда ондағы аустенит метатұрақты күйге түсіп, өзгеріске ұшырайды.



а) кинетикалық графиктер; б) аустениттің изотермиялық өзгеру диаграммасы.

51- сурет. Құрамында 0,8% көміртегі бар болат үшін асыра суытылған аустениттің изотермиялық өзгеру диаграммасы.

Асыра суытылған аустениттің өзгеру кинетикасын уақыт-температура диаграммасынан немесе асыра суытылған аустениттің изотермиялық өзгеру диаграммасынан бақылауға болады (51- сурет).

51-суретте көрсетілгендей H_1 , H_2 , H_3 нүктелері аралығында аустениттің ыдырауы байқалмайды. Бұл инкубациялық уақыт аралығы. Инкубациялық мерзім өткеннен кейін аустенит алғашында шапшаң ыдырай бастайды, артынан оның ыдырауы баяулайды. K_1 , K_2 , K_3 нүктелерінде (51,а-сурет) аустениттің ыдырауы толығымен аяқталады. Суыту графиктерін қолданып, аустениттің изотермиялық өзгеру диаграммасын салуға болады (51,б- сурет).

51- суретте көрсетілген диаграммаға ұқсас диаграммалар С – диаграммалар деп те аталады. Диаграммадағы 1-ші сызық аустениттің ыдырауының басталуын, 2-ші сызық аустениттің толығымен ыдырауына қажетті уақытты көрсетеді.

Бұл сызықтар диаграмманың аумағын бірнеше фазалық аудандарға бөледі. 1- ші сызықтың сол жағында аустенит тұрақсыз, 2 – ші сызықтың оң жағы аустениттің ыдырауынан туындаған өнімдер. Екі сызықтың ортасында аустенит пен оның ыдырауынан туындаған өнімдер: А + Ф + Ц орналасқан. Үзілмелі сызық (1– 2 аралығы) аустениттің 50% ыдырауына сәйкес. 1- ші сызықтың сол жағындағы аудан аустениттің инкубациялық уақытын көрсетеді. Суыту температурасы төмендеген сайын аустениттің тұрақтылығы T_2 -ге дейін төмендейді де (ең кіші шамасы), ары қарай қайтадан көтеріледі.

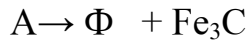
Аустениттің және жаңадан пайда болатын фазалардың (құрылымның) еркін энергияларының (Гиббс энергиясы) айырмашылығы үлкен болған сайын аустениттің тұрақтылығы төмендейді және өзгеру жылдамдығы көтеріледі. Бұл кезде өсуге жарамды өскіндердің өлшемдері кішірейеді де, олардың бастапқы аустениттегі көлемі ұлғаяды.

Аустениттің тұрақтылығының жоғарылауына және асыра суытуда оның өзгеру жылдамдығының төмендеуіне диффузия процесінің баяулауы, жаңа фазалардың өзгеру жылдамдығымен оның өсуінің төмендеуі әсерін тигізеді. Мн нүктесіне дейінгі (51- сурет) асыра суытылған аустенитте диффузиялық процесс толығымен тоқталады. Төменгі температураларда аустениттің өзгеруі диффузиясыз жүреді де, шынықтырылған болаттың құрылымы – мартенсит болып түзіледі.

Аустениттің өзгеруін суыту дәрежесіне қарай үшке бөледі: перлиттік, аралық және мартенситтік өзгеру (51,б- сурет). Мұндай өзгерістерді білудің тәжірибелік мәні зор. Перлиттік өзгеріс болатты жасыту, мартенситтік өзгеріс – шынықтыру, аралық өзгеріс болатты изотермиялық шынықтыру процестері.

10.5 Перлиттік өзгеру

Асыра суытылған аустениттің перлиттік өзгеруі 500⁰С-та (51-сурет) өтеді. Мұндай процесте $\alpha \rightarrow \gamma$ аллотропиялық өзгеріс жүреді және аустениттегі көміртегінің диффузиялық орын ауыстыруына қарай келесі ферритті-цементитті құрылым түзіледі:



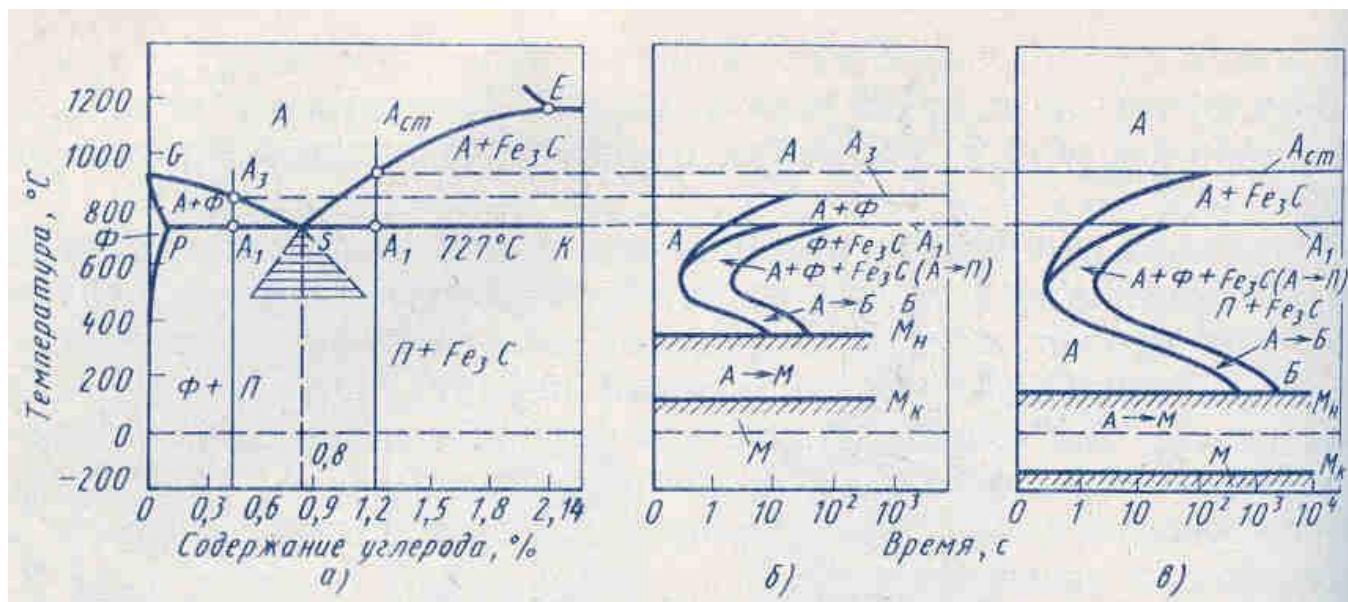
Аустенит көміртегіне кедей феррит (0,02%) пен құрамында 6,67% көміртегі бар цементитке ыдырайды. Алғашында карбид (цементит) түзіледі де, оның бөлшектерінің дамуы аустениттің көміртегіне кедейленуіне әкеліп соғады да, осылай тұрақсызданған аустенит аллотропиялық $\gamma \rightarrow \alpha$ өзгеріске ұшырайды.

Ферриттің кристаллиттері цементиттің шекарасында туындайды. Әрі қарай өскен ферриттің кристалдары аустениттің аллотропиялық $\gamma \rightarrow \alpha$ өзгеруіне қиындық туғызады. Осылай карбидтің бөлшектерінің туындап, әрі қарай өсу процесі ферриттің кристалдарының өсуіне және жаңа кристалдарының пайда болуына жағдай тудырады. Сонымен, феррит пен цементиттің кристалдарынан бірігіп өскен перлит колониясы құрылады.

Перлиттік өзгерудің өнімдері қалыңдығы әртүрлі тілімшекті құрылыс құрады, оларды перлит, сорбит, троостит деп ажыратады. Суыту дәрежесі артқан сайын ферритті-цементитті құрылым жұқара түседі, тілімшектердің ара қашықтығына (Δ_0) қарай қаттылығы өзгереді:

Құрылымы.....	перлит	сорбит	троостит
Δ_0 , мкм	0,61,0	0,25.....0,3	0,1.....0,15
НВ.....	180.....250	250.....350	350.....450

10.5.1 Эвтектоидқа дейінгі және эвтектоидтан кейінгі болаттағы аустениттің изотермиялық өзгеруі



52- сурет. Темір-цементит диаграммасы(а), эвтектоидқа дейінгі (0,45%) болаттың изотермиялық өзгеру диаграммасы (б), эвтектоидтан кейінгі (1,2%) болаттың изотермиялық өзгеру диаграммасы (в):

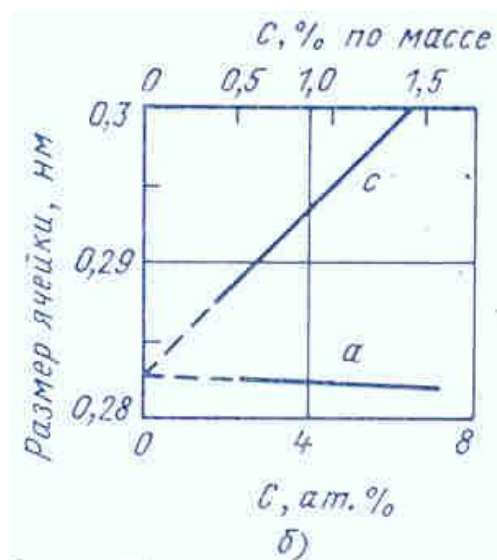
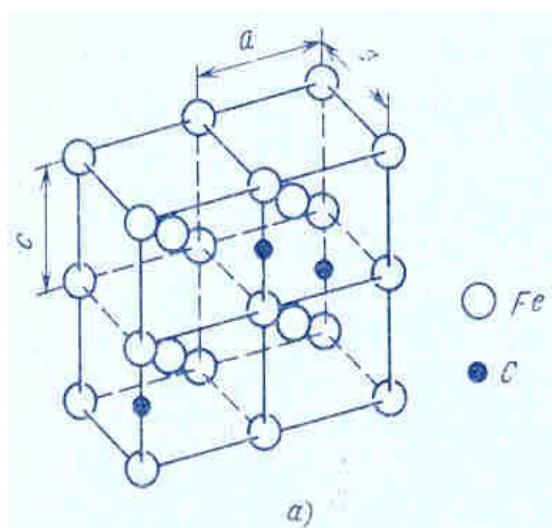
A-аустенит; П- перлит; Ф – феррит; Б- бейнит; М- мартенсит.

Эвтектоидқа дейінгі және эвтектоидтан кейінгі болаттың эвтектоидты болаттан өзгешелігі жоғары температура аралығында алғашында эвтектоидқа дейінгі болаттан үстем фаза-феррит, ал эвтектоидтан кейінгі болаттан цементиттің бөлінуінде. Температура төмендеген сайын бөлініп шығатын үстем фазалардың (феррит пен цементит) саны азая бастайды. 52-суретте көрсетілгендей аустениттің құрамындағы көміртегінің көбеюі оның тұрақтылығын нығайтады (изотермиялық диаграммадағы сызықтар оңға қарай жылжиды).

10.6 Мартенситтік өзгеру

10.6.1 Жалпы мәлімет

Мартенсит көміртегінің α -темірдегі аса қаныққан ену қатты ерітіндісі. Тұрақты күйінде α -темірдегі көміртегінің еруі 20°C -та $0,002\%$ -дан аспаса, мартенситтің құрамындағы мөлшері аустениттің құрамындағы мөлшеріндей $2,14\%$ -ға жетуі мүмкін.



а) кристалдық тор; б) құрамындағы көміртегінің мөлшеріне тәуелді тор периоды.

53 – сурет. Мартенситтің кристалдық құрылымы.

Көміртегінің атомы α -темір торындағы октаэдрлік қуыстарға орналасып, оның формасын өте өзгертіп, бұзады. Мартенситтің торы тетрагональды (53- сурет), мұндағы «с» периоды «а» периодынан үлкен. Бұл өлшем құрамындағы көміртегінің мөлшері көбейгенде тік қабырғасы ұзарып, негізгі табаны кішірейе түседі. Демек, мартенситтегі көміртегі көбейген сайын c/a қатынасы үлкейіп, тордың тетрагональдығы ұлғаяды.

Мартенситтік өзгеру аустенитті төменгі температурада шапшаң асыра суыту кезінде жүреді. Диффузиялық процестің жүруіне мүмкіншілік тумайды. Сол себепті бұл өзгеріс диффузиясыз өзгеріске жатады, демек,

көміртегі мен темірдің атомдары аустениттің торында диффузиялық орын ауыстыра алмайды.

Аустениттің мартенситке өзгеру жолында бастапқы кристалдық тор бұзылып, көлемі ұлғайып, фазалық деформациялар жүреді. Олардың әсерінен туындаған үлкен ішкі кернеулер жаңадан құрылған мартенситтің қаттылығын көтеруге ықпалын тигізеді. Мартенситтің қаттылығы өте жоғары (HRC65-ке дейін) және морт.

Мартенситтің кристалдары ине тәрізді болып қалыптасады. Кристалдар 1000м/с жылдамдықпен өсе бастайды, сөйтіп аустениттің түйіршіктерінің шекарасына жеткенше немесе болатта кездесетін ақауларға тірелгенше өседі.

Соңынан пайда болған мартенситтің тілімшекті кристалдары бастапқы кристалдарға 60° , 120° бұрышта орналасып, солардың өлшемімен оның көлемі шектеліп отырады.

Мартенситтік өзгеру мартенситтің басталу (Mn) және мартенситтің аяқталу (Mk) температуралары аралығында жүреді. Эвтектоидтық болаттар үшін 240°C -та басталып, -50°C -та аяқталады.

Mn және Mk нүктелері болаттың құрамындағы көміртегінің мөлшеріне қарай өзгеріп отырады, суыту жылдамдығы оған әсерін тигізбейді.

Егер эвтектоидты болатты бөлме температурасына дейін суытса оның құрылымында мартенситпен қатар біршама қалдық аустенит сақталады. Қалдық аустенит сақталған құрылым болаттың қасиетінің біркелкілігін жояды, себебі мартенситтің меншікті көлемі басқа құрылымдармен салыстырғанда ең үлкені болса, аустениттің меншікті көлемі ең кішісі. Аустениттік құрылымның мартенситтік құрылымға өзгеруі тетіктердің өлшемі мен көлемін ұлғайтады.

Мартенситтік өзгерудің ерекшелігі оның тек қана үздіксіз суыту кезінде жүретіні. Егер мартенситтік өзгерудің аяқталу нүктесінен жоғары температурада суыту тоқтатылса, ол аустениттің тұрақтануына әкеліп соғады. Одан арғы суытуда аустениттің өзгеруі қиындап кетеді.

Сонымен, мартенситтік өзгерудің ерекшеліктеріне оның диффузиясыз жүруі, кристалдарының бағытталуы және Mn-Mk температура аралықтарындағы суыту үздіксіз болуы жатады.

10.7 Үздіксіз суыту кезіндегі аустениттің өзгеруі

Аустениттің ыдырау температурасына суыту жылдамдығының тигізер әсері 54- суретте көрсетілген.

Суыту жылдамдығы артқан сайын және аустениттің ыдырау температурасы төмендеген сайын одан өнетін ферритті-цементитті құрылым жіңішкеріп, ұсақтала түседі. Демек, суыту жылдамдығы баяу кезінде (V_1) перлит, жылдамырақ кезінде V_2 – сорбит және одан жылдам болса V_3 - троостит түзіледі (54- сурет).

Үздіксіз суыту кезінде бейнит түзілмейді. Суыту жылдамдығы жоғары V_4 кезде аустенит жартылай Mn нүктесіне дейін аса суынып, мартенситке өзгереді. Ондағы құрылымы троостит пен мартенситтен тұрады.

жылдамдығы 200-ден 50°C/с дейін төмендейді. Көпшілік легірлеуші элементтер 20°C/с дейін төмендетеді. Жалғыз кобальт қана легірлеуші элемент ретінде аустениттің тұрақтылығын төмендетіп, межелік шынықтыру жылдамдығын көтереді.

10.8 Мартенсит пен қалдық аустениттің қыздыру кезінде өзгеруі (болатты босату)

Шынықтырылған болатты Ас1 нүктесінен төменгі температурада қыздырудан тұратын термиялық өңдеу б о с а т у деп аталады.

Босату арқылы шынықтырылған болаттың ішкі кернеуі азайтылып, тұтқырлығы мен созымталдық қасиеттері көтеріледі.

Шынықтырылған болаттың бастапқы құрылымы тетрагональды мартенсит пен қалдық аустениттен тұратын тұрақты фаза. Қыздыру кезінде мұндай құрылым өзгеріске ұшырап, мартенсит пен аустениттің ыдырауынан ферритті-цементитті құрылым түзіледі. Бұл фазалардың ыдырауы диффузиялық механизм бойынша жүретіндіктен оның өзгеру процесі қыздыру температурасына байланысты қалыптасады.

Жоғарыда айтылғандай (10.6) мартенситтің меншікті көлемі ең үлкен, ал аустениттің меншікті көлемі ең кішкене. Сол себепті мартенситтің өзгеруі оның көлемінің созылуына, ал аустениттің өзгеруі, керісінше, оның ұлғаюына әкеліп соғады.

Босату төмен температуралы, орташа температуралы және жоғары температуралы болып ажыратылады.

Төмен температуралы босатуда (150-200⁰С) мартенситтен ұсақ түйіршікті карбид бөлініп шығады. Мұндай карбидтің өскіндері жұқалтаң тілімшектер ретінде құрылады. Сонымен қатар параметрлерінің қатынастық дәрежесі (с/а) кішірейіп, бірге жақындайды, мартенситтің кристалдық торы тетрагональды түрден кубқа өзгереді.

Қыздыру температурасы 300°C жеткенше қалдық аустенит ыдырап, болаттың көлемі кеңейеді. Қалдық аустенит аса қаныққан α-қатты ерітінді мен оңашаланып үлгермеген карбидтердің қоспасына айналады, демек, босатылған мартенсит құрылады. Болаттың морттық сынғыштық қаупі төмендейді. Шынықтырылғаннан кейінгі көтерілген қаттылығы сақталады. Макро- және микрокернеулердің азаюына байланысты және құрылымының өзгеруіне қарай болаттың қаттылығы мен тұтқырлығы артады.

Орташа температурада (350 - 450⁰С) босатуда көміртегі қатты ерітіндіден толығымен бөлінеді де, карбидтер оңашаланып, цементит түзіледі. Болатты 400°C-қа дейін қыздырғанда оның құрылымы троостит құратын феррит пен цементиттен тұрады. Босату трооститі беріктік шегін, серпімділігін және төзімділігін жоғарылатып, соққы күштеріне қарсылық көрсетер қабілетін көтереді.

Қыздыру температурасы көтерілген кезде болаттың қаттылығы, деформацияға көрсетер уақытша қарсылығы, аққыштық шегі төмендейді, салыстырмалы созылуы артады.

Жоғары температурада ($500 - 650^{\circ}\text{C}$) босату кезінде карбидтер жекешеленіп, құрылымы босату сорбитінен тұрады.

Сорбит феррит пен ұсақ түйіршікті цементиттен құрылады. Аустениттің ыдырауынан құрылған ферритті-цементитті қоспалар (шынығу троститі немесе шынығу сорбиті) мартенситтің ыдырауынан құрылған ферритті-цементитті қоспадан өзгеше.

Шынығу троститі мен сорбитіндегі цементиттің пішіні тілімшекті, ал босатудан шыққан осы құрылымдардағы цементиттің пішіні түйіршікті.

Цементиттің пішініне қарай құрылымның қасиеттері әртүрлі қалыптасады. Түйіршікті құрылымның механикалық қасиеттері жоғарылау, қаттылығы бірдей кезде созымталдығы және тұтқырлығы көтеріңкі болып сипатталады.

