

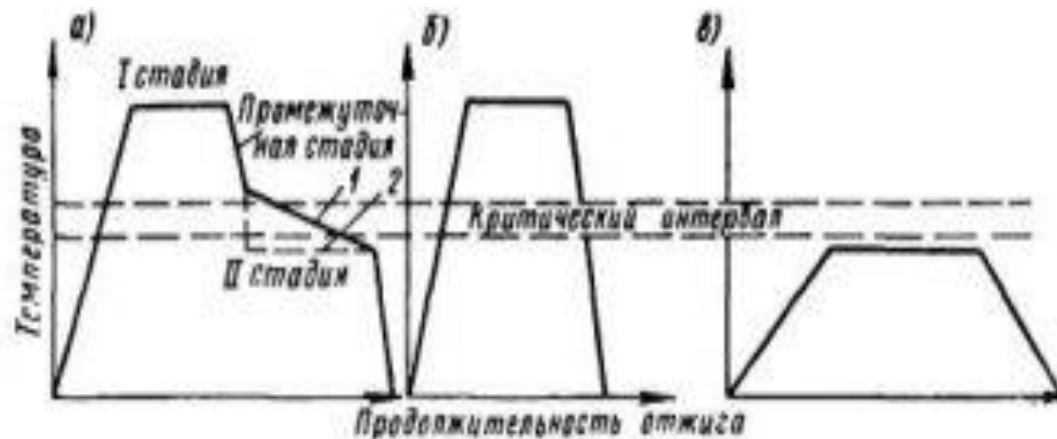
Шойындарды жасыту

Лектор: PhD, Султангазиев Р.Б.

Жоспар:

- Шойынды жасыту
 - Көміртектің ақ шойынның графитизациясының I және II сатыларына әсері
-

- Шойын құймаларды күйдіруді сыни аймақтан жоғары немесе төмен температурада жүргізуге болады. Тиісінше, жоғары және төмен температуралы күйдіру бар. Сонымен қатар, жасыту екі сатылы болуы мүмкін (сурет 1, а) немесе бір сатылы (сурет 1, б, в) оның екі температуралық аймақта немесе біреуінде жүргізілуіне байланысты. Жасытудың негізгі мақсатына байланысты оған графитиздеуші, гомогендеуші немесе сфероиддеуші деген атау беріледі, бірақ шын мәнінде бұл процестердің кейбіреулері, мысалы, графитизация және гомогенизация, әдетте, бір мезгілде өтеді.
-



Сурет 1 – Процесс схемалары: а-екі сатылы; б-бір сатылы жоғары температуралы; в-бір сатылы төмен температуралы

1 – II сатыда тікелей графитизация; 2-II сатыда тікелей емес графитизация

Жоғары температуралы процесс (сурет 1, А, Б), әдетте, құрылымдық-еркін карбидтердің ыдырауы (графитизацияның I сатысы) немесе гомогенизация қажет болған жағдайда қолданылады, бұл процесті критикалықтан төмен аймақта жүргізу кезінде тым көп уақыт алады. Егер құрылымның ферритизациясы (графитизацияның II сатысы) қажет болмаса, онда графитизацияның I сатысы аяқталғаннан кейін салқындатудың салыстырмалы үлкен жылдамдығы болуы мүмкін; бұл жағдайда процесс бір сатылы жоғары температуралы тип бойынша жүргізіледі (сурет 1, б) перлит құрылымын алумен. Егер ферритизация белгілі бір дәрежеде қажет болса, онда екі сатылы процесс қолданылады (сурет 1, а). Содан кейін графитизацияның бірінші және аралық сатысы аяқталғаннан кейін одан әрі критикалық интервалда одан әрі салқындату аустениттің тұрақты жүйе бойынша (аустенит → феррит + графит) ыдырауын қамтамасыз ету үшін жеткілікті баяу жүргізіледі (1-сурет, а). Бұл — графитизацияның II сатысын өткізудің тура жолы деп аталады, тікелей емес жолға қарағанда (1-суреттегі 2-сызық, а), Крит интервалының тез өтуі кезінде пайда болатын перлит II сатыда одан да көп немесе одан да аз ұзақ ұстамада облыста критінен төмен ыдырайды (перлит - > феррит + графит). Осылайша, графитизацияның II кезеңі екі түрлі жолмен жүргізілуі мүмкін және әртүрлі факторлар шойынды ферритациялаудың осы екі тәсілінің ұзақтығына әртүрлі әсер етуі мүмкін.

Төмен температуралы бір сатылы процеске (сурет 1, в) келетін болсақ, ол бастапқы перлитті құрылымды жұмсарту (саралау) немесе белгілі бір дәрежеде ферритдеу қажет болған жағдайларда сұр немесе жоғары беріктігі бар шойынды күйдіру кезінде қолданылады. Бұл жасытуды құрылымдық-бос карбидтердің кейбір мөлшері болған кезде тез графитизацияны қамтамасыз ететін шойын құрамдарында ғана қолдануға болады. Бұл процестің төмен температурасының салдарынан гомогендеу іс жүзінде аз дәрежеде болады, бұл шойынның, әсіресе жоғары беріктіктің қасиеттеріне жағымсыз әсер етуі мүмкін. Сондықтан жоғары температуралы күйдіру кейде тіпті құрылымда бос Карбид болмаған жағдайда да ұсынылады, бұл графитизациядан басқа гомогенизацияны * және тепе-теңдік күйге жақындау бағытында фазалар арасында элементтерді қайта бөлуді қамтамасыз етеді. Кристалдау және қайта кристалдау процестерінде қатты ерітінді тұрақтандырғыш элементтермен (Mn, Cr) артық байытылатындықтан, гомогенизация кезінде олардың карбидтерге диффузиясы жүреді, бұл олардың төзімділігін, әсіресе процестің соңына қарай арттырады. Мысалы, 1050 ° C кезінде 1 сағат ішінде гомогенизация процесінде Mn және CR қайта бөлу келесі деректермен сипатталады:

	До гомогенизации	После гомогенизации
$Mn_{цм} : Mn_{фер}$	1,5 : 1	2 : 1
$Cr_{цм} : Cr_{фер}$	3 : 1	(6÷7) : 1

Бұл ретте басқа элементтердің мазмұны үлкен маңызға ие. Мысалы, егер карбидтер кәдімгі шойыннан жасыту кезінде хроммен байытылса, онда бордың қатысуымен олар микроликвация белгісінің өзгеруіне байланысты хроммен тамақтанады, бұл графитизация процесін тездетеді.

Сондай-ақ, Si, Ni және ерітіндіден тұрақтандырғыш элементтерді ығыстырып, карбидтерді байытуға ықпал ететін басқа да қоспалардың болуы да маңызды. Сонымен қатар, бұл элементтердің эвтектикалық аустенит пен аустенит арасында карбидтердің ыдырауы кезінде пайда болады. Осылайша, графитизацияланған күйдіру кезінде бірқатар қосымша және маңызды процестер болады, олардың жылдамдығы әртүрлі. Мысалы, фосфор диффузиясы хром, марганец, кремний және никельден әлдеқайда жылдам болады. Жалпы алғанда, гомогенизацияны практикалық есепке алуды қысқа мерзімді процестер жағдайында ғана жүргізу керек, өйткені 950°C температурада күйдіру ұзақтығы 10 сағаттан артық ұлғаюы әдетте шойынның қасиетіне елеулі әсер етпей қалады. Көптеген жағдайларда күйдіру ұзақтығы көбінесе графитизация процесімен анықталады, ол көптеген факторларға байланысты: металдың химиялық құрамы, бастапқы құрылымы, термиялық өңдеу режимі мен шарттары.

Күйдіру кезінде шойынның графитизациясына элементтердің әсер етуіне қатысты, көбінесе кристалдану кезіндегі сияқты, атап айтқанда, кремний мен алюминий бұл жерде ең тиімді әрекет ететін элементтер болып табылады деп айтуға болады. Мысалы, С. и. Витензон зерттеулер бойынша графитизацияның І сатысының жалпы ұзақтығы

$$\tau_1 = KSi^{-a} = 0,325 \cdot 10^{10} \exp(-0,022t) Si^{-0,2+0,004t}, \quad (11.61)$$

мұндағы t — температура процесса в °С,

τ_1 — продолжительность процесса в мин.

Процестің ұзақтығы температураның жоғарылауымен және шойындағы кремнийдің мазмұнымен қарқынды қысқарады, оның әсері температураның төмендеуімен күшейеді. Басқа элементтердің әсері, сондай-ақ олардың кристалдану әсеріне сәйкес келеді, бірақ жекелеген зерттеулер бөлшектерде ерекшеленеді (сурет 2). Бұл деректерден Al, Si, Ni, Cu, Co ықпал етеді, ал Cr және V графитизацияға кедергі келтіреді. Mn, S және W алдымен оң әсер етеді және содан кейін ғана теріс әсер ете бастайды. Фосфор жоғары температураларда (1000°C жоғары) және концентрацияларда оң әсер етеді, фосфидті эвтектиканың түзілуі мүмкін болғанда, төмен температураларда және концентрацияларда ол графитизацияны біршама кідіртеді. Ақ шойынның графитизациясының I сатысының тән ерекшелігі көміртектің өте әлсіз әсері (сурет 3) қазіргі заманғы зерттеулер бойынша қолайлы деп санауға болады, бұл инкубациялық кезеңнің тиісті азаюымен расталады.

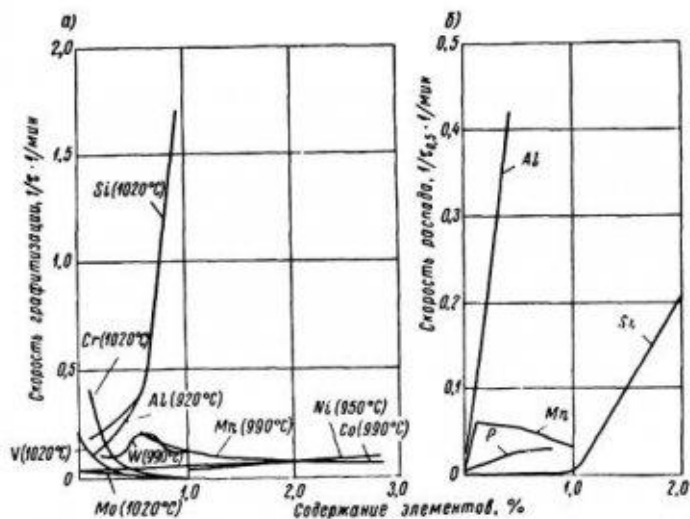


Рис. 133. Относительное влияние элементов на скорость I стадии графитизации белого чугуна: а — по данным М. А. Криштала; б — по данным А. К. Рецина

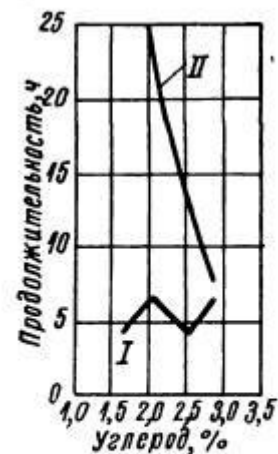


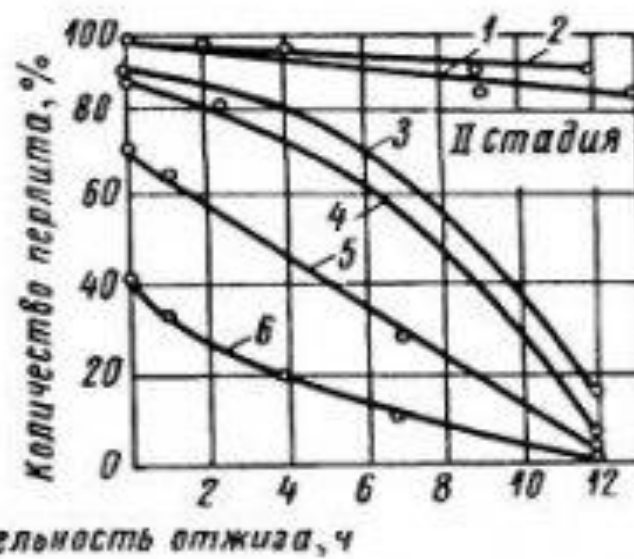
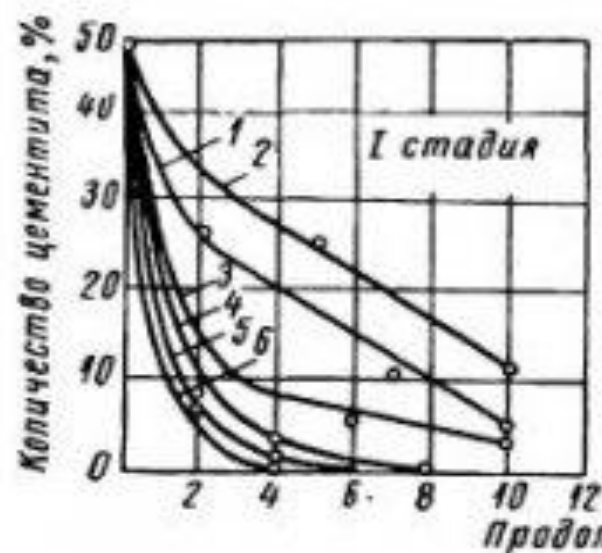
Рис. 134. Влияние углерода на I и II стадии графитизации белого чугуна

Сурет 2 – Ақ шойынның графитизациясының I сатысының жылдамдығына элементтердің салыстырмалы әсері:

а-М. А. Криштал деректері бойынша; б-А. К. Рециннің деректері бойынша

Сурет 3 – Көміртектің ақ шойынның графитизациясының I және II сатыларына әсері

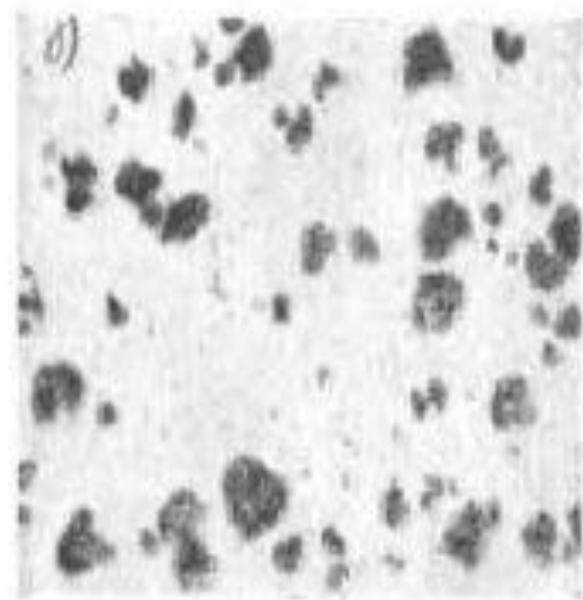
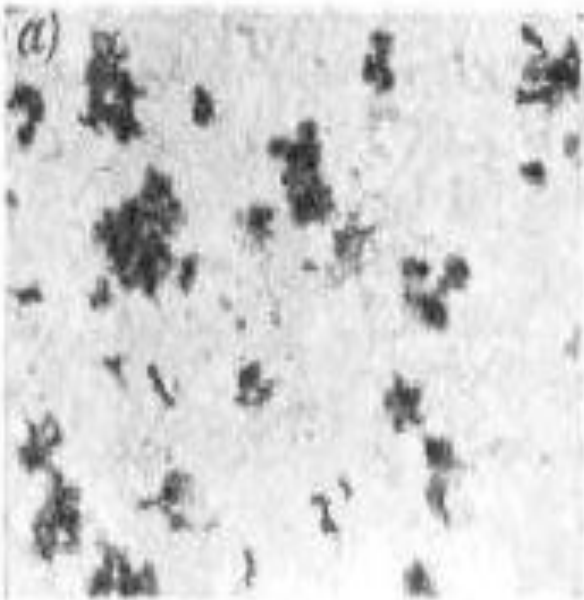
Кристалдану сияқты, жасыту кезінде графитизацияға модификаторлардың рөлін атқаратын шағын қоспалар үлкен әсер етеді (сурет 4). Автордың зерттеулері ЦКБ және Лепс атындағы зауыт қызметкерлерімен бірге висмут біршама кідіртетінін, ал бор аз мөлшерде, әсіресе алюминийде графитизация процесін тездететінін көрсетті. Висмут пен бордың немесе висмут, бордың және алюминийдің бірлескен қоспасының жағымды әсері соңғы екі элементтің әсерінің салдары болып табылады. Висмуттың рөлі-бұл бастапқы шойында графиттің бөлінуін тежей отырып, онда кремний құрамын арттыруға мүмкіндік береді және бұл арқылы соғылатын шойынды күйдіру ұзақтығын қысқартады. Басқа элементтерден те және Cd-дің тежеуіш графитизациясын және төмен қарқынды, бірақ Sb, Sn, Pb теріс әсерін атап өткен жөн, бұл ретте Cd, Pb, SN және В жоғары қатынасы Mn:S кезінде осы элементтермен сульфидтердің түзілуі термодинамикалық мүмкін болмаған кезде күшті әсер етеді.



Сурет 4 – Әртүрлі қоспалардың ақ шойынды графиттеудің I және II сатысының жылдамдығына әсері:

1-Бастапқы шойын; 2 – висмут қоспасы; 3 – алюминий мен күкірт қоспасы; 4 – бор мен висмут қоспасы; 5 – бор қоспасы; 6 – алюминий қоспасы

Тереңдейтін элементтердің әсеріне қатысты әртүрлі пікірлер бар. Автордың және басқа да бірқатар зерттеушілердің тәжірибелері магний күйдірілген шойынды күйдіру ұзақтығына елеулі әсер етпейтінін көрсетті (бірінші және екінші кезеңде), әдебиетте бір жағынан оқатты графитациялайтын, ал екінші жағынан магнийдің айтарлықтай тұрақтандырушы әсері туралы. Зерттеу нәтижелерінде мұндай күрт айырмашылықтар кристалдану кезінде пайда болатын ұрықтар мен шар тәрізді графиттің қосылуына байланысты болуы мүмкін. Бұл ретте процестің ұзақтығына екі фактор әсер етеді: жасытуды жеделдететін ұрықтар санының артуы және олардың шар тәрізді түрде өсу жылдамдығын азайту, процесті баяулату. Сондықтан ұрықтардың санына байланысты, жалпы алғанда, жасыту ұзақтығы ұлғаюы немесе азаюы мүмкін. Бұл тұрғыда, атап айтқанда, шойындағы кремний құрамының маңызы бар және осы тұрғыдан м.в. Волощенконьң деректері түсінікті, оған сәйкес магний таза Fe-C қорытпаларында графитизацияны тездетеді және Fe-C-Si қорытпаларында іс жүзінде аз әсер етеді. Бұл бірінші жағдайда эмбриондар санының ұлғаюы салыстырмалы мәнге ие. Магнийді қосқанда графиттің өсу жылдамдығының азаюы теориялық түрде күріш негізінде түсінікті, ал ұрықтар санының өсуіне қарамастан (сурет 5), автордың тәжірибесінде жасыту ұзақтығы өзгерген жоқ. Алайда, соғылған шойынды графиттеуге арналған магний қоспасының және басқа да гло-буландырғыш элементтердің практикалық мәнін бағалау кезінде күймаларда пластиналық графиттің бөліну қаупінсіз кремний құрамын арттыру мүмкіндігін ескеру керек, бұл күйдіру процесін едәуір қысқартады.



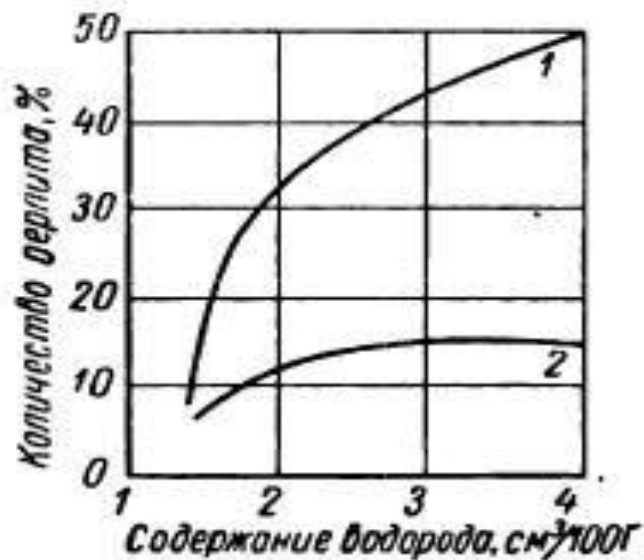
Сурет 5 – Магнийдің күйдіру көміртегінің пішіні мен қоспалар санына әсері: а-магнийсіз; б - 0,026% Mg-мен; 900°C кезінде 24 сағат күйдіру (x30)

Азот және сутегі шойын графитизирлеуші күйдіру теріс әсер етеді, бұл ЛПИ құю зертханасында жүргізілген зерттеулерден көрінеді (күріш. 137) және 950°C кезінде ақ шойынды күйдіру бойынша Кимио деректері:

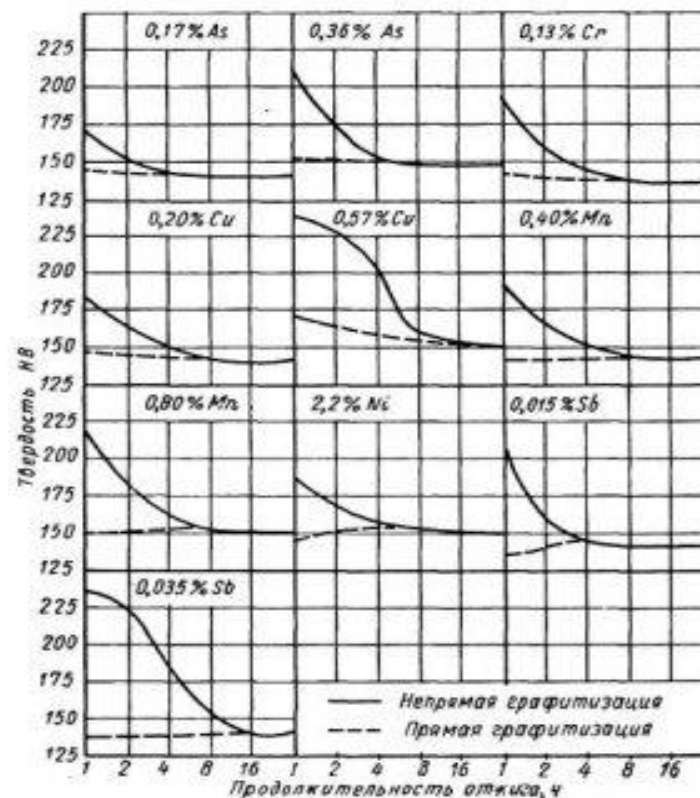
N_2 в % . .	0,0082	0,0168	0,0289	0,0309
τ_1 в мин. . .	41	65	85	164

Бұл Галло мен Александро зерттеуімен расталады. Алайда, азотты берік нитридтерге байланыстыратын элементтердің (Ti, Al) болуы оның зиянды әсерін бейтараптандыра алады және тіпті и. Н.Богачев көрсеткеніндей, кері нәтижелерге әкелуі мүмкін. Элементтердің графитизацияның II сатысына және бір сатылы төмен температуралы жасытуға әсері әдетте I сатыға және бір сатылы жоғары температуралы жасытуға ұқсас. Алайда, бұл әсер графитизацияның II сатысын жүргізу тәсіліне байланысты (тікелей және жанама жолмен). Осыған байланысты элементтердің әсері белгіге қарама-қарсы болуы мүмкін (мыс, мысалы, аустениттің айналуын баяулатады, бірақ перлиттің ыдырауын тездетеді), бірақ көп жағдайда ол сапалы бірдей, бірақ тура процестің жылдамдығы әрдайым көп (сурет 6).

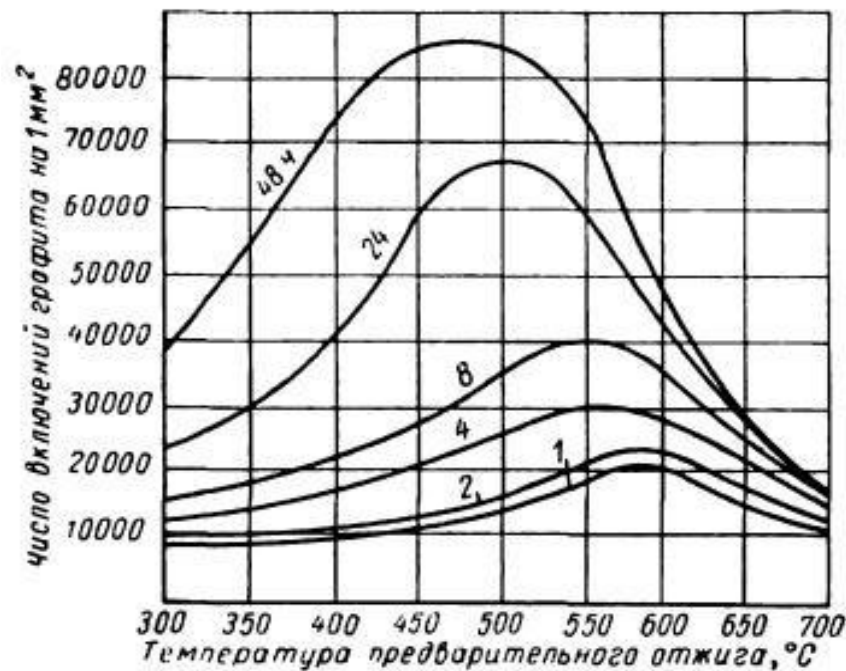
Сурет 6 – соғылатын шойынды күйдіру кезіндегі құрылымдағы қалдық перлит мөлшеріне сутегі әсері: 1-төмен температурада өңдеусіз; 2-төмен температурада өңдеумен



Сурет 7-әртүрлі элементтердің беріктігі жоғары шойынның ферритациясына әсері (C= 3,65-3,74 %; Si= 2,0-2,4%) әртүрлі тәсілдермен

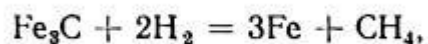


Шынығу кезінде пайда болатын графит эмбриондарының көп саны сәйкесінше графитизацияның үлкен жылдамдығын тудырады. Одан кейінгі күйдіру температурасына қарамастан графитизация жылдамдығы шамамен үш есе артады. Бұған қарама-қарсы, күйдіру алдында демалысты қолдану шыңдау тиімділігін күрт арттырады және күйдіру ұзағырақ соғұрлым қарқынды болады (сурет 8). Босатудың оңтайлы температурасы $450-600^{\circ}\text{C}$ болып табылады, бұл ретте температура босату кезінде төзімділігі соғұрлым жоғары болуы тиіс. Осындай тәсілмен өңдеу (кейіннен күйдіру алдында босатумен шыңдау) графитті қосу санын 100 000-ға дейін 1 мм^2 -ге дейін және тиісті күйдіру санын 60 есе қысқартуға болады.



Сурет 8 – Алдын ала босатудың шыңдалған ақ шойынға графитті қоспалар санына әсері

Алдын ала өңдеудің, әсіресе төмен температуралы күйдіру әрекетін жеделдететін механизмді түсіндіру үшін "газ" теориясының әртүрлі нұсқалары кең таралуда, оған сәйкес сутектің тесігі мен фазалар шегіне диффундтай және молекулалардың Ассоциациясы нәтижесінде түзе отырып немесе реакциялар бойынша цементитпен әрекет ете отырып, әсерінен ұрықтар түзілетін жоғары қысымды орындар пайда болады. Бір қарағанда, мұның себебі цементиттің тұрақтылығын төмендететін созылу кернеулері болып табылады, екіншісі — газдармен толтырылған кезде қолда бар қатпарлықтардың орнықтылығын арттыру; бұл ретте ұрықтардың пайда болуы қатты дәрежеде еркін көміртегінің бөлінуімен метанның ыдырауына ықпал етеді. Осыған байланысты кейбір зерттеушілер төмен температурадағы өңдеу тиімділігінің оңтайлы температурадан жоғары төмендеуі сутегі диффузиясы жылдамдығының ұлғаюымен және оны алып тастаумен түсіндіріледі деп есептейді. Басқа зерттеушілер цементитте созылу кернеуінің дамуы нәтижесінде графит эмбриондарының пайда болуы туралы көзқарасты ұстана отырып, жоғары температуралардың теріс рөлін серпімділік Модулінің төмендеуімен түсіндіреді.



Бұл ретте төмен температуралы өңдеу кезінде алюминийдің он рөлі сульфидтердің, тотықтардың немесе нитридтердің түзілу нәтижесі ретінде параллель және дербес бағаланады, олар жай ғана қосымша ұрықтар болып табылады, не (сөзсіз, бұл да орын алады) төмен температуралы өңдеу кезінде ұрықтың шығу процесімен байланысты нәрсе ретінде. Соңғы жағдайда алюминий немесе оның қосылыстары көлемді өзгерістермен, демек, ферритте жылынумен, немесе диффузия және қанықпаған ерітіндіден көміртегінің бөлінуі процестерімен байланысады, бұл әлеуетті ұрықтардың нақты және белсенді түрленуіне әкеледі.

Қатты күйдегі шойынның графитизациясының гипотезаларының көптүрлілігі, сұйық күйден графиттің кристалдануы сияқты, күйдіру процесіндегі эмбрионды және графитизацияның жылдамдығына әсер ету жолдарының көптүрлілігін көрсетеді. Бұл ретте жасытудың қарапайым және "жеделдетілген" процестерін графитизациялау факторлары арасында тығыз байланыс бар, демек, жасытудың барлық түрлерін жиынтықта қарастыру керек.

Ең алдымен, осы тұрғыдан элементтердің әсерін талдау ұсынылады. Бұрын көрсетілген шойын фазалары арасында элементтердің таралу заңдылықтарын ескере отырып, тұрақтандырушы элементтер карбидтегі процестерді (орнықтылықтың жоғарылауын), ал графитизациялаушы — қатты ерітіндідегі процестерді (көміртектің белсенділігінің жоғарылауын) тудырады деген қорытындыға келмеуге болмайды. Эмбриондар санының көбеюіне графитирлеуші элементтерді (Si) ұлғайту жолымен де, Карбид түзуші (CR) азайту жолымен де қол жеткізіледі, онда қатты ерітінділерде де, цементитте де болатын процестердің практикалық маңызы бар екені анық.

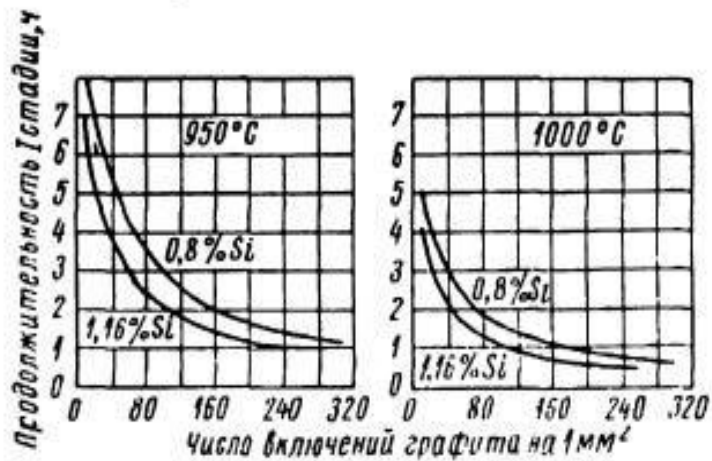


Рис. 146. Влияние количества включений графита на продолжительность I стадии графитизации при разном содержании кремния

Сурет 9 - Графит қосылыстары санының кремнийдің әр түрлі болуы кезіндегі графитизацияның I сатысының ұзақтығына әсері

Бұл сияқты басқа факторлардың АҚ шойын эмбриондарының түзілуіне әсер ету механизмі әртүрлі болуы мүмкін. Нәтижесінде, бірінші кезекте түзілген ұрықтардың санымен анықталатын процесс жылдамдығы, қатты ерітінді неғұрлым көп қаныққан сайын, карбидтер аз, фазалар шектерінен тарамдалған, микродефектілердің әр түрі көп. Осы факторлар графит эмбриондарының өсу жылдамдығын анықтайды, оның мағынасы тіпті эмбриондардың санына айрықша рөлге жатқызылғандар да жоққа шығара алмайды. Шынында да, и. И. көрсетті. Жақсы, шойындағы кремний мөлшерінің артуы тіпті сол эмбриондардың (сурет 9), демек, кремний эмбриондар санын ғана емес, олардың өсу жылдамдығын да арттырады.

Алайда, 9 суреттен көрініп тұрғандай, әсері салыстырмалы түрде аз. Бұл белгілі бір мөлшерде ак шойынды күйдіру ұзақтығын анықтайтын формулаларды ақтайды, графит қосылымдарының бір ғана санына байланысты, ол С. А. Салтыков және т. б. жалпы түрде тиісті формулаларды ұсынуға болады.

$$\tau = \frac{k}{n^x} \approx \frac{k}{\sqrt{n}}$$

мұндағы k — шойынның құрамына және графиттеу сатысына байланысты коэффициент;

x — деңгей көрсеткіші 0,44—0,53 шегінде ауытқиды, яғни 0,5-ке жақын.

Алайда, бұл тәуелділік әрдайым дұрыс емес және Г.Сандоз көрсеткеніндей, графитизацияның II сатысының ұзақтығы оны тікелей емес жолмен жүргізу кезінде эмбриондардың санына байланысты емес (сурет 10) бұл жағдайда перлиттің ыдырауы кристалданудың жаңадан пайда болатын орталықтарында орын алуы мүмкін.



Рис. 147. Кинетика непрямой II стадии графитизации ковкого чугуна при 650° С, при разном количестве включений графита

● — без предварительного отжига, $\lambda = 1000$ на 1 мм²;
 × — низкотемпературная обработка при 280° С, в течение 2 ч, $\lambda = 2500$ на 1 мм²; □ — предварительная закалка, $\lambda = 50\,000$ на 1 мм²

Сурет 10 – 650 °С кезінде соғылған шойынның графитизациясының тікелей емес II сатысының кинетикасы, графитті қосудың әртүрлі мөлшері кезінде

Өте маңызды мәселе-шойын күйдіру процесінде пайда болатын графиттің нысаны мен таралуы. Бұл ретте, бастапқы шойындағы графит, әдетте, күйдіру процесінде өз нысанын өзгертпейтінін атап өткен жөн. Сондықтан, бастапқы шойындағы пластиналы графиттің болуы сол нысанда одан әрі кристалдануды тудырады. Осыған байланысты соғу шойын өндірісінде шикі құймаларда пластиналы графиттің бөлінуіне үзілді-кесілді тыйым салынады, оларда шар тәрізді графиттің болуы әбден мүмкін, тіпті жақсырақ, өйткені ол күйдіру процесінде де бұл пішінді сақтайды, бірақ кем дегенде процестің басында (I сатыда). Бастапқы таза ақ шойын кезінде күйдіру процесінде пайда болатын графит (күйдіру көміртегі) металл құрамы мен күйдіру жағдайларына байланысты тармақталу дәрежесі әртүрлі болуы мүмкін. Графиттің неғұрлым ықшам және дөңгелек нысандарын алуға ықпал етеді: S:Mn ($> 1,0$) жеткілікті жоғары қатынасы, кремний мен хромның төмен мөлшері, никель мен мыстың жоғары мөлшері, төмен күйдіру температурасы, сфероид элементтерімен модификациялау (Mg, Ce және т.б.), алюминий қоспасын және төмен температуралы өңдеуді бірге қолдану, яғни графит қырының өсу жылдамдығын теңестіретін немесе оның бөлінуін ұсақтайтын барлық нәрсе. Барлық осы факторлардың ең тиімді болып жаһандық элементтерді және жоғары қарым-қатынасты қолдану болып табылады S:Mn (керісінше, күкірттің артық болуы), бұл өнеркәсіпте табысты қолданылады (негізінен, перлитті шойын үшін).

Қарама-қарсы жағдайлар, керісінше, графиттің тармақталған немесе тіпті пластиналы нысандарын алуға ықпал етеді. Бұл тұрғыда әсіресе зиянды әсер жоғары күйдіру температурасымен үйлескен фосфордың үлкен мөлшеріне әсер етеді. Дегенмен, процестің өте жоғары температурасы (әсіресе 1050° C) фосфор қалыпты жағдайда да қолайсыз. Төмен температураларда процестің ұзақтығы ұлғаятындықтан, осы фактордың әсерін біршама жұмсартатын болсақ, бұрын пайда болған ұрықтардың қолайлы өсуін жүзеге асыру үшін төменгі температурада кейіннен жасытумен ұрықтарды тез құру үшін кейде жоғары температурада шойынды қысқа мерзімді ұстау ұсынылады.

Ақ шойынды күйдіру кезінде графитті таратуға келетін болсақ, ол кристалдану кезіндегі сияқты біркелкі немесе бағдарланған болуы мүмкін. Соңғысының мысалы графиттің алдын ала шындалған шойынға тән жол орналасуы болуы мүмкін, бұл оның қасиеттерінің төмендеуінің себебі болып табылады.
