

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті

Ғ. Нысанбай

ІІСІРУ ПРОЦЕСІНІҢ ТЕОРИЯСЫ ІІ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

5B072400 – «Технологиялық машиналар мен жабдықтар»
5B012000 – «Кәсіптік білім беру»
мамандықтары студенттеріне арналған

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2013

ЖОК 669.0 (075.8)

ББК 34.1 я 73

Н 90

Н 90 Нысанбай Ғ. Металдарды пісіру процесінің теориясы. II Металлургиялық процестер. Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2013. – 199 б.

Сурет 25. Кесте 4. Библиогр. – 12 атау.

ISBN 978-601-228-504-8

«Пісіру процесі теориясы. I Физикалық негіздері» жеке оқу құралы болып шығарылған. Қазіргі ұсынылып отырған оқу құралы аталған процесс теориясының екінші бөлігі. Мұнда металдарды балқытып пісіруде орын алатын пісіру ваннасының қалыптасуы, кристалдануынан бастап, жік металымен термиялық әсер аумағында құрылымдық өзгерістер мен металл қасиеті қалыптасуы қаралады. Аталған процестер жинақты түрде металлургиялық процестер боп аталады және бұл процестердің негізі физикалық химия заңдылықтары болып табылады. Сондықтан бастама ретінде, физикалық химия негіздері келтірілді.

Оқу құралында пісіру ваннасында металдың кристалдануы және жік металының қалыптасу ерекшеліктері көрсетілген. Пісіру ваннасында өрбитін химиялық реакциялар, олардың өту жағдайлары; термиялық циклдің негізгі металл құрылымы мен қасиетіне әсері сипатталады.

Металдың пісіруге бейімділігі түсінігі және жік металы қасиеті, құрылымына қойылатын эксплуатациялау талаптарына сәйкес, пісіру материалдарын таңдау, пісіру ережелерін анықтаудың негіздері келтірілген.

ЖОК 669.0 (075.8)

ББК 34.1 я 73

Пікір жазғандар:

Түсіпбаев Н.К., техн. ғыл. докторы

Жантөреев А.Ж., техн. ғыл. кандидаты

Есқұлов С.С., техн. ғыл. кандидаты

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2013 жылғы жоспары бойынша басылды

ISBN 978-601-228-504-8

© Нысанбай Ғ., 2013

© ҚазҰТУ, 2013

КІРІСПЕ

Пісіру процесінде жалғастыратын бөлшектердің үстіңгі бет атомдары бет ауданын толық қамтып, өзара ішкі байланыс күштерімен біріктіріліп, монолит жалғас қалыптасады. Пісіру процесі өтуі үшін энергия қолданылуы шарт. Сонымен қатар, пісіру аумағында энергия мен заттың қайтымсыз құбылысы орын алады. Балқытып пісіруде нақтылы энергия түрінің (электрлік, химиялық, т.б.) эквиваленттік жылу қуаты пайдалынады. Мұнда жылу қуатының шоғырлануының және металдың жылуфизикалық қасиеттерінің (балқу температурасы, жылуөткізгіштігі, жылусыйымдылығы, т.с.с.) пісіру процесі өрбуінің де мәні зор.

Сондықтан сапалы пісірілген жалғас өндіру энергия көзінің ерекшеліктері және металдың қасиеттеріне белгілі заңдылықты тәуелділікте, бұлар пісіру процесінің теориясында жинақты түрде пісіру процесінің физикалық негіздері деп аталады. Мұндағы мәселелер жеке бөлімді оқу құралында келтірілді (Пісіру процесінің теориясы. Физикалық негіздері, I бөлім).

Ұсынылып отырған еңбек аталған тақырыпты оқу құралының 2-бөлімі. Балқытып пісіруде жалғастырылатын бөлшектер жиектері шағын мөлшерде балқытылады. Балқытылмаған металл жиектері аралығында онымен ұласқан шағын көлемді балқыған металл, пісіру ваннасы болып аталады. Пісіру ваннасының кристалдануы нәтижесінде жік металы қалыптасады. Балқытылған металл газ, қож фазаларымен әсерлесуде болады. Бұларды жалпы түрде пісірудегі металлургиялық процестер деп атайды. Арнайы элементтер келтіру арқылы ванна металын тазарту, легірлеу процестері орын алады және бұлар химиялық реакциялар түрінде өтеді. Химиялық реакциялардың өту бағыты, кинетикасы физикалық химия заңдылықтарымен анықталады. Сондықтан пісірудегі металлургиялық процестерді тиімді бағытта өрбіту үшін,

физикалық химия заңдылықтарын терең білу қажет. Пісіру материалдарын таңдау, пісіру ережесінің параметрлерін анықтау да физикалық химия заңдылықтарына негізделеді. Сондықтан оқу құралында физикалық химия негіздері бастамалық орында және қаралатын мәселерге қажетті көлемде ғана келтірілді.

Оқу құралын баспаға дайындауда зор көмек көрсеткен әріптестеріме, пікір жазған ғалымдарға шын жүректен зор алғысымды білдіремін. Бұл осы ғылыми-техникалық салада қазақ тілінде тұңғыш жазылған оқу құралы. Орын алған олқықтар, қажетті толықтырулар жайлы айтылған пікірлерді автор шынайы илтипатпен қабыл алады.

1. ФИЗИКАЛЫҚ ХИМИЯ НЕГІЗДЕРІ

1.1. Жалпы түсініктер және термодинамиканың бірінші заңы

Металдарды пісіруде күрделі физика-химиялық құбылыс өтеді. Мұнда қатысушы фазалардың (металл, флюс, газды атмосфера) үздіксіз әсерлесуі орын алады. Бұл құбылыстар нәтижесінде, пісірілген жік металының құрамы мен қасиеті анықталады. Пісіру процесі технологиясының мүмкіндіктерін жақсы пайдалану және пісіру процесін басқару үшін, оның құрамындағы құбылыстардың пайда болу және даму заңдылықтарының мәнін терең білу қажет. Пісіру процесінің елеулі бөлігі химиялық әсерлесу реакциялары болып келеді. Қандай да болмасын химиялық реакцияның өту мүмкіндігі, реакцияның өту бағыты, ұмтылу шегі мәселелері термодинамика заңдылығымен шешіледі.

Термодинамика – физикалық химияның бір тарауы. Мұнда энергияның бір түрден екінші түрге ауысуы; әртүрлі химиялық және физикалық процестерде орын алатын энергетикалық эффектілер; олардың процесс өту шартына тәуелділігі; белгілі жағдайларда (шарттарда) процестің өздігінен өту мүмкінділігі, бағыты, және шегі мәселелері қаралады.

Термодинамика екі заңға негізделген, оларды кейде термодинамика принциптері деп атайды.

Термодинамиканың бірінші заңы. *Егер қандай да болсын процесте энергияның бір түрі ғайып болса, оның орнына шамасы сол энергияға қатаң баламалы энергияның екінші түрі пайда болады.*

Бұл заңнан көрінетіндей, кез келген оқшауланған жүйеде энергияның жалпы қоры тұрақтылығын сақтайды.

«Жүйе» деген түсінік – өзара әрекеттесуші жағдайдағы, оймен қоршаған ортадан оқшауланған дене немесе денелер жиынтығы.

Оқшауланған жүйе – қоршаған ортамен зат немесе энергия алмасу мүмкіндігі жоқ жүйе.

Жүйенің қоршаған ортамен өзара әрекеттесуі жылу алмасу және жұмыс істеумен байланысты. Жүйеге келтірілген жылу оның ішкі энергиясын өсіреді де, жылудың бір бөлігі жұмыс атқарады. Ішкі энергия түсінігінің термодинамика және физикада айырмашылығы бар.

Термодинамикалық ішкі энергия, U жүйе күйінің параметрі болып табылады.

Физикада ішкі энергия – жүйенің жалпы энергия қорын сипаттайтын шама. Жүйе жалпы энергия қорына молекулалардың ілгерілемелі және айналмалы қозғалыс энергиясы, атом ядросындағы энергия және дененің жинақты кинетикалық және дененің жағдайына байланысты потенциалдық энергиясынан басқа энергиялар кіреді.

Жүйеде атқарылған жұмыс, кеңею немесе қысу және химиялық реакция жұмыстарынан (мысалы, гальваникалық элементте өтетін химиялық реакция жұмысы) тұрады.

Жүйеге келтірілген жылулық оң таңбалы, жүйеден шығарылған жылулық теріс таңбалы болып алынады.

Жүйе ішкі энергиясының өсуі оң таңбалы болып саналады.

Жүйе атқарған жұмыс (мысалы, кеңею жұмысы) – оң таңбалы, ал жүйеге жүргізілген жұмыс (қысу жұмысы) – теріс таңбалы.

Термодинамиканың бірінші заңы жалпы сипатталуы төменгі теңдеумен беріледі

$$Q = \Delta U + A = \Delta U + p \cdot \Delta V + A^0, \quad (1.1)$$

мұндағы: Q – жүйеге келтірілген жылулық;

ΔU – ішкі энергияның өсімі;

$p \cdot \Delta V$ – кеңею жұмысы;

A^0 – химиялық реакцияның пайдалы жұмысы.

(1.1) теңдеудің дифференциалдық өрнегі

$$\partial Q = dU + \partial A = dU + p dV + \partial A^0,$$

егер $\partial A^0 = 0$ болса, онда

$$\partial Q = dU + p dV, \quad (1.2)$$

Мұнда δQ және δA^0 элементарлық жылулық және жұмыс шамасы толық дифференциалға тән қасиеті жоқ функция, бұлардың өзгеруі процесс өту жолына тәуелді. Ішкі энергия жүйе күйінің функциясы, ол жүйенің бір күйден екінші күйге өту жолына тәуелді емес.

pdV – сыртқы қысымға қарсы жұмыс, оның интегралды шамасын анықтау үшін параметрлер p, V -нің функционалдық байланыстылығын білу керек (p, V, T), байланыстылық теңдеуі күй теңдеуі болып табылады.

Идеалды газдар үшін төменде келтірілген күй теңдеуі орын алатыны белгілі

$$pV = nRT, \quad (1.3)$$

мұндағы p – қысым; V – көлем; n – мольдер саны; R – әмбебап газ тұрақтысы.

Белгілі бір параметр (p, V, T) тұрақты жағдайда, процесс өту ерекшеліктерінің сипатталуын қарастырайық.

Изохоралық процесс. Изохоралық процесс көлем тұрақты жағдайда өтеді, яғни $V = const$. Бұл жағдайда ұлғаю жұмысы $A_V = 0$, A_V – тұрақты көлемдік жағдай жұмысы.

Жүйеге келтірілген жылу түгелдей ішкі энергия өсуіне кетеді

$$dQ_V = C_V dT = dU, \\ \Delta U = U_2 - U_1 = \int_1^2 C_V dT = C_V (T_2 - T_1), \quad (1.4)$$

мұндағы $C_V = dU/dT$ – көлем тұрақты жағдайдағы жылу сыйымдылық.

Изобарлық ұлғаю – қысым тұрақты $p = const$ жағдайда өтетін процесс. Атқарылған жұмыс теңдеуі

$$A_p = \int_1^2 p dV = p(V_2 - V_1) = nR(T_2 - T_1). \quad (1.5)$$

(1.5) теңдеуінен көрінетіндей, әмбебап газ тұрақтысы бір моль идеалды газдың температура бір градусқа өскендегі изобаралық ұлғаю жұмысына тең.

Жүйеге келтірілген жылулықтың бір бөлігі жүйе ішкі энергиясының өсуіне әкеледі. Тұрақты қысымда жылулық әсерін төмендегі теңдеу көрсетеді

$$Q_p = \int_1^2 dU + \int_1^2 p dV = U_2 - U_1 + pV_2 - pV_1. \quad (1.6)$$

Бұл теңдеу төмендегідей өзгертіліп жазылуы мүмкін

$$Q_p = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1). \quad (1.7)$$

(1.7) теңдеуінен көрінетіндей, жүйеге келтірілген жылулық әлдебір функцияның $(U + pV)$ өсуіне әкеледі, бұл функцияны *энтальпия* деп атайды және H әрпімен белгілейді. Ішкі энергия тәрізді энтальпия жүйе күйінің функциясы, оның өзгеруі, жүйенің бастапқы және соңғы күйімен анықталады, жүйенің бір күйден екінші күйге өту жолына тәуелді емес.

Энтальпияның өзгеруі

$$\Delta H = H_2 - H_1. \quad (1.8)$$

Жүйенің жылусыйымдылығы қысым тұрақты болғанда, энтальпияның температура бойынша алынған туындысымен сипатталады

$$C_p = \frac{dH}{dT} = \frac{d(U + pV)}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{d(RT)}{dT}. \quad (1.9)$$

(1.9) теңдеуден $C_p = C_v + R$ шығады.

Изотермиялық процесс – температура тұрақты ($T = \text{const}$) жағдайында өтеді.

Изотерма теңдеуі

$$pV = \text{const}. \quad (1.10)$$

Бұл жағдайда $\Delta U = 0$ келтірілген жылулық жұмысқа айналады

$$A_T = \int_1^2 p dV = \int_1^2 \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (1.11)$$

Адиабаттық процесс – жүйе жылулықты қабылдамайды да, бермейді де ($dQ = 0$), алайда қоршаған ортамен жұмыспен байланысты. Жұмысты жүйе жүргізуі немесе жұмыс жүйеге жүргізілуі мүмкін.

Адиабаттық процесс теңдеуі

$$C_V dT + p dV = 0 \text{ немесе } C_V dT + (RT/V) dV = 0. \quad (1.12)$$

(1.12) теңдеуінің екі жағын да C_V және T -ға бөлейік.

$$\text{Сонда } \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V} \cdot \frac{dV}{V} = 0.$$

R орнына оның мәнін қоямыз $R = C_p - C_V$, сонда

$$\frac{dT}{T} + \left(\frac{C_p}{C_V} - 1\right) \cdot \frac{dV}{V} = 0.$$

$\frac{C_p}{C_V} = \gamma$ деп белгілейік те теңдеуді интегралдайық.

Нәтижесінде

$$\ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{const} \text{ немесе } TV^{\gamma-1} = \text{const}.$$

T мәнін P және V -мен ауыстыру арқылы айнымалы шамалар арасындағы байланысты көрсететін адиабат теңдеуін шығарамыз

$$pV^\gamma = \text{const}. \quad (1.13)$$

Бір моль идеалды газ үшін адиабаттық ұлғаю жұмысын $dA_{ad} = -dU$ төменгідей жазуға болады

$$A_{ad} = -\int_1^2 dU = -\int_1^2 C_V dT = -C_V (T_2 - T_1) = C_V (T_1 - T_2). \quad (1.14)$$

Жоғарыда келтірілген теңдеулер термодинамиканың бірінші заңының барлық қосындысын идеалды газ үшін интегралды түрде есептеуге мүмкіндік береді.

Термохимия. Химиялық реакцияны былайша сипаттауға болады. Бір заттар, реакция түзеуші бастапқы, ішкі энергиясы U_1 жойылады да жаңа заттар ішкі энергиясы U_2 пайда болады. Бұл процесте мынадай қатынас орын алуы мүмкін: $U_1 > U_2$ немесе $U_1 < U_2$. Мұндағы U_1 – бастапқы, реакция түзеуші заттардың ішкі энергиясының қосындысы; U_2 – реакция өніміндегі заттардың ішкі энергиясының қосындысы, температура бірдей жағдайда.

Бірінші жағдайда ($U_1 < U_2$) реакция өздігінен қызумен өтеді. Реакция өнімдерінің температурасы бастапқы заттардың температурасынан жоғары және температура жоғарылық шамасы ішкі энергиялық айырмасымен $\Delta U = U_2 - U_1$ анықталады. Мұндай реакциялар экзотермиялық болып аталады.

Ішкі энергиялар $U_1 > U_2$ қатынасты реакциялар өздігінен салқындаумен жүреді. Реакция өнімдерінің температурасы бастапқы заттар температурасына теңелуі үшін, сырттан жылулық келтіру керек. Мұндай реакциялар жылулық жұтылуымен өтеді. Жұтылу жылулығы $Q = U_2 - U_1$. Мұндай реакциялар эндотермиялық реакция болып аталады.

Химиялық реакция нәтижесінде бөлінген немесе жұтылған жылулық химиялық реакция *жылулық эффектісі* (Q) болып аталады.

Термохимия – химиялық реакциялардың жылулық эффектісін зерттеуші және оларды жүйелеу, жалпы заңдылықтарын тұжырымдаумен айналысатын химиялық термодинамиканың тарауы.

Термохимияда жылулық эффектілерінің таңбалары термодинамиканың бірінші заңындағы математикалық теңдеудегі таңбаларға қарама-қарсы. Термодинамикада жүйеден бөлінген, жүйеден жоғалтылған жылулық теріс таңбалы болып саналады. Термохимияда химиялық реакция нәтижесінде бөлінген жылулық, яғни жүйе энергиясының кему жылулығы, оң таңбалы болып қабылданады.

Тұрақты қысым және тұрақты көлем жағдайында реакцияның жылулық эффектісі. Егер реакция көлем тұрақты

жағдайында өтсе, онда ұлғаю жұмысы орын алмайды, яғни $A = 0$ термодинамиканың бірінші заңының өрнектелуі төмендегідей болады

$$Q_v = U_2 - U_1 = \Delta U . \quad (1.15)$$

Егер реакция қысым тұрақты жағдайында өтсе, ұлғаю жұмысы орын алады. Ұлғаю жұмысы теңдеуі

$$A = p(V_2 - V_1) . \quad (1.16)$$

Реакцияның жылулығы төменде келтірілген теңдеумен беріледі

$$Q_p = U_2 - U_1 + p(V_2 - V_1) ,$$

немесе

$$Q_p = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1) = \Delta H . \quad (1.17)$$

Реакцияның көлем тұрақты Q_v және қысым тұрақты жағдайындағы Q_p жылулық шамалары арасындағы қатынас

$$Q_p = Q_v + p\Delta V . \quad (1.18)$$

Мұндағы $\Delta V = V_2 - V_1$ газ күйіндегі реакцияға қатысушы заттар моль сандарының өзгеруіне байланысты $\Delta n = n_2 - n_1$. Сондықтан Менделеев-Клайперон теңдеуіне сәйкес

$$p \cdot \Delta V = \Delta n \cdot RT , \quad (1.19)$$

осыдан келіп

$$Q_p = Q_v + \Delta n RT , \quad (1.20)$$

шығады.

Немесе термодинамикалық теңдеулер таңбасында

$$\Delta H = \Delta U + \Delta n RT . \quad (1.21)$$

Сонымен, тұрақты қысым жағдайындағы жылулық эффектiсiнiң Q_p көлем тұрақты жағдайындағы жылулық эффектiсiнен Q_v айырмашылығы, реакция изобарлық газ

күйіндегі өнімдерінің моль санының өзгеруіне байланысты жұмыс шамасына ΔnRT тең. Тек қатты және сұйық күйдегі жүйелерде көлем өзгеруі аз шамалы, яғни $Q_p \approx Q_v$ болып келеді.

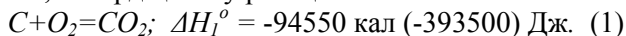
СИ жүйесінде жылулық өлшем бірлігі джоуль болып алынған. Бір калория 4,1840 Дж-ға тең.

Гесс заңы. Термохимияның негізі Гесс заңы болып табылады. Гесс заңы: *Жылу эффектісі жүйесінің бастапқы және соңғы күйімен анықталады, жүйенің бастапқы күйден соңғы күйге өту жолына (аралық күйлерге) тәуелді емес.*

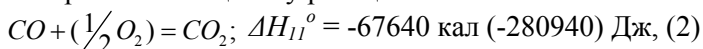
Гесс заңы термодинамиканың бірінші заңына толық сәйкес.

Гесс заңынан бірқатар маңызды салдар туындайды. Жылулық эффектісінің шамасы және таңбасын, оларды эксперимент арқылы анықтау мүмкін емес жағдайда, анықтау мүмкіндігін беретін бірнеше салдар туындайды.

Мысалы, көмірдің жану реакциясы



Көмір тотығының жану реакциясы



жүйені бірдей күйге келтіреді және әртүрлі жылулық эффектісімен өтеді. (1) тендеуден (2) алу нәтижесінде төменгі тендеу шығады

$$\frac{C + O_2 = CO_2,}{CO + (1/2 O_2) = CO_2} \cdot \frac{CO + (1/2 O_2) = CO_2}{C + O_2 = CO + (1/2 O_2) + \Delta H_{11}^0},$$

бұл тендеу $C + (1/2 O_2) = CO + \Delta H_{11}^0$ процесіне сәйкес.

Мұнда $\Delta H_1^0 - \Delta H_{11}^0 = -26410 \text{ кал } (-110460) \text{ Дж.}$

Жылулық эффектісінің температураға тәуелділігі (Кирхгофф теңдеуі). Заттардың атомнан құрылуының термодинамикалық энтальпиясы кестелерде температура 25°C (298 K) және қысымға $p = 1 \text{ атм} = 1,0332 \text{ кгс/см}^2 \approx 1 \text{ кгс/см}^2$ сәйкес беріледі. Мұндай шамалар стандартты шамалар болып аталып, абсолют температурасын көрсететін төменгі индекс, қысым 1

атм теңдігін көрсететін жоғарғы индексмен белгілінеді $\Delta H_{298}^o \left[p = 1 \text{ atm., } T = 298 \text{ K} (25^\circ \text{C}) \right]$.

Реакцияның әртүрлі температура жағдайында өтуінде оның жылулық эффектісін анықтау қажеттілігі жиі орын алады. Мұндай есептің шешуі термодинамиканың бірінші заңы ауқымында шешілуі мүмкін.

$dU/dT = C_V$ және $\Delta U = Q_V$ екені белгілі. Сондықтан

$$d(\Delta U)/dT = \Delta C_V = \sum n C_V \text{ болады.}$$

Бұған аналогиялы $dH/dT = C_P$, $dQ/dT = C_P$ және

$Q_P = \Delta H$ болғандықтан, $d(\Delta H)/dT = \Delta C_P = \sum n C_P$ туындайды.

Жылулық эффектісінің температураға тәуелділігі төмендегідей сипатталады

$$\Delta H_T = \Delta H_0 + \int_0^T \sum n C_P dT, \quad (1.22)$$

немесе

$$\Delta H_T = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \sum n C_P dT, \quad (1.23)$$

мұндағы ΔH_T ; ΔH_0 ; ΔH_{298} – реакцияның температура T , 0, 298 K градустағы мәніне сәйкес жылулық эффектісі. (1.22) және (1.23) теңдеулері Кирхгофф заңын көрсетеді.

Кирхгофф заңы: жылулық эффектісінің температура бойынша алынған туындысы реакцияға қатысқан заттардың жылу сыйымдылығының алгебралық қосындысына тең.

1.2. Термодинамика екінші заңы

Термодинамика бірінші заңы процестердің энергетикалық балансын бағалауға мүмкіндік береді. Алайда, бірінші заң белгілі жағдайда процестің нақтылы бағытта өту мүмкіндігін айқындай алмайды. Осындай іс жүзінде мәні жоғары сұрақтарға жауапты, термодинамиканың екінші заңы негізінде алуға болады.

Термодинамиканың екінші заңы, оның бірінші заңы тәрізді іс-әрекет тәжірибелерін жинақтау, қортындылау нәтижесінде шығарылған. Екінші заң мәні әртүрлі тұжырымдаумен беріледі, бірақ бұлардағы айтылатын ой түйіні – біреу. *Екінші заңның бір тұжырымдалуы: жылулық өз еркімен салқын (төмен қыздырылған) денеден жоғары қыздырылған денеге өте алмайды.*

Термодинамиканың бірінші заңы жүйе күйінің функциясы ішкі энергия түсінігімен байланысты. Термодинамика екінші заңының идеясы жүйе күйінің функциясы энтропия түсінігімен байланысты.

Қайтымды және қайтымсыз процестер. Термодинамикалық қайтымды процестерде жүйенің, жүйедегі және қоршаған ортадағы қандай да болмасын өзгерістер сақталмай, бастапқы күйіне келуі мүмкін болып саналады. Қайтымды процестер тепе-теңдік күйлерден тізбекті өту арқылы жүреді, сондықтан тепе-теңдік процесс болып аталуы мүмкін.

Термодинамикалық тепе-теңдік – жүйенің күйі, мұнда жүйе қоршаған ортамен энергия алмасуға қабілетті бола тұра, өзгеріссіз (термодинамикалық қатыныста), сыртқы жағдайлар өзгергенге дейін, шексіз ұзақ қала береді.

Қайтымды термодинамикалық процестер жайлы түсінік процестің идеалды үлгісіне негізделген. Алайда, бұл түсініктің теориялық зерттеулерде мәні зор. Жүйені жылулықты абсолютті оқшаулау жағдайындағы, қысым мен көлем шексіз баяу өзгеруі орын алғанда, газдың адиабаттық ұлғаюы немесе қысылуы қайтымды процестер мысалы бола алады.

Қайтымды процестер – реалдық процестердің шекті орын алуы.

Реалды жағдайда өздігінен өтетін процестердің көпшілігі қайтымсыз жүреді. Процесс жүруі аяқталған соң, жүйеде немесе қоршаған ортада ешқандай өзгеріс қалдырмай, жүйені бастапқы күйіне келтіру мүмкін емес.

Термодинамика екінші заңының математикалық сипатталуы. Мұнда жылулық машинасының үлгісі, Карно циклі қарастырылады.

$$\text{Жұмыс } A = Q_1 - Q_2, \quad (1.24)$$

Машинаның п.э.к. (үйкеліс, т.б. кететін ысырапты ескермегенде)

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (1.25)$$

сондай-ақ,
$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (1.26)$$

мұндағы Q_1 – температурасы T_1 жылу бергіштен келтірілген жылулық;

Q_2 – температурасы T_2 салқындатқышқа берілген жылулық.

(1.26) теңдеуінен мынадай тұжырымдар туындайды:

1) жылу бергіш пен салқындатқыш температуралары аралығында алшақтық неғұрлым жоғары болса, п.э.к. соғұрлым жоғары. $T_2 = 0$ болғанда, $\eta = 1$;

2) п.э.к. заттың тегіне байланысты емес;

3) қандай да болмасын тұйықталған циклден қайтымсыз процесті қоса қарағанда, п.э.к., Карно циклінің п.э.к. төмен болады.

$$\eta < \eta = (T_1 - T_2)/T_1, \quad (1.27)$$

Энтропия. (1.26) теңдеуін төмендегідей түрге келтіруге болады

$$1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad (1.28)$$

немесе $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$. Осыдан мынадай қатынас шығады $\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}$.

Осындай қатынас қандай да болмасын айналмалы қайтымды циклде орын алады. Әрбір шексіз аз цикл үшін төменгі теңдеу ақиқат

$$\frac{dQ_1'}{T_1'} - \frac{dQ_2'}{T_2'} = 0; \quad \frac{dQ_1''}{T_1''} - \frac{dQ_2''}{T_2''} = 0 \dots, \quad (1.29)$$

Жоғарыда келтірілген теңдеулерді қосу арқылы төмендегі теңдеуді шығарамыз

$$\frac{dQ_1'}{T_1'} - \frac{dQ_2'}{T_2'} + \frac{dQ_1''}{T_1''} - \frac{dQ_2''}{T_2''} + \dots = 0, \text{ яғни } \sum \frac{dQ}{T} = 0, \quad (1.30)$$

Келтірілген қосынды шегінде тұйықталған айналмалы интеграл болады.

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0. \quad (1.31)$$

Математикалық түсінікте, егер айналмалы тұйықталған пішін интегралы нөлге тең болса, онда сол айнымалы шамалардың (біздің жағдайда P, V, T) функциясы бар, ол функцияның толық дифференциалы интеграл астындағы шамаға тең.

Термодинамикада бұл функцияны *энтропия* деп атайды да S әрпімен белгілейді.

Жоғарыда келтірілген анықтауларға сәйкес, мынадай теңдеулер шығарылады

$$\frac{dQ}{T} = dS, \quad (1.32)$$

$$\oint \frac{dQ}{T} = \oint dS = 0. \quad (1.33)$$

Қайтымсыз процестерде, оларда $\eta' < \eta$ екенін ескеріп,

$$\frac{\partial Q}{T} < dS, \quad (1.34)$$

болады.

Бұл жағдайда термодинамиканың екінші заңының толық математикалық өрнегі интегралды түрде төмендегідей болып беріледі

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0. \quad (1.35)$$

$$\text{Дифференциалды түрінде } dQ \leq T \cdot dS. \quad (1.36)$$

Энтропия дифференциалы толық дифференциал болғандықтан, оның жүйенің кез келген күйден екінші бір күйге

ауысуы, сәйкес энтропия шамаларының айырымына тең және бір күйден екінші күйге өту жолына тәуелді емес. Демек,

$$\int_1^2 dS = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = S_2 - S_1 = \Delta S. \quad (1.37)$$

Энтропияны есептеу. Жүйенің бір күйден екінші күйге ауысуында энтропия өзгеруін есептеу, энтропия дифференциалдық теңдеуін интегралдаумен жүргізіледі.

$$\int_{T_1}^{T_2} dS = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T}, \quad (1.38)$$

$$dQ = CdT \quad \text{болғандықтан} \quad \int_{T_1}^{T_2} dS = \int_{T_1}^{T_2} \frac{CdT}{T}, \quad \text{сонда} \quad S_{T_2} - S_{T_1} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{CdT}{T}$$

немесе $C = \text{const}$ болғанда

$$\Delta S = C \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (1.39)$$

Интегралдауда температуралар аралығын толық қамтыған $C = f(T)$ функцияны білу қажет.

Изобаралық және изохоралық процестерде теңдеуге C_p , екінші жағдайда C_v мәндері кіреді.

Изотермиялық процесте ($T = \text{const}$) теңдеу $dQ = dU + dA$ оның құрамына $dQ = TdS$, $d\Delta U = 0$, $dA = pdV$ кіреді. Осыдан $TdS = pdV$ теңдеуі анықталады. Егер $p = RT/V$ екенін ескерсек, онда $TdS = (RT/V)dV$, яғни $dS = R(\frac{dV}{V})$ интегралдау нәтижесінде

$$\Delta S = R \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (1.40)$$

екенін табамыз. $P_1V_1 = P_2V_2$ екенін ескеріп,

$$\Delta S = R \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (1.41)$$

шығарылады.

Энтропия жүйе күйінің бірімділі функциясы. Сондықтан жүйе бастапқы және соңғы күйлерінің параметрлі белгі болса, энтропияны есептеп шығара аламыз.

Егер P_1, T_1 – жүйе бастапқы күйі параметрлері;

P_2, T_2 – жүйе соңғы күйі параметрлері деп алсақ, онда энтропияны есептеу жолы былайша болады.

Энтропия өзгеруі жүйенің бір күйден екінші күйге өту жолына тәуелсіз болғандықтан, энтропияны есептеуді: алдымен $P_1 = \text{const}$, температура T_1 -ден T_2 -ге дейін өзгеру жағдайында есептеп, содан соң $T_2 = \text{const}$ жағдайында қысым P_1 -ден P_2 -ге дейін өзгеруінде есептейміз. Айтылған екі жағдайдағы энтропия өзгерістерінің қосындысы жүйе энтропиясының өзгеруіне тең

$$\Delta S = C_V \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (1.42)$$

Термодинамикалық кестелерде энтропия шамасының мәні стандарттық жағдай үшін, яғни температура $298K$ және 1 атм қысым, $(1,0332 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2})$ беріледі.

$$S^\circ = \int_0^{298} C_P \frac{dT}{T},$$

(барлық фазалық құбылыстар ескеріледі).

Қандай болмасын температураға тән энтропия шамасы төмендегі формуламен есептеледі

$$S_T = S_{298}^0 + \int_{298}^T \frac{\Delta C_P}{T} \cdot dT. \quad (1.43)$$

Фазалық құбылыс энтропиясы фазалық құбылыс жылулығының фазалық құбылыс өту температурасына қатынасына тең (Q_κ/T) . Бұл шаманы есептеуде ескеру керек.

1.3. Сипаттамалық функциялар және термодинамикалық потенциалдар

Сипаттамалы функциялар – жүйенің күй функциялары немесе олардың туындысы. Бұлар арқылы жүйенің термодинамикалық қасиеттері айқын түрде көрсетіле алады. Бұл функцияларға: изохорлы-изотермиялық потенциал, изобарлы-

изотермиялық потенциал, ішкі энергия, энтальпия, энтропия жатады.

Термодинамикалық потенциал – белгілі жұп термодинамикалық параметрлері тұрақты жағдайда өтуінде, қайтымды процесте функцияның кемуі пайдалы жұмысқа A тең функциялар.

Термодинамиканың бірінші және екінші заңдарының (1, 2) жалпы өрнектелуінен (1.35) төменде келтірілген теңдеу шығады:

$$TdS = dU + pdV + dA.$$

Энтропия мен көлем тұрақты жағдайда $dA = -dU_{S,V}$ шығады. Интегралды түрінде

$$A = -(U_2 - U_1)_{S,V} = -\Delta U_{S,V}. \quad (1.44)$$

Демек, энтропия және көлем тұрақты жағдайда ішкі энергияның өзгеруі реакцияның жылу эффектісіне тең.

Энтропия мен қысым тұрақты жағдайда

$$\begin{aligned} dA &= -(dU + pdV)_{S,P} = -d(U + pV)_{S,P} = -dH_{S,P} \text{ немесе} \\ A &= -(H_2 - H_1)_{S,P} = -\Delta H_{S,P}. \end{aligned} \quad (1.45)$$

Энтропия мен қысым тұрақты болған жағдайда энтальпия өзгеруі химиялық реакцияның жылу эффектісіне тең.

Егер $T = \text{const}, V = \text{const}$, температура және көлем тұрақты болса, онда

$$dA = -(dU - TdS)_{T,V} = -d(U - TS)_{T,V}.$$

Функция $U - TS = F$ – изохорлы-изотермиялық немесе изохорлық потенциал деп аталады.

$$-d(U - TS) = -dF_{T,V} \text{ боп белгіленеді.}$$

Жоғарыда келтірілген жұмыстың дифференциалдық теңдеуі жұмыс теңдеуін төмендегідей боп көрсетуге келтіріледі

$$A = -(F_2 - F_1)_{T,V} = -\Delta F_{T,V}. \quad (1.46)$$

Температура $T = \text{const}$, қысым $p = \text{const}$ тұрақты болғанда, жұмыс дифференциалы $dA = -(dU + pdV - TdS)_{T,p} = -d(U + pV - TS)_{T,p} = -dG_{T,p}$.

Функция $U + pV - TS = G$ болып белгіленеді, бұл функция *изобарлы-изотермиялық потенциал* (немесе *изобарлық потенциал*) болып аталады. Жұмыс теңдеуі

$$A = -(G_2 - G_1)_{T,P} = -\Delta G_{T,P}. \quad (1.47)$$

Пайдалы жұмыс шамасы нөлге тең болғанда, термодинамикалық потенциалдар тепе-теңдік шарты ретінде қолданылуы мүмкін. Егер жұмыс нөлге тең болмаса, онда термодинамикалық потенциалдар процесс өлшемі (процесс қарқындылығын көрсетушісі) болуы мүмкін. Жүйе жүргізген жұмыс жоғары шамада болуы мүмкін. Мұндай жұмысты максималды жұмыс деп атайды

$$A_{\max} = -\Delta F.$$

F функцияның толық дифференциалы

$$dF = dU - TdS - SdT, \quad (1.48)$$

$$dU - TdS = -pdV, \quad (1.49)$$

екенін ескерсек, онда қайтымды тек ұлғаю жұмысы ($\partial A = pdV$) орын алатын процестер үшін F функцияның көлем мен температура тұрақты емес жағдайда толық дифференциалы

$$dF = -SdT - pdV. \quad (1.50)$$

Бұл функцияның жеке туындылары:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial V}\right)_T = -p; \quad \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_V = -S. \quad (1.51)$$

Әрдайым теріс таңбалы. Бұл таңбалылық көлем ұлғаю және температура жоғарылауында изохоралық потенциал кемуде болатынын көрсетеді.

Қысым (p) мен температура өзгерісті (тұрақты емес) болғанда, G функцияның толық дифференциалы

$$dG = dU - TdS - SdT + pdV + Vdp,$$

бірақ

$$dU - TdS + pdV = 0, \quad (1.52)$$

болатындықтан қайтымды процестер үшін (қысыммен температура тұрақты емес)

$$dG = -SdT + Vdp, \quad (1.53)$$

келтірілген дифференциалдық функцияның жеке туындылары

$$\left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)_T = V; \quad \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_p = -S. \quad (1.54)$$

(2.54) теңдеуден көрінетіндей, *изобаралық потенциал қысым өскенде өседі, ал температура өскенде кемиді.*

Максималды жұмыс теңдеуі. Жүйе күйі функциялары F және G қасиеттері процестегі максималды жұмыс пен жылу аралығындағы байланысты анықтауға мүмкіндік береді. $\Delta F = \Delta U - T\Delta S$ теңдеудегі энтропия орнына (1.51) теңдеудегі энтропия мәнін қойсақ, төменде келтірілген теңдеу шығады

$$\Delta F = \Delta U + T \left[\frac{\partial(\Delta F)}{\partial T} \right]_V, \quad (1.55)$$

бірақ $\Delta U = Q_V$ және $A_{\max} = -\Delta F$ болғандықтан, (2.55) теңдеуі өзгертіліп, төменде берілгендей болады

$$A_{\max} = -Q_V + T \left(\frac{\partial A_{\max}}{\partial T} \right)_V. \quad (1.56)$$

Тұрақты қысым жағдайында өтетін процестер үшін сәйкес қатынастар былайша беріледі

$$\Delta G = \Delta H + T \left[\frac{\partial(\Delta G)}{\partial T} \right]_p, \quad (1.57)$$

және

$$A_{\max} = -Q_p + T \left[\partial A'_{\max} / \partial T \right]_p. \quad (1.58)$$

(1.55) және (1.58) теңдеулер Гиббс-Гельмгольц теңдеулері болып аталады.

Процестердің өту бағыты және тепе-теңдіктің термодинамикалық шарттары. Термодинамиканың екінші заңы бойынша жүйеде өз еркімен өтетін процестерде энтропия өседі.

Сондықтан жүйенің өз құбылысында тұрақты тепе-теңдік күйге талпынуы энтропияның максималды шамасымен сипатталады. Бұл жағдайда

$$dS = 0, \quad (1.59)$$

болатыны математикадан белгілі.

Өз еркімен өтетін процестер термодинамикалық потенциалдың кему бағытында өрбиді. Сондықтан тепе-теңдік шартына басқаша тұжырымдау беруге болады. Температура мен көлем тұрақты болған жағдайда, процестердің өту және тепе-теңдігінің жалпы шарты

$$dF \leq 0, \quad (1.60)$$

болуы мұнда теңдік белгісі жүйенің тепе-теңдік күйіне, ал теңсіздік белгісі процестің өрбуіне сәйкес.

Температура және қысым тұрақты болғанда процестің өрбуі және тепе-теңдігінің жалпы шарты

$$dG \leq 0, \quad (1.61)$$

болуында мұнда да теңдік белгісі жүйенің тепе-теңдік күйіне, ал теңсіздік белгісі – процестің өрбуіне сәйкес.

Температура және көлем тұрақты жүйеде өз еркімен процестер тек F функциясының кемуі орын алуында ғана өтеді және процестер тепе-теңдік бағытында өрбиді де, тепе-теңдік F функциясының минималды шамасында орын алады, яғни $dF = 0$ және $d^2F > 0$ жағдайында орын алады.

Температура және қысым тұрақты ($t = const, p = const$) жағдайында G функциясының шамасы кемуде болғанда ғана жүйеде өз еркімен өтетін процестер орын алады. Процестер тепе-теңдік бағытында өрбіп, G функциясының шамасы минималды болғанда тепе-теңдікке келеді, яғни $dG = 0$ және $d^2G > 0$ орын алады.

Химиялық потенциал. Жүйелер бір (дара) фазалы (гомогенді) болуы немесе әртүрлі фазалы агрегаттық күйде өзара (межелік) шекаралық беттермен анықталған, яғни *гетерогенді* болып келуі орын алады.

Фаза дегеніміз – жүйенің гомогенді біртекті физикалық қасиеттері де, химиялық құрамы да бірдей бөлектерінің жиынтығы. Фазалар қарапайым тек бір заттан тұратын немесе бірнеше заттардан тұратын күрделі болып келеді. Көп фазалы жүйелерде көлем, қысым, температура өзгеруімен қатар фаза

құрамының өзгеруі, олардың өзара әсерлесу нәтижесінде орын алады. Бұл жағдайда тепе-теңдік жағдайды (шартын) сипаттау үшін, химиялық потенциал түсінігін қолдану ыңғайлы. Химиялық потенциал түсінігін термодинамикаға Гиббс енгізген.

Математикалық көзқараста химиялық потенциал – жүйенің бір ғана құраушы элемент молі бойынша алынған сипаттамалық функциялар туындысы. Жүйедегі қалған құрамы элементтер шамасы және тәуелсіз параметрлер шамасы тұрақты болып алынады. Химиялық потенциал математикалық өрнегі

$$\begin{aligned}\mu &= \left(\frac{\partial U}{\partial n_1} \right)_{V, S, n_2, n_3, \dots} \\ \mu &= \left(\frac{\partial H}{\partial n_1} \right)_{P, S, n_2, n_3, \dots} \\ \mu &= \left(\frac{\partial F}{\partial n_1} \right)_{V, T, n_2, n_3, \dots} \\ \mu &= \left(\frac{\partial G}{\partial n_1} \right)_{P, T, n_2, n_3, \dots}\end{aligned} \quad (1.62)$$

Химиялық потенциал изобаралық потенциалдың өсіндісіне тең. Изобаралық потенциал өсіндісі, берілген құрамының бір молі ертіндіге ауысуына байланысты орын алған және қалған құрамалар моль сандары, сонымен қатар температура, қысым тұрақтылығын сақтайды.

Химиялық потенциал шамасының негізгі термодинамикалық параметрлермен байланыстылығы төмендегі теңдеулерден көрінеді.

$$G = H - TS = U - TS + pV, \text{ осыдан}$$

$$dG = dU - TdS - SdT + pdV + Vdp,$$

енді $dU + pdV - TdS = 0$, екенін ескерсек, $dG = Vdp - SdT$ және $T = \text{const}$ жағдайында $dG = Vdp$.

$$\text{Идеалды газдар үшін } V = \frac{RT}{p} \text{ және } G = RT \int \frac{dP}{p} = G^\circ + RT \ln p.$$

Бір моль идеалды газға қатынасты жоғарыда келтірілген теңдеуді төменде келтірілгендей етіп жазуға болады

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln p_i, \quad (1.63)$$

мұндағы μ_i° – берілген бір құрамдықтың үлестік қысымы бірге тең болғандағы, химиялық потенциалы.

Идеал газдардан елеулі айырмашылықты нақты газдар үшін (1.63) теңдеуінің дәлділігі жеткіліксіз, сондықтан нақтылы газ қасиеттерінің идеал газдан алшақтығын ескеретін түзету еңгізу қажет.

Қазіргі уақытта осы мақсатта ұшқыштық болып аталатын жаңа түсінік еңгізілген.

Ұшқыштық – затты сипаттау шамалары, оларды идеал газдар үшін теңдеулерде қысым орнына қойғанда, нақты газдар үшін теңдеудің сырт нұсқасын өзгертпей, қолдануға болатын етеді.

Айтылған анықтамаға сәйкес химиялық потенциал теңдеуі төмендегідей болады

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RTf_i, \quad (1.64)$$

мұндағы f_i – заттың ұшқыштығы.

Идеал газ қасиетінен кең ауқымды алшақтау орын алғанда ұшқыштықты ең қарапайым анықтау

$$f_i = \frac{P_i^2}{P_{iuo}},$$

мұндағы P_i – берілген жағдайдағы газдың нақтылы қысымы;

P_{iuo} – берілген P және T шамасында идеал газға тән қысым.

$$P_{iuo} = \frac{RT}{V}.$$

1.4. Химиялық реакцияның қайтымдығы және тепе-теңдігі

Химиялық реакцияның тепе-теңдігі дегеніміз, егер екі немесе одан да көп заттар әсерлесіп, реакция өнімі жаңа заттар қалыптасса, онда реакция өнімдері сол жағдайда өзара әсерлесіп, бастапқы заттарды қалыптастырады. Бұл жағдайда, жүйеде қарама-қарсы, әрқайсысы өздеріне тән жылдамдықпен,

реакциялар өтеді. Бір реакцияның жылдамдығы қарама-қарсы реакция жылдамдығынан жоғары болса, реакция барасында жүйе құрамының өзгеруі орын алады. Қарама-қарсы реакциялар жылдамдығы тең болғанда, жүйенің орташа құрамы өзгеріссіз болады. Мұндай күй жүйенің тепе-теңдігі болып аталады.

Гомогенді ортада химиялық тепе-теңдік. Газдар және ертінділерде өндірістік нақтылы жағдайда тұрақты қысым жағдайында өтетін процестер жиі орын алады. Бұл жағдайда, қысым мен температура тұрақтылығын сақтағанда, тепе-теңдік шарты изобаралық потенциалдың G минимумымен сипатталады.

Кез келген біртекті денеде изобаралық потенциал G шамасы қысым мен температураға тәуелді және дене массасына пропорционал.

Қоспаларда немесе химиялық жүйелерде изобаралық потенциал құрамға тәуелді, яғни жүйе құрамындағы әр заттың моль санына $(n_1, n_2, \dots)$ тәуелді. Сондықтан G функцияның толық дифференциалы

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)dt + \left(\frac{\partial G}{\partial p}\right)dp + \left(\frac{\partial G}{\partial n_1}\right)dn_1 + \left(\frac{\partial G}{\partial n_2}\right)dn_2 \dots \quad (1.65)$$

Дифференциалдау әр айнымалы шама бойынша алынады және қалған шамалар өз тұрақтылығын сақтайды.

Температура және қысым ($p = \text{const}, T = \text{const}$) тұрақты болғанда тепе-теңдіктің орын алуы

$$dG = \sum \left(\frac{\partial G_i}{\partial n_i}\right)dn_i = 0, \quad (1.66)$$

жағдайда болады.

Егер $\left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right) = \mu_i$ екенін ескерсек, онда (1.66) теңдеуі төмендегідей өрнектеледі

$$\sum \mu_i dn_i = 0, \quad (1.67)$$

μ_i – құрамдықтардың химиялық потенциалы.

(1.67) теңдеуі қысым мен температура тұрақты болған жағдайдағы жүйенің тепе-теңдік шарты.

Келтірілген теңдеудің газдардың қайтымды химиялық реакциясының тепе-теңдігін анықтауға қолданылуын көрейік.

Химиялық реакция $\nu_1 A + \nu_2 B + \dots = \nu_1' L + \nu_2' M + \dots$,

мұндағы ν_i – химиялық теңдеудің стехиометриялық коэффициенттері;

$A, B, \dots$ – реакция түзеуші бастапқы заттар;

$L, M, \dots$ – реакция өнімі заттар.

Келтірілген теңдеу жағдайында заттардың айналуы стехиометриялық қатыспен байланысты. Сондықтан $\sum dn_i = \sum \nu_i$. Демек, (1.67) теңдеуін былайша беруге болады

$$\sum \nu_i \mu_i = 0. \quad (1.68)$$

Идеал газдарда $\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln P_i$. Сондықтан тепе-теңдік теңдеуі төмендегідей жазылады

$$\sum \nu_i (\mu_i^\circ + RT \ln P_i) = 0, \quad (1.69)$$

$$\sum \nu_i \ln P_i = -\sum \nu_i \mu_i^\circ / (RT). \quad (1.70)$$

Теңдеуден көрінетіндей, оның сол жақтағы мүшесі температура функциясы болып табылады. Бұл функцияны $\ln k_p$ түрінде қабылдап, (1.70) теңдеуді былайша жазуға болады

$$\ln \Pi(P_i^{\nu_i}) = -\sum \nu_i \mu_i^\circ / RT = \ln k_p, \quad (1.71)$$

немесе

$$\Pi(P_i^{\nu_i}) = P_L^{\nu_1} P_M^{\nu_2} \dots / P_A^{\nu_1} P_B^{\nu_2} \dots = K_p. \quad (1.72)$$

Бұл теңдеу *әрекеттесуші массалар заңы* деп аталады. Бұл заң: химиялық реакциялардың тепе-теңдігі орын алады, қашан дәреже көрсеткіштері сәйкес стехиометриялық коэффициенттерге тең реакция өнімі, заттардың үлесті қысымдарының бастама заттар үлесті қысымына қатынасы K_p шамасына тең болғанда. K_p шамасы *тепе-теңдік коэффициенті (константасы)* болып аталады.

Реалды газдар үшін әрекеттегі массалар теңдеуі былайша шығарылады

$$f_L^{v_1} f_M^{v_2} / (f_A^{v_1} f_B^{v_2}) = K_f = f(T) .$$

Қысым шамасы бірыңғай орташа немесе төмен болғанда, ұшқыштық шамасы реалды газдарға тән үлесті қысымнан аз шамалы ауытқулы болады. Бұл жағдайларда ұшқыштық шамасының орнына үлестік қысымды қолдануға болады және мұнда елеулі қателік орын алмайды.

Сутектің жану реакциясында $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ тепе-теңдік константасы төмендегідей

$$K_p = P^2_{\text{H}_2\text{O}} / P^2_{\text{H}_2} P_{\text{O}_2} .$$

Тепе-теңдік константасы үлесті қысым.

$K_p = \prod_i (P_i^{v_i})$, сондай-ақ көлемдік концентрациялар $K_C = \prod_i (C_i^{v_i})$; үлесті моль сандары $K_N = \prod_i (N_i^{v_i})$; арқылы беріледі. Бұлардың аралық байланыстығын идеал газдар қоспасы теңдеулерінен анықтауға болады. Идеал газдар қоспасы үшін $P_i = C_i RT$ және $P_i = N_i p$. Нәтижесінде келесі қатынас шығарылады

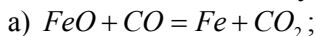
$$K_p = K_C (RT)^{\sum v} = K_N P^{\sum v} ,$$

мұндағы $\sum v$ – реакцияға газ күйінде қатысушы заттар стехиометриялық коэффициентінің алгебралық қосындысына тең.

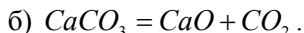
Тепе-теңдік константасы теңдеуінің алымында реакция өніміне қатынасты заттар шамасы (химиялық теңдеудің оң жағы), ал бөлімінде бастапқы заттар шамасын жазамыз. Мұнда жылулық эффектсінің термодинамикалық жүйеге тән таңбаланылуы қолданылады, яғни экзотермиялық реакциялар үшін минус, эндотермиялық реакциялар үшін плюс таңбалары. Жоғарыда келтірілген заңдылық кейбір эмпирикалық формулаларға қатынасты емес.

Гетерогендік жүйе тепе-теңдігі. Бірнеше әртүрлі фазалардан тұратын жүйе гетерогенді жүйлер болып аталады. Әртүрлі фазадағы заттардың әсерлесуінде реакция тепе-теңдікке ұмтылады. Мұндай тепе-теңдік гетерогендік химиялық тепе-

теңдік болып аталады. Мысалы, темір тотығының (толық емес тотық) көміртек тотығымен тотықсыздану және кальций карбонатының диссоциялану реакцияларын алайық



Кальций карбонатының диссоциялану реакциясы



Әрекеттесуші массалар заңына сәйкес жоғарыда келтірілген реакциялар тепе-теңдігі

$$K_a = \frac{a_{Fe} \cdot f_{CO_2}}{a_{FeO} \cdot f_{CO}}; \quad K_b = \frac{a_{CaO} \cdot f_{CO_2}}{a_{CaCO_3}},$$

мұндағы f_i – газ компоненттердің ұшқыштығы;

a_i – конденсирленген заттардың белсенділігі.

Газ компоненттердің қысымы жоғары болмаған жағдайда ұшқыштық үлестік қысымға тең $f_i = p_i$. Конденсирленген күйлі заттардың құрамы мен қасиеті тұрақты болған жағдайда, оларды стандарты жағдайлы деп есептеп, белсенділігі бірге тең $a_i = 1$ деп алуға болады. Айтылғандарға сәйкес темір толық емес тотығының тотықсыздану реакциясының тепе-теңдік константасы $K_a = P_{CO_2} / P_{CO}$, ал кальций карбонатының диссоциялануы үшін $K_b = P_{CO_2}$ болады.

Кальций карбонатының диссоциялану реакциясының тепе-теңдікте болуы үшін, көміртек қостотығының үлесті қысымы белгілі бір шамада болуы шарт (нақтылы температураға сәйкесті). Бұл үлесті қысым орын алған жағдайда, әктас пен кальций карбонаты тұрақты заттар ретінде жүйеде бір мезгілде орын алады.

Көміртек қостотығының тепе-теңдік үлесті қысымы карбонат диссоциялануының серпімділігі боп аталады.

Егер көміртек қостотығының қысымы серпімділік қысымынан артық болса әктас тұрақты бола алмайды. Ол көміртек тотығымен әсерлесіп, карбонат қалыптастырады.

Егер көміртек қостотығының үлесті қысымы диссоциялану серпімділігінен төмен болса, онда кальций карбидінің сақталу

шарты орындалмайды. Карбонат диссоцияланып, әктасқа айналады.

Темірдің толық емес тотығының тотықсыздану реакциясының тепе-теңдігі, көміртек қостотығы мен көміртек тотығының үлестік қысымының қатынасы белгілі шамада болғанда орын алады. Тотықсыздану реакциясы көлемдік өзгеріссіз жүреді, сондықтан тепе-теңдік жалпы қысымға тәуелді емес.

Тотықсыздану реакциясы оттегі бөлінуімен жүргенде де айтылған тәуелділік сақталады. Мұнда диссоциялану серпімділігі шамасы оттегінің тепе-теңдіктегі үлесті қысымымен анықталады.

Химиялық реакцияның изобаралық потенциалы. Жүйенің изобаралық потенциалы бастапқы күйден екінші күйге ауысқанда өзгереді. Қайтымды реакцияларда жүйенің соңғы күйі тепе-теңдік жағдайда болады. Тепе-теңдік жағдай изобаралық потенциалдың минимумына тең.

Изобаралық потенциалдың өзгеруі жүйенің бастапқы күйінің тепе-теңдік күйінен қаншама алшақтығына тәуелді.

Изобаралық потенциалдың өзгеруін мына теңдеулерге сүйеніп анықтауға болады

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln P_i, \quad (1.73)$$

$$\sum \nu_i (\mu_i^0 + RT \ln P_i) = 0, \quad (1.74)$$

$$\ln \Pi(P_i^{\nu_i}) = - \sum \nu_i \mu_i^0 / RT = \ln K_p. \quad (1.75)$$

Бұл теңдеулерден

$$\Delta G = \sum \nu_i \mu_i^0 + RT \sum \nu_i \ln P_i, \quad (1.76)$$

мұндағы P_i – заттың тепе-теңсіздік үлесті қысымы.

Алайда, $\sum \nu_i \mu_i^0 = -RT \ln K_p$, сондықтан

$$\Delta G = -RT \ln K_p + RT \sum \nu_i \ln P_i. \quad (1.77)$$

ΔG шамасы – реакцияның изобаралық потенциалы деп аталады. (1.77) теңдеуі химиялық реакцияның изотермасы болып аталады.

Егер бастамалы тепе-теңдіксіз жағдайда реакцияға қатысушы барлық заттардың үлесті қысымы бірге тең болса ($P_i = 1$), онда

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p. \quad (1.78)$$

ΔG° – стандартты изобарлық потенциал деп аталады және элементтердің химиялық ынтықтылық өлшемі қолданылады.

Тепе-теңдік константасының температураға тәуелділігі. Гибс-Гельмгольц теңдеуінен (1.57)

$$\Delta G = \Delta H + T \left(\partial \Delta G / \partial T \right)_p, \text{ және реакция изотермасынан (1.77).}$$

$\Delta G = -RT \ln K_p$ тепе-теңдік константасының температураға байланыстылық теңдеуі шығады. Изотермалық теңдеуді дифференциалдау нәтижесінде төменде келтірілген теңдеу шығады

$$\left(\partial \Delta G / \partial T \right)_p = -RT \ln K_p - RT \left(\partial \ln K_p / \partial T \right)_p. \quad (1.79)$$

Бұл теңдеу дифференциал түріндегі Вантгофф изобарасы деп аталады.

Бұл шаманы және изотермалық теңдеуге ΔG шамасын Гибс-Гельмгольц теңдеуіне қою арқылы $\left(\partial \ln K_p / \partial T \right)_p = \Delta H / (RT^2)$ теңдеуі және көлем тұрақты жағдайда өтетін процестер үшін сәйкес теңдеу

$$\left(\partial \ln K_p / \partial T \right)_v = \Delta U / (RT^2)_v \text{ шығарылады} \quad (1.80)$$

(1.79), (1.80) теңдеулерінен тепе-теңдік константасының өзгеру сипаттамасы реакция жылу эффектісінің таңбасымен бізмәнді анықталатын көрінеді. Жылу эффектісінің таңбасы оң болса, онда тепе-теңдік константасы логарифмінің температура бойынша алынған туындысы нөлден жоғары, яғни функция $\ln K_p$, температура жоғарыланғанда өседі, жылу эффектісі теріс таңбалы болса, онда температура жоғарылағанда тепе-теңдік константасының логарифмі төмендейді.

Тотықтардың диссоциялануы. Металдардың тотығу және тотықсыздану реакциялары металлургия мен пісіруде аса маңызды орын алады. Металлургиялық және пісіру процесінде тотықтардың құбылыстарында элементтің оттекке ынтықтығының

мәні зор. Элементтің оттекке ынтығын сол элемент тотығын ыдыратуға қажетті жұмыс шамасымен көрсетуге болады. Металдардың тотығу реакциясы қайтымды, сондықтан тотықтың диссоциялануы орын алады.

Металл тотықсыздануының жалпы сипатталуы төмендегі реакциямен беріледі



Бұл реакция тепе-теңдік константасы

$$K_p = \frac{a_{Me}^2 \cdot p_{O_2}}{a_{MeO}^2} = f(T), \quad (1.82)$$

мұндағы a_{Me}, a_{MeO} – металл мен тотық белсенділігі.

Тотық пен конденсирленген күйде (қатты және сұйық) болатын температура интервалында таза тотықтың диссоциялануында, таза түрінде немесе өзара қаныққан түріндегі күйін стандартты деп алуға болады. Бұл жағдайда $a_{Me} = a_{MeO} = 1$.

Сонда теңдеу былайша жазылады $K_p = P_{O_2} = f(T)$. (1.83)

Тепе-теңдік орын алатын оттектің үлестік қысымы P_{O_2} тотықтың *диссоциялану серпімділігі* болып аталады, яғни (1.83) теңдеуден көрінетіндей, тепе-теңдік константасы оттектің үлесті қысымына тең.

Диссоциялану серпімділігінің тепе-теңдік константасына дәл болуы, оны есептеуге тепе-теңдік константасын есептеудегі термодинамикалық әдістемелерді қолдануға болатынын көрсетеді.

Диссоциялану серпімділігінің температураға тәуелді өзгеруі төмендегі теңдеуден көрінеді

$$d \ln P_{O_2} / dT = \Delta H / (RT^2). \quad (1.84)$$

Тотықтар диссоциялануының басым көпшілігі оң таңбалы термодинамикалық жылу эффектісімен өтеді. Сондықтан жалпы ереже: *металдар тотығының диссоциялану серпімділігі температура жоғарыланған сайын өседі.*

(1.84) теңдеуді диссоциялану серпімділігін есептеу үшін қолдануға болады

$$\ln P_{O_2} = \int \frac{\Delta H}{RT^2} dT + J.$$

Есептеу дәлділігі жылу эффектісінің берілу дәлдігіне тәуелді. Есептеу әдетте төмендегі теңдеу негізінде жүргізіледі

$$\ln P_{O_2} = -(\Delta H - T\Delta S)/RT. \quad (1.85)$$

Есептеуде ΔH пен ΔS -тің температураға тәуелділігі және аллотропиялық құбылыстар әсері де ескерілуі қажет.

Аллотропиялық өзгерістердің жылу эффектісі әсері тотықтардың диссоцияланудағы жылу эффектісіне қарағанда елеулі төмен және ΔH пен ΔS шамасын аз өзгертеді. Сондықтан сұйық-қатты температуралық аралықта тотық пен металл үшін изобаралық потенциал (максималды жұмыс) және диссоциялану серпілімдігін ΔH пен ΔS -тің стандартты шамалары мен есептеледі ΔH°_{298} және ΔS°_{298} .

$$\ln P_{O_2} = \frac{-\Delta G}{4.575T} = -\frac{\Delta H^\circ_{298}}{4.575T} + \frac{\Delta S^\circ_{298}}{4.575}. \quad (1.86)$$

Тотықтардың беріктігі термодинамикада химиялық ұқсастығымен, яғни максималды жұмыс шамасымен анықталады

$$\Delta G = \Delta H - ST.$$

Тотық неғұрлым берік болса, соғұрлым оны ыдырату үшін жоғары шамалы жұмыс қажет.

Әртүрлі элементтердің оттекке текті жақындығын бағалауға изобаралық потенциал мен тепе-теңдік константасы арасындағы байланысты пайдалануға болады

$$\Delta G = -RT \ln K_p.$$

Металл мен тотық таза түрінде конденсирленген күйінде (немесе өзара қаныққан түрінде) диссоциялануда тепе-теңдік константасы оттегінің үлестік қысымымен өрнектеледі

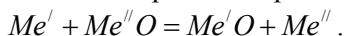
$$\Delta G = -RT \ln P_{O_2}, \text{ осыдан } \ln P_{O_2} = -\Delta G / (RT) \text{ шығады.}$$

Белгілі температурада тотықтардың диссоциялану серпімділігінің айырмашылығы ΔG шамасының айырмашылығына

өлшемдес, сондықтан тотықтар беріктігін салыстырмалы сипаттайды.

Тотықтың беріктігі ΔG шамасы қаншама жоғары болса және диссоциалану серпімділігі қаншама төмен болса, соғұрлым жоғары.

Оттекке ынтықтығы (жақындығы) басым Me' металдың оттегіне жақындығы ынтықтығы төмен екінші Me'' металл тотығымен әсерлесуінде төменгі реакция орын алады.



Осы негізде пісіруде және бірқатар металлургия процестерінде тотықсыздандыру процесі жүреді. Мұнда Me' Me'' металлға қатынасты тотықсыздандырушы элемент болып табылады.

Тотықтардың диссоциялануы ертіндіде өткенде тотықтың да, металдың да концентрациясы өзгеруі орын алуы мүмкін. Бұл жағдайда $2MeO = 2Me + O_2$ реакциясының тепе-теңдік константасы

$$K_p = \frac{a_{Me}^2 \cdot P_{O_2}}{a_{MeO}^2} = f(T). \quad (1.87)$$

Бұл теңдеуде тек K_p тұрақты сан, ол осы тотықтың таза түріндегі диссоциялану серпімділігіне тең

$$K_p = P^{\circ}_{O_2} = f(T).$$

Металл мен тотықтың белсенділік шамасы айнымалы болуы мүмкін және диссоциялану серпімділігіне әсер етеді. Диссоциялану серпімділігі мен металл және тотықтың белсенділігі арасындағы тәуелділік (1.87) теңдеуінен анықталады

$$P_{O_2} = K_p \frac{a_{MeO}^2}{a_{Me}^2}. \quad (1.88)$$

K_p орнына оның мәнін $K_p = P^{\circ}_{O_2}$ (таза тотықтың диссоциялану серпімділігі) қояйық. Сонда

$$P_{O_2} = P^{\circ}_{O_2} \left(\frac{a_{MeO}^2}{a_{Me}^2} \right). \quad (1.89)$$

Егер ерітінді тотықпен қаныққан болса $a_{MeO} = 1$, онда (1.89) теңдеу былайша жазылады

$$P_{O_2} = P^{\circ}_{O_2} \left(\frac{1}{a^2_{Me}} \right), \quad (1.90)$$

бұл теңдеуден көрінетіндей, диссоциялану серпімділігі металдың белсенділігі (немесе концентрациясы) неғұрлым төмен болса, соғұрлым жоғары. Егер $a_{Me} = 1$ болса, онда

$$P_{O_2} = P^{\circ}_{O_2} \cdot a^2_{MeO}. \quad (1.91)$$

Демек, тотық белсенділігі (немесе концентрациясы) төмен деген сайын, оның диссоциялану серпімділігі төмендейді.

Химиялық реакциялар кинетикасы. Химиялық кинетика – химиялық реакциялар жылдамдығы және олардың әртүрлі факторларға тәуелділігін зерттеуге бағытталған физикалық химия тарауы.

Химиялық реакция жылдамдығы реакция түзеуші заттар концентрациясының уақыт бірлігінде өзгеруімен өлшенеді. Реакция жылдамдығы реакцияға түсуші заттар немесе реакция нәтижесінде қалыптасқан заттар концентрациясының өзгеруімен өлшенуі мүмкін.

$$\bar{V} = \pm (C_2 - C_1) / (t_2 - t_1) = \pm \Delta c \cdot \Delta t.$$

Нақтылы уақытта жылдамдықтың нағыз дәл мәні келтірілген теңдеудің шегіне тең

$$V = \pm \lim_{t \rightarrow 0} \Delta C / \Delta t = \pm dc/dt, \quad (1.92)$$

мұндағы $(C_2 - C_1) = \Delta C$ – белгілі уақыт өлшемінде $\Delta t = (t_2 - t_1)$ концентрация өзгеруі.

Егер C бастапқы заттар концентрациясы болса, $dC/dt < 0$ болуы мүмкін. Егер c реакция өнімінің концентрациясы болса, $dC/dt > 0$ болуы мүмкін. Алайда, реакция жылдамдығы оң таңбалы шама.

Реакция жылдамдығының реакция түзейтін заттар концентрациясына тәуелділігі. Химиялық реакция өтуі үшін міндетті шарт атом, молекулалардың соқтығысуы, яғни олардың

электрондар алмасуына, атомдардың жаңаша топтасуға қажетті арақашықтыққа жақындатылуы керек.

Барлық реакцияға қатысушы заттар газ күйінде дейік. Молекула аралық әсерлесу орын алуы үшін, олар өзара соқтығысуы керек, яғни бір молекуланың атомдары мен электрондары екінші молекуланың белсендірілген атомдары мен электрондары электр өрісінің әсерінде болатын жағдайға келтірілуі керек. Бұл жағдайда электрондар алмасуы орын алып, атомдар жаңаша топтастырылып, жаңа молекулалар құрылуы орын алады. Бірақ, электронды бөлшектердің барлық соқтығысулары түгелдей молекулалар аралық әсерлесуге әкелмейді, тек соқтығысулардың бір шамалы бөлігінде ғана айтылған нәтижелілік орын алады.

Химиялық әсерлесудің мүмкіндігі мен ықтималдылығы молекулалардың соқтығысу күшіне және соқтығысушы молекулалардың күйіне тәуелді.

Көптеген реакциялар кинетикасына тұрақтылығы төмен құрылымдардың пайда болуының, айтайық, белсендірілген молекула, ион, атом, бос радикалдар және атомдардың рөлі зор, бұлардың реакция түзеу ықтималдығы жоғары, сондықтан реакция өтуіне ықтималдылығы да жоғары.

Сыртқы жағдайдың тұрақтылығы сақталғанда, жалпы соқтығысудың барлық түрлерін жинақтап қарағанда эффекті әсерлесуші соқтығысудың шамасы тұрақты деп есептеуге болады. Сондықтан соқтығысу неғұрлым көп болса, солғұрлым әсерлесу эффектісі жоғары, реакция жылдамдығы жоғары болуы керек.

Соқтығысу саны концентрация өскен сайын өсуі керек, сонымен бірге реакция жылдамдығы да өсуі керек.

Кинетикасы қарапайым гомогенді жүйеде температура тұрақты болғанда $T = const$, тәжірибеде анықталғандай, реакцияның жылдамдығы реакция түзеуші заттардың көбейтіндісіне тура пропорционал. Концентрацияның әр құрамы, ең қарапайым жағдайда, сәйкес заттың реакция теңдеуі формуласындағы коэффициентіне тең дәреже көрсеткішімен катысады.

Математикалық өрнектелуде, мысалы, $2NO + H_2 = N_2O + H_2O$ қолдануда реакция жылдамдығының өрнектелуі

$$V = KC_{NO}^2 \cdot C_{H_2} \quad (1.93)$$

Бұл ереже *эсерлесуші массалар заңы* боп аталады (тепелділік константасы заңындағыдай).

Эсерлесуші массалар заңы реакция жылдамдығының реакция түзуші заттардың концентрациясына тәуелділігін көрсетеді.

Пропорционалдық коэффициенті K әр реакция үшін температура тұрақты жағдайда, тұрақты шама – *реакция жылдамдығының константасы* боп аталады. Оның сандық мәні реакция түзуші заттардың әрқайсысы концентрациясының бірге тең болғандағы реакция жылдамдығына тең.

Химиялық реакцияның кинетикалық топтастырылуы. Белсендіру энергиясы. Химиялық реакцияны оның молекулярлығы нышаны немесе реакцияның ретті нышаны арқылы бөліп қарауға болады. Реакцияның молекулярлығы химиялық құбылыста бір мезгілде эсерлесуші молекулалар санымен анықталады. Бұл нышан бойынша реакцияларды бір молекулалы, екі молекулярлы, үш молекулярлы, т.с.с. деп бөліп қарастыруға болады. Реакция молекулярлығын химиялық реакция теңдеуі түрі арқылы анықтауға болады.

Реакция ретін реакция жылдамдығының реакция түзуші заттар концентрациясына тәуелділігін көрсететін теңдеу түрі арқылы жорамалдауға болады. Реакция реті аталған теңдеудегі концентрациялар дәреже көрсеткіштерінің қосындысына тең. Ертеректе реакция реті мен реакция молекулярлығы бірдей деген пікір болған. Іс жүзінде мұндай бірдейлік орын алмайды, себебі реакцияның бастамалық жағдайдан соңғы жағдайға өту жолында реакция механизмінде күрделіліктер (белсенді бөлшектер қатынасуы, тізбекті реакция механизмі, т.б.) орын алуы мүмкін. Сондықтан реакция реті реакция жылдамдығын өлшеу жолымен анықталады.

Реакция жылдамдығына температура әсері. Белсендіру энергиясы.

Температура жоғарылағанда химиялық реакцияның жылдамдығы өседі. Реакция жылдамдығына температураға әсерін тұңғыш анықтаған, сипаттаған және оған физикалық түсініктеме берген Аррениус (1889). Заттардың концентрациясы температураға тәуелді емес болғандықтан, реакция

жылдамдығының температураға тәуелділігі кинетикалық константа K шамасымен көрсетілетіні айқын.

$$K_c = K_1 / K_2, \quad (1.94)$$

мұндағы K_c – процестің тепе-теңдік константасы;

K_1, K_2 – кері және тура реакциялардың жылдамдық константасы.

Келтірілген қатынасты ескеріп, реакция изохорасы төменде келтірілген көрсетуге болады.

$$\frac{d \ln K_c}{dT} = \frac{d \ln K_1 / K_2}{dT} = \frac{d \ln K_1}{dT} - \frac{d \ln K_2}{dT} = \frac{\Delta U}{RT^2},$$

мұндағы K_c – процестің тепе-теңдік константасы;

K_1, K_2 – тура және кері бағытты реакциялар жылдамдық константасы.

Реакцияның жылу эффектісін екі энергетикалық шамалар E_1 және E_2 сәйкес, тура және кері реакцияларға тән айырымы ретінде қарастырсақ, онда жоғарыда келтірілген теңдеуді жіктеп көрсетуге болады.

$$\frac{d \ln K_1}{dT} = \frac{E_1}{RT^2}; \quad \frac{d \ln K_2}{dT} = \frac{E_2}{RT^2}. \quad (1.95)$$

E шамасы тұрақты деп алып, (1.95) теңдеуді интегралдау төменде келтірілгендей нәтиже береді.

$$\ln K_1 = -\frac{E_1}{RT} + B_1; \quad \ln K_2 = -\frac{E_2}{RT} + B_2, \quad (1.96)$$

мұндағы B_1 және B_2 – интегралдау тұрақтысы.

Келтірілген теңдеулер тура және кері бағытты реакциялардың кинетикалық константасы бұрыштық коэффициентпен түзу сызықты тәуелділікті екенін көрсетеді.

$$\lg \varphi_1 = -E_1 / R; \quad \lg \varphi_2 = -E_2 / R,$$

мұндағы E_1, E_2 – белсендіру энергиясы.

Белсендіру энергиясына сәйкес энергияның арнайы түрі жоқ. Белсендіру энергиясы дегеніміз – элементарлық бөлшектердің соқтығысу кезінде химиялық әсерлесу орын алуына қажетті орташа энергия шамасынан артық энергия. Бұл орташа энергия шамасынан артық энергия әртүрлі болуы

ықтимал: молекулалардың түзу сызықты, айналмалы, теңселмелі қозғалыс энергиясы; электрондардың көтеріңкі энергиясы.

Гетерогенді процестер кинетикасы. Пісіру процесінде жүйеде төрт фаза орын алады: газ, қож, балқытылған металл және қатты металл. Газ фазаның белсенді элементі қож фаза бетіне ауысады. Нәтижесінде, аталған элементтің қож фаза бетіндегі концентрациясы тұрақты болып ұсталады. Араластыру орын алмаған жағдайда газ фаза көлеміндегі диффузия Фика заңына сәйкес жылдамдықпен өтеді, яғни

$$V_D = DF\Delta C / \delta, \quad (1.97)$$

мұндағы D – диффузия коэффициенті, $\text{см}^2/\text{с}$; F – диффузиялық ағымның көлденең қимасының ауданы, см^2 ; δ – диффузиялық қабат қалыңдығы; $\Delta C - \delta$ қалыңдығында концентрация айырмашылығы.

Турбулентті ағымды газ қарқынды араласуда болады да, оның құрамы көлемдікте бірқалыптылыққа келеді. Тек фазаралық шекара бетте қалыңдығы δ қабатта араласу орын алмайды да, мұнда диффузия Фика заңына сәйкес өтеді. Бұл қабаттың қалыңдығы газ тұтқырлығына пропорционал және оның жылдамдығына кері пропорционал.

Сыртқы ортадан газ фазасының компоненті флюс қабаты арқылы диффузияланады және диффузия жылдамдығы

$$V_D = DF[(C_0 - C)/\delta]. \quad (1.98)$$

Осындай жылдамдықпен флюс-металл шекарасына келтіріледі де, металл-флюс шекарасында металл қорытпа элементтерімен реакция түзейді, реакция жылдамдығы

$$V_p = KFC. \quad (1.99)$$

C_0 және δ флюс қабаты қалыңдығы тұрақты болған жағдайда флюс-металл шекарасында концентрация C (1.98) диффузия жылдамдығын және химиялық реакция (1.99) жылдамдығын да анықтайды. Тұрақталған процесте $V_p = V_D$

шартымен анықталады немесе $KC = D(C_0 - C)/\delta$ осыдан теңдеу

$$C = \frac{C_0}{1 + K\delta/D} \text{ шығарылады.}$$

Бұл жағдайда процесс жылдамдығы төмендегі теңдеумен өрнектеледі

$$V = V_P = V_D = \frac{KC_0}{1 + K\delta/D} = \frac{1}{(1/KC_0) + \delta/DC_0}, \quad (1.100)$$

$$\text{немесе } V = \frac{1}{\frac{1}{V_{P\max}} + \frac{1}{V_{D\max}}};$$

мұндағы $V_{P\max} = KC_0$ – реакция түзеуші заттың максималды концентрациясында, C_0 тән химиялық әсерлесуі жылдамдығы; $V_{D\max} = DC_0/\delta$ – мүмкіндікті максималды концентрация градиентіне $(C_0 - 0)/\delta$ тән диффузия жылдамдығы.

Келтірілген теңдеулерден көрінетіндей, гетерогенді процесс жылдамдығы диффузия жылдамдығы мен химиялық әсерлесу жылдамдығының жинақты әсерімен анықталады.

Барлық жағдайда процесс жылдамдығына баяу өтетін буын әсері басым.

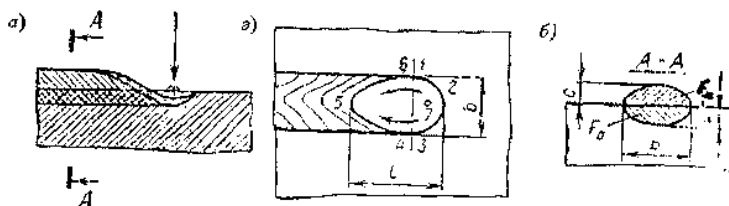
Шекті жағдайда, егер $D/\delta \gg K$ болса, онда шамасы $\delta/(DC_0) \rightarrow 0$ -да процесс жылдамдығына химиялық әсер жылдамдығы ықпал етеді. Егер $K \gg D/\delta$ болса, процесс жылдамдығы диффузиямен лимиттенеді. Процесс диффузиялық аумақта өтеді. Соңғы жағдайда араластыру диффузияға қарсылықты кемітеді де процесс үдетіледі.

2. ПІСІРУ ВАННАСЫНДА МЕТАЛДЫҢ КРИСТАЛДАНУЫ ЖӘНЕ ЖІК МЕТАЛЫ ҚАЛЫПТАСУЫ

2.1. Пісіру ваннасы және жік металы қалыптасуы

Жылукөзінің әсерімен негізгі пісірілуші метал шағын аумақта балқытылады, яғни сұйық күйге көшеді. Изотермиялық $T = T_{\text{бл.}}$ бетпен, мұндағы $T_{\text{бл.}}$ металдың балку температурасы, шектелген металл балқиды да, балқытылған металл-ванна қалыптасады, мұны пісіру ваннасы деп атайды.

Балқытып пісіруде, әдетте, пісіру негізгі металмен бірге балқытылған электрод сым немесе арнайы қосымша метал қосылады. Бұларды балқытылған қосымша метал дейді.



2.1-сурет. Пісіру ваннасы және жік металы

Балқыған қосымша металда қоршаған ортамен әсерлесу нәтижесінде белгілі өзгерістер болады.

Пісіру ваннасында (2.1 а, ә-сурет) ваннаның алдыңғы шекті шебінен үнемі қосылып тұратын негізгі металл мен балқытылған қосымша металл араласуда болады. Пісіру жылукөзінің (2.1 ә-сурет, орталығы 7 нүкте деп көрсетілген) пісіру бағытында жылжуы нәтижесінде, пісіру ваннасында осы бағытта жылжуда болады. Жылукөзінің соңында біршама қашықтықта температура төмендеуі ($T < T_{\text{бл.}}$) орын алып балқыған металл кристалдану процесі өтеді, металл қатты күйге көшеді. Ванна ені тереңдігінің ең жоғары шамасы (ваннаның бас жағымен соңғы жағының аралық қимасы) ваннаға негізгі жылу орталығынан біршама кейін келеді. Пісіру ваннасының оның бас жағы 1-2-3 және соңғы жағы 4-5-6 (2 ә-сурет) деп қарастырады. Газ ағынының, ал электрдоғалы пісіруде электрлік күштер

әсерімен, жылу көзінің нақ астындағы балқыған металл үрленіп ығыстырылады да балқыған металда жергілікті ойықтану орын алады, мұны кратер – пісіру шөгісі дейді. Бұл жағдайда балқыған металл ваннаның жоғары температуралы бас жағынан соңғы, температура төмендеу жағына қарай қозғалады.

Кейбір жағдайларда ваннаға қож қосылуы орын алады. Қождың бір шамалы бөлігі ваннада қалқу, бату жағдайында болып, металмен қоса ваннаның соңғы жағына қозғалып, осы уақытта үнемі металмен әсерлесуде болады. 2.1 ә - суретте металдың (қожбен қоса) қозғалыс сипаты нұсқағыштармен көрсетілді.

Ванна толық қатайған соң, жік металы және үстіңгі бетте білікше қалыптасады. Жік металы пісіруде жік салу ретіне сәйкес бір немесе бірнеше қабатты болып келуі мүмкін. Үстіңгі бет білікшесі балқытылып қаптастырылған қабат болып аталады (2.1 б - сурет). Балқытылып кристалданған металдың көлденең қимасын шартты түрде екі ауданға бөліп қарайды: балқытып қаптастырылған металл ауданы; негізгі металдың толық пісірілген ауданы (негізгі металл балқу қалыңдығы ауданы). Негізгі металл мен балқытылып қаптастырылған металл тығыздығы бірдей деп алайық. Жік металы қабаттарының тығыздығы тең болмауы да ықтимал. Бірақ, жалпы жік металы көлемі шамалы, көлденең қима аудандары да кіші болатындықтан, есептеуде елеулі қателік орын алмайды. Толық пісірілген негізгі металл көлденең қимасының ауданын F_0 деп, балқытып қаптастырылған металл көлденең қимасының ауданын F_K деп алайық. Тығыздық тең болғанда, аталған қабаттардың жік металында үлесті шамасы көлденең қима аудандарының жалпы жік көлденең қимасы ауданына қатынасымен анықталады. Айтылғандарға сәйкес, негізгі металдың жік металында үлесті шамасы γ төменде берілген формуламен есептеледі

$$\gamma = F_0 / (F_0 + F_K)$$

Сонда балқытып қаптастырылған металл үлесі

$$(1 - \gamma) = F_K / (F_0 + F_K).$$

Негізгі металл толық балқытылған аумағы және балқытып қаптастырылған металдың (білікше) тұлғалық сипаттамалары да маңызды.

Толық балқытылған негізгі металл тұлғасы балқытылу тұлғалық коэффициентімен $\psi_{\text{бл.}} = b/h$ пен сипатталады немесе бұған кері шамамен, яғни h/b – салыстырмалы балку тереңдігі коэффициенті арқылы, сондай-ақ балқыту толықтылығы коэффициентімен $\mu_{\text{бл.}} = F_o/bh$ сипатталады. Мұндағы b және h – сәйкес балқыту ені және тереңдігі.

Балқытып қаптастырылған, яғни үстіңгі білікше тұлғасы – коэффициенті $\psi_{\text{бл.}} = b/c$ және білікше толықтығы $\mu_{\text{бл.}} = hF_k/(bc)$ коэффициентімен сипатталады, мұндағы c – білікшенің максималды биіктігі, немесе жік нығайту шамасы деп аталады.

Жоғарыда ванна мен пісіру жігінің тұлғалық ерекшеліктеріне тоқталдық. Ванны толық сипаттау үшін ванна ұзындығының, оның ішінде ванна соңғы жағының ұзындығының мәні елеулі. Бұл мөлшердің жылукөзінің қуатына байланысты екені түсінікті.

Пісіру ваннасының, ванна металы қатайған соң, жіктің барлық негізгі мөлшерін дәлме-дәл есептеу әдістемелері жоқ. Бірақ, жуықтатылған есептеулер, есептеу сұлбалары «Пісіру процесінің теориясы I. Физикалық негіздері» арнайы оқу құралында қаралды.

Жартылай шексіз денеде шоғырланған жылукөзімен қыздыруда жылу келтіру орнының соңғы жағында пісіру ваннасы ұзындығын L' (пісіру ваннасы ұзындығының L негізгі бөлігі) (2.3) теңдеуімен есептеуге болады. Мұндағы $R = L$ деп алсақ, сонда

$$L' = q/(2\pi\lambda T_{\text{бл.}}). \quad (2.3)$$

Нақтылы металға қатынасты λ және $T_{\text{бл.}}$ тұрақты шамалар. Сондықтан $L' = K'q$, мұндағы K' – тұрақты коэффициент.

Электрдоғалы пісіруде жылу қуаты пісіру тогы күші мен доға кернеуінің көбейтіндісіне пропорционал.

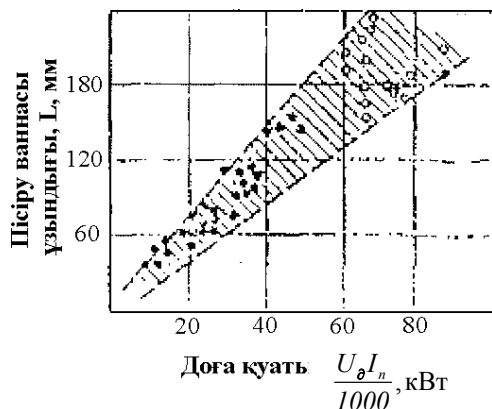
Бұл жағдайда

$$L' = K(I_n \cdot U_{\phi} / 1000), \quad (2.4)$$

мұндағы K – коэффициент.

$$L = f(I_n \cdot U_{\phi} / 1000) \quad \text{тәуелділігін} \quad \text{Н.Н. Рыкалин,}$$

К.В. Любавскийлер эксперименталды зерттеген (2.2-сурет).



2.2-сурет. Пісіру ваннасы ұзындығы L , мм мен доға қуаты, кВт арасындағы байланыстылық

Суреттегі штрихталған аумақ эксперименттік нүктелердің шашыраңқылануы. Көміртекті болаттарды электрдоғалы қолдан пісіруде $1,7 < K < 2,3$ мм/кВА, флюс қабаты астында автоматты пісіруде $2,8 < K < 3,6$ мм/кВа.

Пісірілген аумақ ені (2.5) теңдеуіне сәйкес $b = 2r$ десек, онда мол массалы денеде нүктелі жылукөзінде жік енінің жуықталған мәнін анықтау теңдеуі

$$b = 2\sqrt{2q(\pi \epsilon c \lambda \nu_n T_{\phi l})} = 0,968\sqrt{q/(c \gamma_n T_{\phi l})}. \quad (2.5)$$

Ванна ұзындығының L ванна еніне b қатынасы ванна тұлғалық коэффициенті $\varphi = L/b$ (2.3) және (2.6) теңдіктерінен анықталады

$$\varphi = \frac{1}{4\lambda} \sqrt{\varepsilon \gamma / (\pi v_n T_{\text{бл}})} \cdot \sqrt{q \cdot v_n} = A \cdot \sqrt{q \cdot v_n}, \quad (2.6)$$

мұндағы A – нақтылы металды пісіруге тән тұрақты коэффициент. Жартылай шексіз денеде, нүктелі жылукөзінде балқу тереңділігі $h = b/2$. Сонда $b = 2h$. Осыдан $L = \varphi b = 2\varphi h$ болатындықтан шығарылады.

$$h = q / (4\pi\lambda T_{\text{бл}} \varphi), \quad (2.7)$$

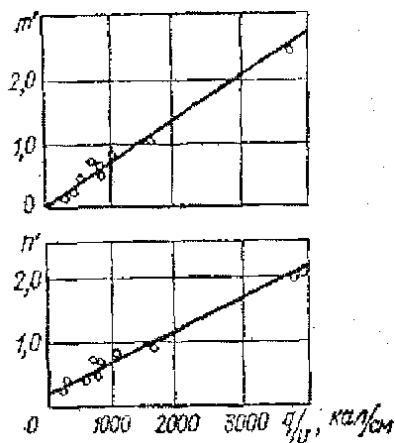
яғни металдың балқытылу тереңдігі жылу қуатына пропорционал.

Электрдоғалы пісіруде доға кернеуі аз шамалы шекте өзгертетінін ескеріп, нүктелі жылукөзінің жартылай шексіз денеде әсерінде металдың балқу тереңдігі (балқыған қалыңдық) пісіру тогы күшіне пропорционал деп жуықтатылып алуға болады, $h = B \cdot I_n$.

Көміртекті және төменлегірленген болаттарды пісіруде әдетте коэффициент B шамасы $(1/80 \div 1/100)$ мм/А аралығында болып келеді.

Шоғырланған жылукөзінде оған жақын аумақты, мысалы $T = T_{\text{бл}}$ аумақта, қолданылатын есептеу сұлбалары елеулі ауытқулар беруі мүмкін, әсересе балқу жылулығы жоғары металдар (алюминий, т.б.) үшін. Есептеу дәлдігін арттыру үшін арнайы түзету коэффициенттері n' және m' қолданылады. Бұл коэффициенттер есептелген балқу енін b , экспериментті анықталған мәнімен b ($n' = b/b'$), сәйкес пісіру ваннасының соңғы жағының есептелген ұзындығының L_1 (2.1 ә - сурет, 4 немесе 6-нүктеден 5-ке дейін) экспериментті анықталған мәнімен L' ($m' = L_1/L'$) салыстыру арқылы шығарылған.

Коэффициенттер n' , m' түзету коэффициенттері болып аталады. Аталған коэффициенттердің 1 м жік ұзындығына тән жылу қуатына q/v байланыстылығы 2.3-суретте келтірілді, мұндағы v пісіру жылдамдығы см/сағ, q/v , кал/см.



2.3-сурет. n' және m' коэффициенттерінің q/v , кал/см-ге байланыстылығы

2.3-суреттен көрінетіндей, жік ұзындық бірлігіне келтірілген q/v энергия шамасы орташа мәнді болғанда, түзету коэффициенттерінің мәні елеулі әсерлі емес. Сондықтан, n' , m' коэффициенттерін қолданбай-ақ, балкытылған аумақтың есептелген жуықты мөлшерін пайдалануға болады.

Аталған коэффициенттердің сандық мәні болаттар үшін $m' = 0,0007 q/v$; $n' = (0,00049 q/v + 0,2)$. Алюминий үшін түзету коэффициенттерінің шамасы жоғары: $m' = (0,0023 q/v + 0,6)$ және $n' = (0,00205 q/v + 0,8)$.

Негізгі металдың балкытылған (толық пісірілген) ауданын есептеу былайша негізделеді. Ауданы F_0 аумақты балку температурасына $T_{\text{бл}}$ дейін қыздыру үшін қарышталатын жылу шамасы $F_0 v_n \gamma_{\text{мбл}}$ тең, мұндағы $F_0 v_n \gamma$ – уақыт бірлігінде балкытылған негізгі металл массасы; h – металдың балку жылуын қоса алғандағы үлесті энтальпиясы, кал/г; (Дж/кг). Пісіруде жылу қоршаған металға үздіксіз таралуда болатындықтан, жоғарыда көрсетілген жылу шамасы бұйымға келтірілген жылу q шамасынан төмен және есептеуде $\eta_{\text{бл}}$ арқылы толықтырылады

$$\eta_{\text{бл.}} = F_o v_n \gamma h_{m_{\text{бл.}}} / q, \quad (2.8)$$

$\eta_{\text{бл.}}$ – балқытудың термиялық п.э.к. болып аталады. Сонда

$$F_o = [q / (v_n \gamma h_{m_{\text{бл.}}})] \eta_{\text{бл.}} = [q / (v_n h_{v_{\text{бл.}}})] \eta_{\text{бл.}}, \quad (2.9)$$

мұндағы $h_{v_{\text{бл.}}} = \gamma h_{m_{\text{бл.}}}$ – металдың балку жылуын қоса алғанда, балқытылған көлем өлшем бірлігіне тән үлесті энтальпия. Төменкөміртекті болат үшін $h_{v_{\text{бл.}}} = 2500 \text{ кал/см}^3$ немесе 10455 МДж/м^3 .

Балқыту термиялық п.э.к. $\eta_{\text{бл.}}$ есептеуде өлшемсіз критерий $\varepsilon_3 = q \cdot v_n / a^2 h_{v_{\text{бл.}}}$ енгізілген, аталған өлшемсіз критерий қолданып, $\eta_{\text{бл.}}$ шамасын балқыту тереңдігіне h/b қатынасты Н.Н. Рыкалин есептеулері негізінде құралған монограммалар бар. Әдетте, орташа ережелі электрдоғалы пісіруде $\eta_{\text{бл.}} = 0,25 \div 0,40$, яғни $25 \div 40 \%$. Газжалынымен балқытып пісіруде $\eta_{\text{бл.}} = (2 \div 8)\%$, бұл газбен пісіруде жылу шоғырлануының төмен болуынан.

Балқытып қаптастырылған металл көлденең қимасының ауданы, уақыт бірлігінде балқытылған металл шамасымен анықталады

$$m_{\kappa} = \gamma \cdot v_n \cdot F_{\kappa}. \quad (2.10)$$

m_{κ} шамасы пісіруде негізгі металл және қосымша металл сипаттамасына, пісіру тәсілі мен ережесіне байланысты. Балқымалы электродпен электрдоғалы және электрқожды пісіруде m_{κ} шамасын анықтауда айқындылық жоғары. Аталған пісіру тәсілдерінде m_{κ} балқытып қаптастыру коэффициенті $a_{\kappa} (A \cdot \text{сағ})$ арқылы анықталады. Басым көпшілік жағдайда, балқытып қаптастыру коэффициенті a_{κ} эксперимент анықталады, ол I A ток күшімен 1 сағ балқытып қаптастырылған металл массасы. Сонда

$$m_{\kappa} = I_n \cdot a_{\kappa} / 3600, \quad (2.11)$$

мұндағы 3600 секундты сағатқа аудару, экспериментте уақыт секунд бірлігінде өлшенетіндіктен. (2.10) және (2.11) теңдеулерінен F_{κ} шамасы анықталады.

$$F_k = I_n \cdot a_k / (3600 \gamma v_n). \quad (2.12)$$

Пісірудің қосымша металл пісіру аумағына қолдан келтірілетін тәсілдерінде, қосымша металл балқытылуы жылу көзіне тікелей байланысты емес, қосымша металдың максималды балқу шамасы жылукөзі қуатына тәуелді болғанымен. Бұл жағдайларда да балқытудың секундтік (сағаттық) өнімділігі экспериментті анықталады.

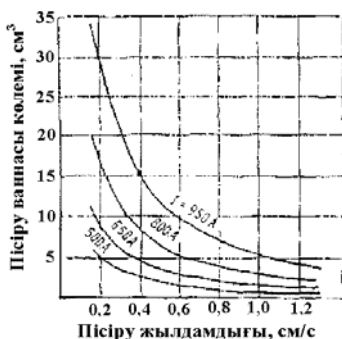
Алюминий-магний қорытпаларын, қосымша металл диаметрін $3 < d_c < 5$ мм аралығында алып, аргондоғалы пісіруде пісіру тогының шамасын 140 А-ден 350 А-ге өсіргенде, балқытып қаптастыру коэффициенті 0,6-дан 2 г/(А·сағ)-қа өсіріледі. Көміртекті болатты ацетилен-оттек жалынымен пісіруде жалын қуатының өлшем бірлігіне (C_2H_2 дм /сағ) келетін балқытып қаптастырылған металл 0,001-ден 0,002г/дм³·сағ аралығында болып келеді.

Ваннадағы металл көлемі мен металдың балқытылған күйде болу уақыты пісіру ваннасының маңызды көрсеткіштері қатарына жатады. Жылдам қозғалысты жылукөзінің температуралық теңдеуін балқу температурасына $T = T_{бл}$ келтіріп, интегралдау арқылы В.И. Дятлов төмендегі теңдеуді шығарды

$$V_B = q^2 / (8 \pi \lambda c \gamma v_n T_{бл}^2), \quad (2.13)$$

мұндағы V_B – балқытылған негізгі металл көлемі, см.

Флюскабатының астында автоматты пісіруде пісіру ваннасы көлемінің пісіру тогы шамасымен пісіру жылдамдығына байланысты өзгеруі 2.4-суретте келтірілді.



2.4-сурет. Пісіру ваннасы көлемінің пісіру тогы күшіне және пісіру жылдамдығына байланыстылығы

Ванна металы көлемінің сұйық күйде болу уақыт ұзақтығы біркелкі емес. Негізгі металмен ұласқан шекаралықта балқыған металл тез кристалданады, лезде деп айтарлықтай жылдамдықпен. Бұл аумақ ені аз, жұқа кристалданған қабат, оны қорытпалану аумағы дейді. Себебі, балқыған металдың негізгі қатты күйдегі металмен бастапқы ұласып қатаюы, қорытпалануы болғандықтан. Қорытпалану шекарасынан ванна орталығына қарай бағытта металдың сұйық күйде болу уақыты ұлғаюда болады. Ваннаның орталық аумағында металдың балқыған күйде болу мерзімі максималды. Шартты алғанда, бұл аумақ ваннаның алдыңғы шегінде (2.1 - сурет, 2-нүкте), ал ванна қатаюы ванна соңына (2.1 - сурет, 5-нүкте) келеді.

Балқытылған металдың ваннада сұйық күйде болуының максималды уақытын төмендегі теңдеумен есептеуге болады

$$t_{\max} = L/v_n \cdot \quad (2.14)$$

Ванна металының қоршаған ортамен өзара әсерлесуін бағалауға ваннаның сұйық күйде болуы мерзімінің (уақытының) орташа ұзақтығы қолданылады. Балқыған күйде болу орташа уақыты пісіру ваннасында

$$\overline{t_b} = V_0 / (v_n F_0), \quad (2.15)$$

мұндағы $\overline{t_b}$ – ваннаның балқыған күйде болу орташа уақыты; V_0 – балқытылған негізгі металл көлемі.

Жылдам қозғалысты жылукөзінде (2.13) және (2.9) теңдіктерін қолданып, (2.16) шығарылады.

$$\overline{t_b} = \frac{qh_{v_{\text{бл}}}}{8\pi\lambda c \gamma T_{\text{бл}}^2 v_n \eta_{\text{бл}}} = \frac{h_{v_{\text{бл}}}}{8\pi\lambda c \gamma T_{\text{бл}}^2} \cdot \frac{q_n}{\eta_{\text{бл}}}, \quad (2.16)$$

мұндағы $q_n = q/v_n$ – пісіруде ұзындық бірлігіне келтірілген жылу энергиясы, кал/см.

Орташа уақыт $\overline{t_b}$ металдың жылуфизикалық қасиетіне, жік ұзындық өлшем бірлігіне келетін энергияға және балқыту термиялық п.э.к., өз кезегінде жылукөзінің сипаттамасына, тәуелді. Төменкөміртекті болатты пісіруде $\overline{t_b} = \frac{1}{2700} \cdot \frac{q_n}{\eta_{бл}}$, балқымалы электродпен электрдоғалы пісіруде $0,25 < \eta_{бл} < 0,4$; $\overline{t_b} = (0.0010 \div 0.0015) q_n$.

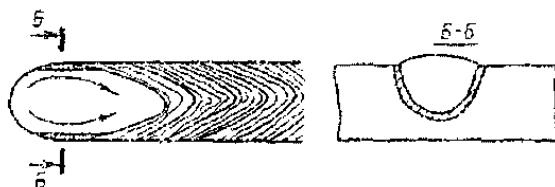
Ванның орташа температурасын әрқалай температуралы сұйық заттардың араласу ережесі бойынша бағалауға болады. Пісіруге қатынасты ваннаға $T=T_{бл}$ температурада келтірілетін негізгі металл үлесін γ , ал қосымша металл үлесі $(1-\gamma)$, температурасы $T=T_{км}$ деп алуға болады. Сонда ванна орташа температурасы келесі формуламен есептеледі

$$\overline{T_b} = \gamma \cdot T_{бл.н.м.} + (1-\gamma) T_{км}. \quad (2.17)$$

Мысалы, балқытып қаптастыру, металл жиектерін қиғаштап қимай, түйістіріп флюс қабаты астында автоматты төменкөміртекті болатты әдетте ережелі пісіруде $\gamma = 2/3$; $T_{бл.н.м.} \approx 1500$ °С – негізгі металл балқу температурасы, $T_{км}=T_K=(2300 \div 2500) \approx 2400$ °С, мұндағы $T_{км}$ электрод катод болғанда ваннаға тамшыланған металл температурасы. Сонда $\overline{T_b} = \frac{2}{3} 1500 + \frac{1}{3} 2400 = 1800^0 C$. Эксперименттік көрсетулерде 1770 °С. Аталған болатты балқымалы электродпен қолдан пісіруде $\gamma \approx 0,35$; $T_{км}=T_K=(2100 \div 2300) \approx 2200$ °С; $\overline{T_b} = 0,35 \cdot 1500 + 0,65 \cdot 2200 = 1955^0 C$. Эксперименттік өлшеулерде (Д.Чип және Н.Христенсон жүргізуінде) 1950-ден 2000 °С қа дейін.

Пісіру ваннасында бірқатар физикалық процестер, атап айтқанда балқытылған негізгі металл мен қосымша металл араласуы, металл мен қождың бөлінуі (ерекшеленуі) және металдың кристалдануы, сонымен қатар, металдың қож және газ фазамен әсерлесуі орын алады (мұнда химиялық процестерге тоқталмаймыз).

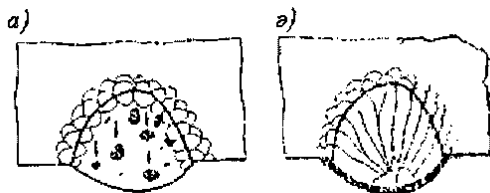
Балқытылған негізгі металл мен қосымша металдың физикалық араласуы ваннаның орталық аумағында айтарлықтай тез өтеді, себебі мұнда сұйық металл ағыны едәуір қарқынды. Қорытпалану шекарасында қатайған металл сұйық металл ағынын бәсеңдетеді; сондықтан бұл аумақта диффузиялық фактор әсері басымдылықты, сұйық металл атомдары ванна орталығынан шетіне қарай, шетінен орталыққа қарай өтімділікті қозғалысқа келеді. Бұл аумақта балқытылған негізгі металмен ванна орталық аумағындағы сұйық металдың араласуы жеткілікті толық емес, осындай ваннада сұйық металдар араласуы жетекшісіз аумақ 2.5-суретте штрихпен көрсетілді.



2.5-сурет. Пісіру ваннасында сұйық металл араласу сұлбасы. Араласу жеткіліксіз аумақ штрихпен көрсетілді

Ваннада метал мен қождың өзара бөлінуі және газдардың ваннадан көпіршіктеніп бөлінуі орын алады. Бұл процесс қож, газдардың коагуляциялану және тығыздығының металл тығыздығынан төмен болуынан, ванна үстіңгі бетіне қалқып шығуы нәтижесінде өтеді. Газ атомдарының молекулалық шекараларда қозғалу мүмкіндігі де жоғары. Қож молекулаларының ванна, қатайған жік металы үстіңгі бетіне шығуына оларды ванна түбінен және бүйір керегелерінен өсіп келе жатқан кристалдар алдыңғы бетінің (фронты) ығыстыруы «итеріп шығаруы» зор ықпал етеді.

Пісіру ваннасындағы қожды «итеріп шығаруы» процесінің орын алатыны және зор мәнді екені төбе пісіруде айқын көрінеді (2.6-сурет).



2.6-сурет. Төбеде пісіруде қождың жік металы бетіне шығарылу сұлбасы

а – сұйық ваннада; ә – ваннада кристалдану аяқталған соң

Егер қож және металл бөлінуі олардың тек тығыздығына сәйкес өтетін болса, онда төбеде пісіруде металдан жеңіл қож жоғары шығып жік түбірі аумағында бөлінген болар еді. Шынайы жағдайда олай емес, қож жік металының үстіңгі бетінде, кеңістікте төменде шоғырланады. Оның себебі, ванна алдының түбірінен, бүйірінен кристалдар маңдай алдының өсуі қожды төмен қарай «итеріп шығаруында».

2.2. Кристалдану процесінің негізгі заңдылықтары

Барлық металл мен қорытпалар қатты күйінде кристалл денелер және олардың құрылымы мен қасиеті осы кристалдығымен анықталады. Металл өндіру, өңдеу технологиясында, олардың тобына пісіру технологиясы да жатады, металдың сұйық күйден кристалдануы орын алады. *Кристалдану дегеніміз – металдың сұйық күйден қатты күйге өтуіндегі бірінші құрылымы қалыптасу процесі.* Қыздыру процесінде әр металға тән нақтылы температурада $T_{\text{өл}}$ – металл қатты күйден сұйық күйге өтеді, мұны металдың балкытылуы, ал сәйкес температураны *б а л қ у т е м п е р а т у р а с ы* деп атайды. Пісіру ваннасында температура балку температурасынан $T_{\text{өл}}$ жоғары. Суыту барысында температура төмендеп $T_{\text{өл}}$ болғанда металл кристалданады, қатты күйге өтеді. Іс жүзінде кристалдану $T_{\text{өл}}$ -дан төмен салқындауда өтеді. Мұнда атомдар белгілі арақашықты, белгілі ретпен орналасады да нақтылы пішінді кристалл торы қалыптасады. Кристал торында жеке атом орналасқан орын-кристалл түйіні. Кристалл торының пішіні және онда атомдар орналасу заңдылықтары жалпы алғанда

металдың кристалдық құрылымы болып аталады. Металдың айрықша сипатты қасиеттері кристалдық құрылымға тән ерекшелікпен анықталады. Кристалл торындағы атомдардың валенттік электрондары атомнан бөлініп, тордағы барлық атомдарға ортақ қозғалысты күйге келеді де, кристалл торында атомаралық байланыс күші қалыптасады. Сыртқы әсерлер (механикалық күш, температура, қысым өзгеруі, т.б.) салдарынан атомаралық қашықтық ұлғайса, атомаралық байланыс күшін қалыптастыратын қозғалысты электрондар болғандықтан, атомдардың байланыстылығы күрт үзілмейді, дене созымталдық қасиет көрсетеді. Атомаралығында қозғалысты электрондар болуы электр тогын өткізгіштік, жылу өткізгіштік, сәуле шағылыстыру қасиеттерінің жеткілікті жоғары болуына оң ықпал етеді, тіпті қамтамасыз етеді деп айтуға болады. Жоғарыда келтірілген кристалдық құрылым ерекшеліктеріне орай, металдар созымтал, электр өткізгіштігі, жылу өткізгіштігі жоғары, түсті заттар.

Кристалл торында атомаралық қашықтығы бірдей емес. Осыған орай, кристалдардың қасиеттері барлық бағытта бірдей емес. Қасиеттері барлық бағытта бірдей емес денелер – анизотропты болып аталады. Мұның металдың кристалдануында бірінші құрылым қалыптасуына зор әсері бар.

Сұйық (балқытылған) күйден металдың кристалдануы өтуінің шарттары бар. Сұйық металда кристалдар орталығы пайда болады да олар өседі. Таза металл өзіне тән температурада балқиды $T_{\text{бл}}$. Және суытылуда осы температурада кристалданады $T_{\text{к}}$, яғни $T_{\text{бл}} = T_{\text{к}}$. Заттың (металдың) бір күйден екінші күйге ауысу температурасын сындық температура деп, температура шамасы нақты тұрақты болғандықтан, сындық нүкте деп те атайды.

Балқыған металл көлемінде кристалдану орталығы қалыптасуы және өсуі үшін қатты күй бастапқы сұйық күйден энергиялық тиімді болуы керек. Осындай энергиялық тиімді жағдай орын алуы балку температурасынан төмен салқындату – аса суытуда орын алады. Кристалдану сондай-ақ, сұйық дененің жылу өткізгіштігі жоғары, қатты салқын денемен ұласу бетінде орын алады. Мұнда қатты дене беті (мысалы, құю қалпының

балқыған металмен жанасқан үстіңгі беті) балқытылған металды аса суытушы және кристалдану орталығы болып табылады. Бұл жағдай балқытып пісіруде пісіру ваннасы металының толық балқытылмаған негізгі металл беттерімен ұласқан аумақта орын алады.

Кристалдану процесі өту үшін температураның сол аумақта балку температурасынан төмен болуы шарт, сонда ғана кристалдану орталығы пайда болып және кристалл өсуі өріс алады. Аса суыту дәрежесі металл сипаттамасына және суыту жылдамдығына байланысты.

Кристалдану нәтижесінде біршама энергия бөлінеді – кристалдану жылуы, сандық шамасы балку жылулығына тең. Бұл жылулық әдетте, қатты және сұйық денелер шекарасында, температурасы төмендеу қатты денеге тарайды. Жылу таралу қарқындылығы қатты және сұйық денелер төмен шекарасындағы температура градиентіне және қатты, сұйық денелердің жылуфизикалық қасиеттеріне тәуелді. Қатты денеде (кристал орталығы) dt уақытта қалыңдығы dY кристалл қабат өсуі үшін, фазаралық шекарада жылу ағындарының белгілі байланыстылығы орын алуы шарт.

$$G_{\text{бл}} \cdot \gamma \cdot dY = [\lambda_{\kappa} (\partial T_{\kappa} / \partial y) - \lambda_c (\partial T_c / \partial y)]_y dt, \quad (2.18)$$

мұндағы $G_{\text{бл}}$ – кристалдану жылуы, балку жылуына тең; γ – металл тығыздығы; λ_{κ} , λ_c – сәйкес қатайған және сұйық металдың балку температурасында жылу өткізгіштігі; $\partial T_{\kappa} / \partial y$ және $\partial T_c / \partial y$ – сәйкес қатты және сұйық металда температура градиенті, фазаралық шекарада, оған перпендикуляр y осі бойында.

Шойын қалыпта болат құйманың кристалдануында балқыған металдан жылу тартылуда болады. Қатайған қабат өсу жылдамдығы қалып керегісінен 0,5 см қашықтықта $0,05 \div 0,1$ см/с, ал қалып керегісінен 5-20 см қашықтықта 0,008-ден 0,010 см/с аралығында.

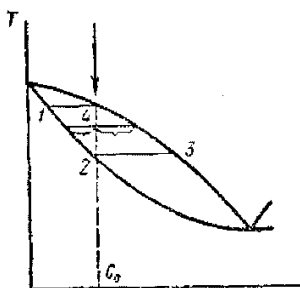
Таза металл кристалдануында оның құрылымы кристалдану орталығы пайда болуы және кристалдар өсу жылдамдығы шарттарымен анықталады. Суыту жылдамдығының өсуі ұсақ түйіршікті, суыту жылдамдығының төмен болуы ірі түйіршікті

құрылым қалыптасуына алып келеді. Қатайған металл құрамы барлық көлемінде бірдей болып келеді.

Қорытпалар кристалдануы тұрақты температурада емес, біршама температура аралығында (ауқымында) өтеді. Қатты фазаның тізбекті ұлғаюы жағдайында, қатты және сұйық фазалар аралығында қосфазалы аумақ болады, мұнда бір уақыт мерзімінде қатты және сұйық фазалар орын алады. Бұл қосфазалы аумақтың ені солидус (толық қатайған) және ликвидус (толық сұйық) температура аралығына және аумақтағы температура градиентімен анықталады. Қосфазалы аумақта пайда болған және өсіп келе жатқан кристаллиттерден басқа жаңа кристалдану орталықтары пайда болуы ықтимал. Бұл орталықтар сұйық фазада өздігінен қалыптасушы немесе қосымша сипатты болуы (баяу балқитын қосымша модификатор бөлшектер, кристаллит – түйіршіктердің жарқышактары) мүмкін.

Қорытпалардың кристалдану процесінде қалыптасқан қаты фазаның көлемдік аумақтарының құрамы әртүрлі болып қалыптасады. Бұл кристалданудағы *ликвация* болып аталады. Ликвация себебі қорытпада әртүрлі қоспалардың сұйық және қатты фазаларда ертіндіде болуы әрқалай болуында.

Тепе-теңдік күй диаграммасында екі құрамды жүйеде (қорытпа негізі элемент – қосымша элемент) бастапқы концентрация c_0 нүктеге дәл сәйкес деп алайық (2.7-сурет).



Қоспа концентрациясы

2.7-сурет. Қорытпа кристалдануында ликвация орын алу сұлбасы

Ең алғашқы кристаллиттер құрамы солидус сызығында 1-нүктеге сәйкес болады. Температура солидусқа дейін

төмендегенде, 2-нүкте қалдықты сұйық фаза құрамы 3-нүктеге сәйкес болады. Ликвидус пен солидус аралығындағы 4-нүктеде қатты фаза және сұйық фаза мөлшерлерінің қатынасы рычаг ережесімен анықталады.

Сұйық фазада температура градиенті кемісе, кристалдану орталығынан кристалдар тарамдалып (ағаштың бұтақтары сипатты) өседі, мұны дендриттер дейді. Кристалдар өсу жылдамдығы төмен (аз) болса (орташа кристалдану жылдамдығы $\overline{v_k} \rightarrow 0$), сұйық фазадағы орташа мәнінен артық қоспалар кристалдану фронтынан (мандай алдынан) сұйық фаза көлеміне өтіп үлгереді, сұйық фаза қоспаларға байи түседі. Сондықтан жалпы көлемде жекеленген аумақтар құрамы, бастапқыдан елеулі ауытқулы болады.

Егер кристалдану жылдамдығы жоғары және сұйық фазада температура градиентті төмен болса, онда қоспа элементтер кристалдану мандай алдынан қашықтап үлгермейді. Жекеленген аумақтарда қорытпа құрамы бастапқы құрамға жуық болып қалыптасады. Шынайы жағдайда, елеулі массалы құймаларда да, кристалдану жылдамдығы жоғары болып келеді. Сонда қоспалардың диффузия арқылы әлі кристалбаған ортаға өтуі толық орын алмайды. Балқыған металл көлемі лезде кристалданса, қатайған қорытпада ликвациялық құрам бірдей болмауы орын алмайды.

Сонымен қатар, кристалдану жылдамдығы төмен $\overline{V_k} \rightarrow 0$ жағдайда қатайған металдың жоғары температурада болу уақыты салыстырмалы жоғары. Сондықтан, қатайған аумақта диффузиялық процестер өтуде болады да, көлем аумақтарының құрамы ортақ мәнге теңестірілу бағытында өзгереді. Шекті жағдайда қорытпа құрамы көлемдік бірдейлікке келеді. Қоспалардың кристалдану мандай алдынан диффузиялық қашықтау жағдайында өткен кристалдану процесі диффузиялық деп аталады. Қоспалар диффузиялық қашықтаусыз қатайған көлем құрамы бастапқы құрамға сәйкес болып қалыптасу жағдайында өткен кристалдану процесі диффузиясыз болып аталады.

Кристалдану жылдамдығы V_k біршама өскенде, қатайғанда құрамдық ауытқу елеулі, сонымен бірге диффузиялық құрам теңестіру уақыты да азаяды. Сондықтан суытылған қорытпада

көлемдік құрам бірқалыпты болмауы сақталады. Кристалдану жылдамдығы одан әрі жоғарылағанда қатайған металда көлемдік құрам алшақтығы кемиді.

Қатайған металда ликвацияға байланысты көлем аумақтық құрамының орта мәнінен ауытқуымен (мұны аумақтық ликвация дейді) қатар, қоспалардың дендрит осьтері мен осьтер аралығында бір текті болып тармалуы орын алады, мұны дендриттік ликвация немесе дендриттік біртектіліксіздік дейді.

Болат құймаларда ең жоғары ликвациялық құрам алшақтығы «қайнаған» болатта орын алады, себебі болаттың «қайнауы» диффузияны күшейтеді.

Жоғарыда келтірілген кристалдану заңдылықтары балқыған металдың қалыпқа құйылып кристалдануын зерттеулер арқылы анықталған. Пісіруде, әсіресе балқытып пісіруде балқыған металдың кристалдануы орын алады. Мұндағы айырмашылық пісіруде балқыған металл көлемі өте шағын. Балқыған металл негізінен балқытылмаған негізгі металға жылу таралуы арқылы суытылады. Пісіруде жылукөзінің әрекеті белгілі шамалы уақыт аралығында үзіліссіз және жылжымалы. Пісіруде металл қатаюы кристалдану процесі заңдылықтарына сәйкес өтеді, сонымен қатар технологиялық процеске сәйкес ерекшеліктері бар.

2.3. Пісіру ваннасында металл кристалдану ерекшеліктері

Пісіруде балқыған металдың кристалдануы қалыпқа құйылған металдың кристалдануынан өзгеше болып келеді. Мұндағы негізгі айырмашылықтар:

1) пісіру ваннасында металдың кристалдануы ваннаға пісіру жылукөзінен жылу келтірілу жағдайында өтеді; кристалдану фронты (маңдайалды) пісіру жылукөзінің жылжуымен байланысты;

2) ваннада кристалдану орталығы шектеулі, олар негізгі металдың ваннамен балқылану шегінде негізгі металл түйіршіктері түрінде болып келеді;

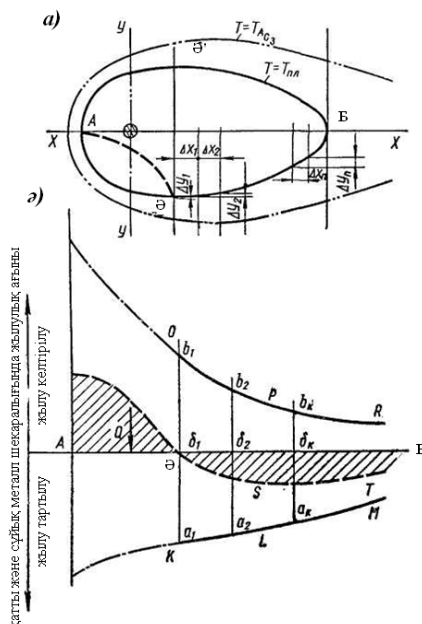
3) ваннада температура градиентінің елеулі шамада болуы; ванна орталық аумағында металдың аса қыздырылуы;

4) ванна металының айтарлықтай араласуы;

5) ванна көлемінің шамалы болуы, металдың балқыған күйде болу уақытының қысқалығы; металдың кристалдануында кристалдар өсу жылдамдығы орташа мәнінің жоғары болуы;

6) балқытып пісіруде негізгі металл және қосымша металдың құрамы бірдей болмауы жиі орын алады. Сондықтан пісіру ваннасының аумақтарында бастапқы кезеңде құрамдары әртүрлі болып келеді.

Кристалдану ваннаның шеттік жағынан басталады. Ваннаға жылу келтірілуі, құйма қалыппен салыстырғанда, қорытпалану шекарасынан ванна орталығы бағытында.



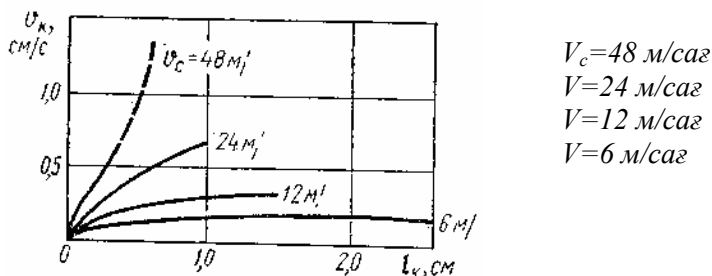
2.8-сурет. Пісіру ваннасына жылу келтіру және шығару аумақтар сұлбасы

Бұл жағдай кристалдар өсу жылдамдығының өзгеру заңдылықтарын түпкі бастамалықты өзгертеді. Кристалдану маңдай алдында қатты және сұйық фазалар шекарасында қатты денеге жылутартумен қатар ванна жағынан жылу келтірілуі орын алады. 2.8 а-суретте келтірілгендей фазаралық шекараны АӘБ немесе АӘ'Б деп белгілеп, оны АӘБ-ға түзу сызыққа

жайсақ (2.8 ә-сурет), онда Ә нүктесінен солға қарай ваннаның бас жағы болады, мұнда пісірілетін металл жиектері балқытылады. Ә нүктесінен оңға қарай, Б нүктесіне дейін ваннаның соңғы жағы, мұнда кристалдану өтеді, металл сұйық күйден қатты күйге ауысады. АӘ (АӘ') аумағында ваннаға жылукөзінен келтірілген жылу, қатты денеге тартылу жылуынан артық. ӘБ (Ә'Б) аумақта ваннадан қатты денеге тартылған жылу басымдылықты.

Пісіру ваннасында оның шетінде және ортасына қарай бағытталғанда кристалдар өсу жылдамдығының өзгеруі қалыптағы құймаметалдағыдан өзгеше. Пісіру ваннасында кристалдар өсу жылдамдығы сұйық – қатты фазалар шекарасында бастамалық қорытпалану аумағында минималды. Қатаюдың ең соңғы бөлігінде ванна орталығында (жік орталығы) кристалдану жылдамдығы максималды. 2.10-суретте флюс қабаты астында автоматты пісіру ережесінің кристалдар өсуі орташа жылдамдығына байланыстылығы, кристалдар ұзындығының l_k келтірілді.

Кристаллиттер өсуінің орташа жылдамдығы кристаллит ұзындығын l_k кристаллит өсу уақытына t_k бөлу арқылы анықтасақ (ванна соңғы жағы ұзындығының пісіру жылдамдығына V_n қатынасы), онда электрдоғалы пісіру ережесінің кең ауқымында 0,1-ден 0,4 см/с аралығында. Бұл көрсеткіш әдеггі құймаметалда, монокристалдар өсуінде орын алатын кристалдар өсу орташа жылдамдығынан елеулі жоғары.



2.9-сурет. Кристалдар өсу жылдамдығының кристалдар ұзындығына L_k см және пісіру жылдамдығына байланыстылығы

Егер ванна орталығында кристаллиттер өсу жылдамдығы пісіру жылдамдығына шамалас тең болса (әдетте, пісіру ережелерінде 0,2-ден 1,0 см/с шамалас), ал қорытпалану шекарасында кристаллиттер өсу жылдамдығы өте аз және шекарадан қашықтаған сайын өседі. 2.1-кестеде қорытпалану (сұйық-қатты фаза) шекарасына жуық аралықта кристаллиттер өсу орташа жылдамдығының мәндері келтірілді.

Кристаллиттер өсу жылдамдығынан көрінетіндей, диффузиялық кристалдану (шамамен $V_k < 3 \cdot 10^{-2}$ см/с) жалпы көлемнің аз шамалы бөлігінде басталып кристалдануда, қорытпалану шекарасына жуық аралықта орын алады. Орталық аумақта (ванна орталығы) диффузиялықсыз кристалдану өтеді.

2.1-кесте

Орташа қалыңдықты болат тілмені электрдоғалы пісіруде
есептеп шығарылған кристалдар өсу жылдамдығы

Болат түрі	Ұзындық бірлігіне келетін пісіру энергиясы, q, кал/см	Орташа кристалдану жылдамдығы анықталған қорытпалану (ванна-негізгі металл) шекарасынан қашықтық, мм	Кристалдар өсуінің жуықтатылған орташа жылдамдығы, см/с
Аустенит класты хромникелді	2000	0-0,03	0,010
		0,03-0,10	0,025
		0,10-0,30	0,040
		0,30-0,80	0,120
Төменкөміртекті легірленбеген немесе төмен легірленген	2000	0-0,05	0,020
		0,05-0,12	0,050
		0,12-0,40	0,090
		0,40-1,00	0,200
	10000	0-0,01	0,005
		0,01-0,05	0,012
		0,05-0,12	0,017
		0,12-0,20	0,027

Бірнеше қабатты жік салып пісіруде (металл қалыңдығы жоғары) әрбір келесі балқытылып қаптастырылған білікше, алдыңғы қабат металын белгілі тереңдікте қайта балқытады. Астыңғы қабат металы үстіңгі балқытылған металдың кристалдануына негіз, төсем болып келеді, бұл мақсатты алдыңғы балқытып салынған металл білікшелері атқарады. Осындай көп қабатты жік металы көлденең қимасының макроысылмасында кристаллиттердің төменгі қабаттан ұласып жоғары қабатқа өскені көрінеді. Мұндай құрылым транскристаллит болып аталады. Транскристалитті құрылым суытылуда қайта кристалдану орын алмайтын, мысалы, бірфазалы аустенитті болат, мыс, т.б. жік металында әдетте кездеседі. Пісіру ваннасында жаңа кристалдану орталықтарының пайда болуы, кристалдар өсу жылдамдығының басым бөлігінде, аталған орталықтан өскен кристаллиттер санының өсуіне, олардың қорытпалану шекарасынан өскен кристаллиттермен салыстырғанда елеулі болуына алып келмейді. Сондықтан металл құрылымын пісіру жігінде ұсақ түйіршікті етіп қалыптастыруға, әсіресе баяу балқитын металдарды пісіруде, мүмкіндік шектеулі болады.

Қосымша кристалдану орталығының пайда болуы ваннаның орталық аумағында, ванна соңғы шетіне (Б нүктесі аумағында, 2.8 а-сурет) жуық аумақта ықтималдығы жоғары. Себебі, бұл аумақта температура градиенті ең төмен, екі фазалы күй аумағының ені ең жоғары.

Кристалдануда бірінші құрылым қалыптасуына 1-текті модификаторлар қосу арқылы ықпал ету салыстырмалы жеңіл балқитын металдарды пісіруде нәтижелі болады. Алюминий қорытпаларын пісіруде жік металы құрылымын ұсақ түйіршікті етіп қалыптастыру *Ti* және *Zr* модификаторларын қосу арқылы жүргізіледі. (Модификация – түрөзгерткіштік, модификатор – түрөзгерткіш.) Кристалдануда құрылымның ұсақ түйіршікті болып қалыптасуына алып келетін арнайы шағын мөлшерлі қоспалар, 1-текті модификаторлар – құрылымы кристалданушы қорытпаға изоморфты, баяу балқитын қоспалар. Баяу балқуына орай, алғашқы болып кристалданады да, кристаллит түйіршіктері кристалдану орталығы болады, осылайша арнайы

қоспалар арқылы металлқұймада (ваннада) қалыптасқан кристалдану орталығын мәжбүрлі кристалдану орталығы деп атайды.

Болатты пісіруде модифицикалау қолдану қиын. Әсіресе, электрдоғалы пісіруде балқытылған электрод материалының аса қыздырылуына байланысты аса баяу балқитын модификатордың да белсенділігі төмендейді.

Кейбір пісіру жағдайында 2-текті модификаторлар қолдану мүмкін. Бұлар үстіңгі беттік белсенділігі жоғары элементтер, сондықтан кристаллиттер үстіңгі бетін бүркемелеп, олардың өсуін тежейді. Нәтижесінде, жаңа кристалдану орталықтары пайда болуы және өсуіне оңтайлы жағдай туындайды.

Қосымша кристалдану орталықтарын ваннаға серпімді тербелістер әсерімен қалыптастыруға болады. Осы мақсатта ваннаға белгілі қуатты ультрадыбыс тербелісін ендіру немесе ванна металын сыртқы магнит өрісімен араластыру тәсілдері қолданылады. Бұл тәсілдерді қолдануда, әсіресе екіншісін, техникалық қиындықтар бар.

2.4. Жоғары температурада жік металының деформациялануы

Пісіруде жылу қуатының әсері металдың аумақтарында және пісірілген жалғас аумақтарында біркелкі емес, әртүрлі болып келеді. Пісірілген жалғастың жылжымалы немесе қозғалыссыз жылу көзіне жуық аумағы ең жоғары температураға дейін қыздырылады. Балқытып пісіру тәсілдерінде аталған аумақ балқу температурасынан жоғары қыздырылып, содан соң кристалданады – қатайды. Бұл аумаққа іргелес жуық орналасқан аумақ балқу температурасынан төмен температураға қыздыралады, қашықтаған сайын максималды қыздыру температурасының шамасы төмендеуде болады. Егер бұйым мөлшері елеулі болса, онда жылу көзінен белгілі бір қашықтықтағы аумақта металл қыздырылмайды, температура пісіру барысында өзгеріссіз болады.

Металдың қандай да болсын қыздырылған аумағы максималды температураға жеткен соң суый бастайды. Суу негізінен

металдың салқын аумағына жылу таралуымен өтеді. Бұл суу жылдамдығы елеулі шамалы болып келеді, бірақ қыздырылу жылдамдығынан төмендеу.

Пісіру процесі аяқталуында, егер пісіру бір қабат жік салумен өтсе, пісіруде қыздырылған металдың әр көлем бірлігінде температураның уақыт өтуінде төмендеуіне байланысты айырықша құбылыстар өтеді. Әр аумақта максималды температура T_{max} әртүрлі болып келеді. Қыздыру жылдамдығы ω_k және суытылу жылдамдығы ω_c айырмашылықты болады. Пісіруде термиялық цикл орын алады. Осыған орай, пісірілген жалғаста металдың құрылымында, қасиетінде құбылыстар өтеді. Бұл құбылыстар салдарынан пісірілген жалғаста кернеу мен деформация орын алады. Кернеу мен деформация шамалары елеулі, металдың механикалық қасиеттері – беріктік, созымталдық көрсеткіштерімен өлшемдес, кейде артық та болуы ықтимал. Сондықтан пісірілген жалғаста бұйым мөлшерінің ауытқуы, сызаттануы, тұтастығының бұзылуы мүмкін.

Металдың құрылымы мен қасиетіне термиялық цикл әсері ғана орын алмайды. Жергілікті қыздыру салдарынан пластикалық деформация да орын алады. Жергілікті қыздыруда металдың ұзындықты ұлғаюына еркін мүмкіндік жоқ. Сондықтан бастапқы қыздыруда металда серпімділікті деформация, қыздыру уақыты ұлғайғанда сығылу пластикалық деформация орын алады. Суытылу кезеңінде де металдың еркін қысқаруы мүмкін болмағандықтан, серпімділік және созылу пластикалық деформациясы орын алады. Қорытынды созылу пластикалық деформация T_{max} шамасы өскен сайын үдейді, яғни негізгі металда балку температурасына T_{bl} жуық қыздырылған аумақта орын алады.

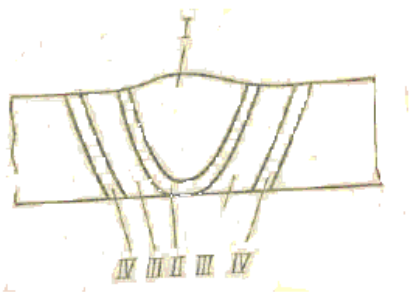
Жік металы, жік аумағы металында пластикалық деформация шамасы металдың қасиеті, құрылым қатандығы, пісіру ережесі, пісіру жиектерінің алшақтығы, максималды пісіру температурасы және басқа да факторларға тәуелді. Көп факторлы тәуелділік болғандықтан, пісіруде орын алатын пластикалық деформация жуықтатылған шамада анықталуы мүмкін. Жоғары температуралы, 600 °С-тан жоғары қыздырылған,

аумақта деформация 4-5 %-ға жетуі мүмкін, ал T_{max} төмен шамалы қыздырылған аумақта 2–3 % шамасында болып келеді.

Жоғары температуралы пластикалық деформация кристаллит түйіршік шекарасын өзара ысырылуына алып келуі мүмкін. Бұл ысырылу деформацияның жалпы шамасына және деформацияның кристаллит түйіршіктері денесінде және шекарасында шоғырлануына (жергілікті таралмаушылық) байланысты.

Температура төмендеген сайын металдың серпімділік қасиетінің өсуіне орай, деформация бекемделуге алып келеді. Жоғары температуралы незінен түйіршіктер шекарасына әсер ететін деформация да, төменгі температуралы бекемделуге алып келетін деформация да пісірілген жалғас аумақтары металының қасиетіне елеулі дәрежелі қорытынды әсер етеді. Металдың эксплуатациялық сипаттамасына әсер етеді және бұл әсер бастапқы кезде сезілмей, эксплуатациялау мерзімі барысында айқындалуы мүмкін. Пісіруде жоғарыда келтірілген пластикалық деформацияның металл құрылымына әсерін айқындау, термиялық құрылым өзгерістерін айқындаудан күрделі.

Пісірілген жалғаста металдың айрықша аумақтары. 2.10 - суретте түйістірілген жалғас көлденең қимасының сұлбасы келтірілді.



2.10-сурет. Түйістірілген жалғас көлденең қимасы

Мұнда I – жік металы, II – пісіруде T_c солидус температурасынан жоғары T_l ликвидус температурасынан төмен қыздырылған аумақ, III және IV – сәйкес аумалы-кезеңдік

температуралардан $T_{ак2}$ және $T_{ак1}$ жоғары температураға қыздырылған аумақтар.

Аумақ I құрылымы құймаға тән құрылым болып келеді. Бұл аумақта негізгі металл ликвидус температурасынан $T_{л}$ жоғары қыздырылып, балқытылған күйінде қосымша балқытылған металмен араласып, бірге кристалданған металл. Бұл аумақ жік металы болып аталады. I аумаққа тікелей іргелес II аумақта қыздыру солидус температурасынан T_c жоғары ликвидус температурасынан төмен аралыққа өткен, мұнда негізгі металл толық балқымаған жекеленген балқытылмаған түйіршіктер аралығы балқытылған пісіру ваннасының сұйық металымен ұштасып келеді. Бұл аумаққа қосымша металл құрамындағы элементтер бірен-сарандап өтуі орын алуы ықтимал. Сондықтан II аумақ металының химиялық құрамы негізгі металл құрамынан ауытқулы болуы мүмкін. Құрылымы құйма металл және $T_{л} > T_c$ аралығында аса қыздырылған металға тән аралас құрылымды болып келеді. Аса қыздырылған негізгі металға тән құрылым $T_{л}-T_c$ температура аралығы шамасына қорытпаның жылуфизикалық қасиетіне (λ , c , α) және пісіру ваннасымен қатты металл шекарасындағы температура градиентіне, яғни қорытпа жылуфизикалық қасиетімен қатар пісіру тәсілі және ережесіне тәуелді. Екінші аумақтың ені v_1 (2.19) теңдеуімен есептеледі.

$$v_1 = \frac{T_{л} - T_c}{\left[\frac{\Delta T}{\Delta(\sqrt{y^2 + z^2})_{T_{бл}}} \right]}, \quad (2.19)$$

мұндағы $\left[\frac{\Delta T}{\Delta(\sqrt{y^2 + z^2})} \right]$, $^{\circ}\text{C}/\text{см}$ – y және z шамаларымен

анықталатын пісірілу бұйымның температурасы $T \approx T_{бл}$ балку температурасына тең аралықтағы температура градиенті.

II аумақ қорытпалану аумағы болып аталады. $T_{л} - T_c$ интервалы аз шамалы металдар үшін қорытпалану аумағының

ені кішкене болып келеді. Кейде жік металы құрылымын пісіруде балқымаған металл құрылымынан айқын ерекшелендіреді. Сондықтан бұл аумақты *қорытпалану шекарасы* деп атайды.

Жік металынан келесі қашықтықта III және IV аумақтар орналасқан бұл аумақта металдың сындық температураға қыздырылуы нәтижесінде құрылымдық құбылыстар болуы мүмкін. Жік металына жуық құрылымы мен қасиеті өзгерген аумақ *пісірудегі термиялық әсер аумағы* деп аталады.

Пісіруде металл құрылымы, әдеттегі термиялық өңдеудегідей, қыздыру тездігі, максималды (немесе тағайындалған) температурада ұсталу уақыты және суыту жылдамдығына тәуелді қалыптасады.

Пісіруде металдың $T_{\max}$ қа дейін қыздырылуы тез өтеді және жоғары температурада ұсталу уақыты қысқа.

Пісіруде металл құрылымының соңғы қалыптасуына суыту жылдамдығының мәні зор, әсіресе қыздыру-суытуда құрылымдық құбылыстар орын алатын металдар үшін. Сондықтан пісіруде суыту жылдамдығын w_{cy} реттеуге зор мән беріледі. Н.Н. Рыкалин анықтағандай, кез келген $T > T_0$ температурада лезде суытылу жылдамдығы (2.20) – (2.22) теңдеулерімен анықталады.

Мысалы, мол денеге білікше жік балқытып қаптастыруда:

$$w_{cy} = 2\pi\lambda[(T - T_0)^2 / (q / V_n)]. \quad (2.20)$$

Табақ болатты қалыңдығын толық балқытып пісіруде:

$$w_{cy} = 2\pi\lambda c \rho \{(T - T_0)^3 / [q / (V_n \delta)^2]\}, \quad (2.21)$$

Қалыңдығы қандай да болмасын табақ металлы білікше жік балқытып қаптастырғанда:

$$w_{cy} = \omega[2\pi\lambda(T - T_0)^2 / (q / V_n)], \quad (2.22)$$

мұндағы λ , c , ρ – жылуөткізгіштік коэффициентті, кал/ (см, с, $^{\circ}\text{C}$) немесе Вт/(м, $^{\circ}\text{C}$): үлесті жылусыйымдылық, кал/(г, $^{\circ}\text{C}$) немесе Дж/(кг, $^{\circ}\text{C}$); метал тығыздығы, г/см³ немесе кг/м³;

T_0 – пісіруге жататын бұйымның бастамалық температурасы, бұл температура пісіру жігінен белгілі бір қашықтықта тұрақты сақталады, $^{\circ}\text{C}$;

q – нәрленгіштен бұйымға келтірілген жылулық, кал/с; (Вт);

$V_{\text{п}}$ – пісіру жылдамдылығы, см/с; (м/с);

δ – пісірілетін металл қалыңдығы, см; (м);

ϖ – салқындау процесінің өлшемсіз критерийі.

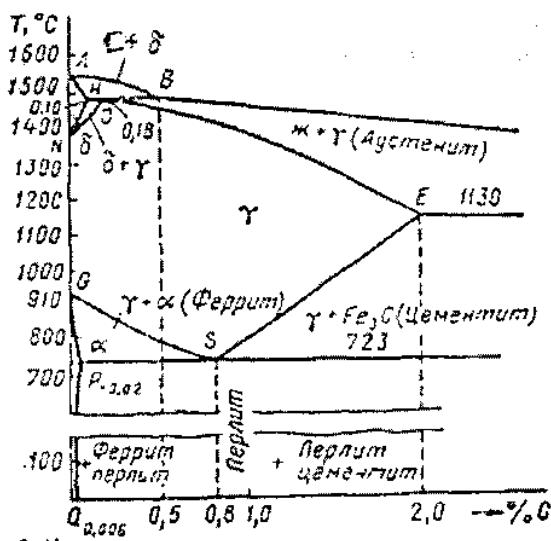
Өлшемсіз критерий ω салқындау процесімен қатар металдың қасиетіне және пісіру шарттарына тәуелді.

Суыту жылдамдығының w_{cy} металдың құрылымымен қасиетіне әсері металл құрамына, яғни жоғары температуралы фазаның төменгі температураға ауысу температурасына байланысты. Алайда, кейбір жағдайларда құбылыс кинетикасына, демек соңғы құрылым қалыптасуына, T_{max} және w_{cy} басқа, бұйымды пісіруде жергілікті қыздыру нәтижесінде деформациялануға байланысты пластикалық деформация шамасы да әсер етеді.

Пісіруде қатты күйдегі металда фазалық және құрылымдық құбылыстар. Темір негізіндегі қорытпалар, әртүрлі болаттар, техникада, өнеркәсіпте ең кең пайдалынатын материал. Сондықтан металдағы фазалық құбылыстар әдетте болатқа сәйкес қаралады. Болат, шойын, темірдің көміртекпен қорытпасы, бұлардың құрамында көміртекпен бірге технологиялық қоспалар, легірлеуші элементтер, т.б. қосындылар болады. Болат құрылымы Fe – C күй диаграммасына сәйкес қалыптасады және көміртек шамасының өзгеруі, қыздыру температурасы шамасы, жоғары температурадан суытылу жылдамдығы, т.б. факторларға сәйкес құбылыста болады. Темір-көміртек жүйесінің болатқа тән күйі, диаграммасы 2.11-суретте келтірілді.

Пісіру өндірісінде әртүрлі құрылымдарды жасауда төменкөміртекті болаттар қолдану кең өріс алған. Төменкөміртекті болаттар қатарына құрамында 0,2-0,25 %-ға дейін көміртек бар болаттар жатады. Бұл болаттардың кешенді жақсы қасиеттері бар, беріктігі негізгі металға пара-пар пісірілген жалғас қалыптасады, сондықтан құрылыстық металл

құрылымдар, кемелер тұрқы, қазандықтар, т.б. жасауда қолданылады.



2.11-сурет. Fe – C жүйесі диаграммасы

Төменкөміртекті болаттарда негізгі қоспа элемент көміртек. Марганец салыстырмалы 0,4 %-ға жуық төмен шамада. Қайнаған төменкөміртекті болатта кремний 0,03 %, байыпты болатта 0,3%-ға дейін болады. Қыздырып илемделген байыпты төменкөміртекті болаттың беріктік шегі ~ 390 МН/м², салыстырмалы ұзауы 20 % артық, тұтқырлығы $\sim 1,5$ МДж/м².

Төменкөміртекті легірленбеген болаттар пісіруде суыту жылдамдығына сезімталдығы төмен, шынығу және мартенсит құрылым қалыптасуы орын алмайды. Сондықтан пісіруде орын алатын суыту жылдамдығы олардың қасиетін қыздырып илемдеуге тән қасиеттен өзгертпейді немесе елеусіз шамада өзгертеді.

Балқытып пісіруде жік металы төменкөміртекті легірленбеген немесе төменкөміртекті марганец шамасы (1 %-ға дейін, кремний шамасы 0,3 – 0,4 %-ға дейін) көтеріңкі болып

калыптастыратын материалдар қолданылады. Технологиялық ереже дұрыс тағайындалған жағдайда жік металы тығыз, сызаттанусыз, беріктігі, созымталдығы, тұтқырлығы жеткілікті деңгейде болып қалыптасады.

Пісіруде әдетте суыту жылдамдығы кристалдану температурасы аумағында газжалынымен пісіруде $50 - 80\text{ }^{\circ}\text{C/c}$; электрдоғалы пісіруде $70 - 200\text{ }^{\circ}\text{C/c}$; электрқожды пісіруде $5 - 10\text{ }^{\circ}\text{C/c}$; $600 - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура аумағында сәйкес $\sim 15 - 20\text{ }^{\circ}\text{C/c}$; $20 - 70\text{ }^{\circ}\text{C/c}$ және $2,0\text{ }^{\circ}\text{C/c}$.

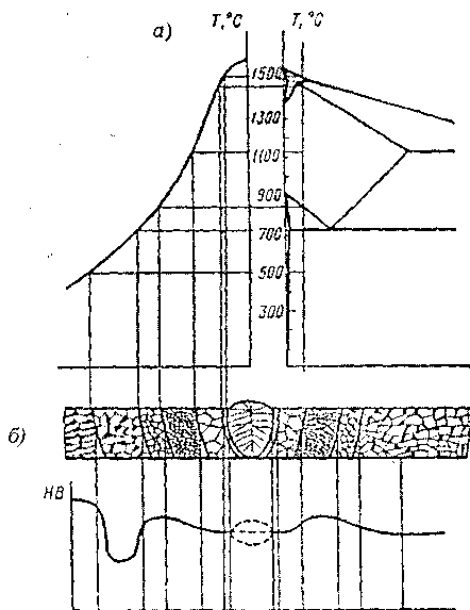
Қорытпа құрамы жоғарыда келтірілген шекте болғанда, көрсетілген суыту жылдамдығында жік металының микроқұрылымы феррит-перлитті және сорбит бейнелі болып келеді. Газжалынымен, әсіресе электроқожды пісіруде, жік металы ірі түйіршікті болып қалыптасады. Электрдоғалы пісіру суыту жылдамдығының жоғарылығымен сипатталады. Бұл тәсілмен пісіруде түйіршіктер мөлшері газжалыны және электроқожды пісірудегіден төмен.

Төменкөміртекті болаттарды пісіруде термиялық әсер аумағы $\text{Fe} - \text{C}$ күй диаграммасымен және аустениттің суытуда ыдырауының кинетикалық тәуелдіктерімен анықталады. Күй диаграммасынан көрінетіндей, төменкөміртекті болаттарды пісіруде ликвидус-солидус температурасы аралығында интервал $30-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ шамасында.

Сондықтан толық балқытылмау аумағының ені электрдоғалы пісіруде $0,08-0,1\text{ мм}$, газжалынымен, электроқожды пісіруде $0,15-0,20\text{ мм}$ мөлшерімен шектеледі.

Солидустан төмен екі аумалы кезеңдік температура (A_{c1} , $T=720\text{ }^{\circ}\text{C}$; A_{c3} , $T=880\text{ }^{\circ}\text{C}$) бар. A_3 нүктеден жоғары температураға қыздырылған металл толық аустенит γ құрылымды болады. Температура көтерілген сайын, аустенит түйіршіктері өседі.

Суыту кезеңінде кері процесс аустениттің ыдырауы жүреді. Бұл қыздырудағы құбылыс температурасынан төмен температурада, төмен көміртекті болаттарды пісіруде орын алатын суу жылдамдықтарында $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ өтеді.



2.12-сурет. Пісіруде металл құрымының құбылыс аумақтары

Бастапқы аустенит түйіршіктері ірі болғанда суытудан сон да ірі түйіршікті құрылым қалыптасады. Осыған орай, $A_{с3}$ -тен T_c температурасына дейін қыздырылған аумақта металл құрылымы біркелкі болып қалыптаспайды. $A_{с3}$ температурасынан шамалы жоғары қыздырылған аумақта металл майда түйіршікті құрылымды болады (2.12-сурет), бұл нормалау термоөңдеуге тән құрылым.

T_c температураға (солидус нүктесі) жуық қыздырылған аумақ аса қыздырылған аумақ боп саналады. Мұнда ірі түйіршікті құрылымды болып келеді және түйіршіктер мөлшері балқымалатылған аумақта жақындағанда ірі бола түседі. Аса қыздырылған аумақ $1000-1200^{\circ}C$ -қа қыздырылған және осы температурада болу уақытына байланысты, соңғы көрсеткіш пісіру тәсілімен анықталады. Газжалынымен пісіруде аса қыздыру температурасы $1100^{\circ}C$, электрдоғалы пісіруде $1200^{\circ}C$ -ка немесе одан да жоғары температураға қыздырылған аумақ.

Пісіруде As_3 температурадан жоғарырақ қыздырылған аумақ майда түйіршікті құрылымды болып қалыптасады. Металдың кешенді механикалық қасиеттері (беріктік, созымталдық, тұтқырлық) жеткілікті дәрежелі жоғары болып келеді.

$As_1 - As_3$ аралығында қыздырылған металл құрылымы өзгеріссіз деп айтарлықтай феррит, шамалы ұсақталған және сфераланған перлиттен тұрады. Пісіру процесінен бұрын қыздырылып илемделген және жұмсартылған металл құрылымы As_1 температурадан төмен қыздырылғанда өзгермейді. Кейбір жағдайда егер құрамында газдар (оттек, азот жоғары көрсеткішті болса) пісіруде $\sim 350^\circ C$ -тан жоғары қыздырылған аумақтың тұтқырлығы төмендеуі мүмкін).

Егер металл пісіру алдында бекемделген болса (салқындай илемдеу, штамптау, ию, т.с.с. өңдеу нәтижесінде), онда As_1 температурасынан төмен қыздырылған аумақта құрылымдық құбылыс орын алады. As_3 температурасынан жоғары температураға қыздырылған аумақта құрылым өзгерісі қыздырып илемделген немесе жұмсартылған болаттағыдай болады. As_3 тең төмен температураға қыздырылған аумақта металда жинақталған рекристаллизация өтеді де, нәтижесінде түйіршіктер мөлшері елеулі өседі. Әдетте, пісірілген жалғаста рекристаллизациялану құрылымы $500 - 525^\circ C$ -тан жоғары қыздырылған аумақта өтеді.

Пісіруде аса қуатты шоғырлануы жоғары жылу көзі қолданылатындықтан металда (бұйымда) елеулі шамалы температура градиенті орын алады. Осының нәтижесінде, жік металы мен негізгі іргелес аумақтарының қыздырылу температурасы әрқалай (бірдей емес) және бұл аумақтың суытылу жылдамдығында айырмашылықты болып келеді. Сондықтан, металдың қыздырудан (ұлғаюы) ұзаруы да, суытудан шөгуі де еркін жағдайда емес, кедергілікті жағдайда өтеді. Бұйымның айтылғандай бірқалыптылықсыз қыздырылу және суытылу нәтижесінде металда сәйкес кернеу және деформация орын алады.

Қыздыруда металл мөлшерінің ұлғаюы табиғи тән құбылыс және термиялық кеңею болып аталатыны белгілі. Температураға

байланысты кеңею шамасы сызықтың кеңеюмен сипатталады және қарапайым теңдікпен анықталады

$$\Delta l_0 = l_0 \alpha_{op} \Delta T, \quad (2.23)$$

мұндағы Δl_0 – сызықтың кеңеюі; l_0 – бастапқы сызықтың өлшемі, ΔT бастапқы T_0 және соңғы T_k температуралар айырымы $^{\circ}\text{C}$; α_{op} – қарастырылушы температуралар (интервалында) аралығында сызықтың кеңею температуралық коэффициенті, $1/^{\circ}\text{C}$. Іс жүзінде сызықтың кеңею температуралық коэффициенті температураға байланысты өзгеруде болады, әсіресе аллотропиялық түрленуде металл кристал торының өзгеруі кезінде. Есептеуде температура интервалында α_{op} коэффициенттің орташа мәні алынады.

(2.23) көрінетіндей, қыздырылуда металдың салыстырмалы ұлғаюы

$$\frac{\Delta l_0}{l_0} = \alpha_{op} \cdot \Delta T \quad \text{немесе} \quad \frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta T.$$

Еркін ұлғаю мүмкін болмаған жағдайда, металда сығу кернеуі қалыптасы және кернеу шамасы

$$\sigma = \alpha E \Delta T, \quad (2.24)$$

мұндағы σ – қысым кернеуі; E – серпімділік модуль, нақтылы металл үшін; α – температуралық ұлғаю коэффициенті. Серпілік модуль E және температура өсуі ΔT шамасы белгілі болғанда қысым кернеуі шамасы есептеліп шығарылады. Егер кернеу шамасы металға тән аққыштық шегі кернеуінен төмен болса ($\sigma < \sigma_T$), онда тек серпімділік деформация орын алып суытылған соң, ешқандай тұлғалық, мөлшерлік өзгеріс орын алмайды. Ішкі кернеу шамасы аққыштық шегі кернеуінен артық болса ($\sigma > \sigma_T$), онда пластикалық деформация орындалады да, бұйымда тұлғалық және мөлшерлік ауытқулар болады. Нақтылы металдың ақыштық шегі кернеу шамасы белгілі болса, металға аталған шамаға тең не одан жоғары кернеу орын алатын қыздыру температурасында (2.24) есептеп шығаруға болады. Пісірілген жалғастың әр учаскелерінің қатандығы бірдей емес, сондықтан олардың деформациялануында бірдей болмайды.

Қатандығы жоғары аумақта тұлғалық деформация Δ_f төмен шамалы, бірақ ішкі деформация $\Delta_{\text{іш}}$ шамасы орын алуы ықтимал.

Температура жоғарылаған сайын, түйіршіктер аралығында, шекарада деформацияға қарсылық төмендеуінің қарқыны түйіршіктер денесіндегіден басымдылықты болып келеді. Түйіршіктер ішкі аумағындағы созымталдық мүмкіндігі, шекаралық созымталдық мүмкіндігінен артық болады. Сондықтан жоғары температурада тұтастық күйреуі (сызаттану) әдетте көбінесе түйіршіктер шекарасында өтеді.

Пісіруде жергілікті қыздырумен шағын көлемді металл балқытылады, ваннада металл (қорытпа) температурасы (T_k), оның балку температурасынан ($T_{\text{бл}}$) жоғары ($T_k > T_{\text{бл}}$), ал қорытпаны пісіруде жүйенің күй диаграммасына сәйкес ликвидус температурасынан (T_l) жоғары ($T_k > T_l$) болып келеді. Ваннаға шектес аумағы жылу таралу заңдылығына сәйкес, жоғары температураға T'_k таза металда балку температурасынан ($T'_k < T_{\text{бл}}$), қорытпада солидус температурасынан ($T'_k < T_c$) төмен қыздырылады. Қыздырылған аумақта металдың термиялық ұлғаюы орын алады. Төмен қыздырылған аумақ жоғары температураға қыздырылған аумақтың термиялық ұлғаюына кедергі болады. Нәтижесінде, қысым кернеуі (сыртқы күш әсерінен емес) орын алады, металдағы кернеудің бұл түрі ішкі кернеу болып табылады. Қыздырылған аумақтағы фазалық құбылыстар өтуінің көлемдік бірыңғайлы болмауынан, кернеу орын алады да жалпы ішкі кернеу шамасы өседі. Кернеу шамасы сәйкес температурада қорытпа ағымдалу шегі кернеуінен жоғары болса, онда бұйымда пластикалық деформация орын алады. Ванна металының кристалдануында суытылу жылдамдығының бірқалыпты болмауынан, кристаллиттер өсуінде қатты және сұйық фаза араласы кезеңінен толық катаю кезеңінде құрылымдық айырмашылықтар орын алады. Сондықтан, пісірілген жалғаста жік металы мен жік аумағында (термиялық әсер аумағында) орын алуы ықтималды деформация толық қамтылып қарастырылады, мұндағы процестер өзара байланысты.

Ванна металының кристалдануында әдетте қорытпалар қолданатындықтан, екі фазалы қатты-сұйық күй орын алатынын ескеру керек. Таза металдың кристалдануында процесті теориялық қарауда бір фазалы қатты күйде деп қарауға болады.

Қорытпа кристалдануы күй диаграммасына сәйкес ликвидус (T_L) және солидус (T_C) температуралар аралығында өтетіні белгілі. Бұл температура аралығында металл сұйық (балқыған) күйден сұйық-қатты, одан соң қатты-сұйық (қатты күй үлесті басымдықты) және қатты күйге ауысады. Сұйық күйінде металдың созымталдығы (тұтқырлыққа кері шама) жоғары. Температура төмендегенде ($T < T_L$) жекеленген кристаллиттер қалыптасуына байланысты (сұйық-қатты күй), металда созымталдық кемиді, бірақ сұйық фазаның үлестік басымдылығына орай, созымталдық шамасы жоғары болып келеді. Температура төмендеу барысында кристаллиттер өсуі өріс алып, олар өзара ұласып қатты күйдегі қаңқа қалыптасып, кристаллиттер тарамдары дендриттер арасы балку температурасы төмен құраммен байытылған сұйық фазамен толтырылған болып келеді. Бұл жағдайда қорытпа созымталдығы үлесті басымдылықты қатты қаңқа созымталдығымен анықталады. Егерде кристаллиттер созымталдығы жеткіліксіз болса, олар сызатталып үзілсе, онда сұйық фаза саңылауды толтырып, кристалдану жалғаса береді. Мұны сұйық фазаның «шипалығы» дейді. Көлемінің азайтылуы нәтижесінде, сұйық фаза кристаллиттер тарамы аралығында жұқа үлдір қабат күйіне келеді. Кристаллиттердің тұтастығын бұзбай (сызаттанбай), деформациялану мүмкіндігі төмендейді. Металдың пластикалық (созымталдық) қасиетінің ең төмен болу кезеңі қатты-сұйық күйінде, негізгі кристаллиттер қаңқасы қалыптасып, температуралық сызықты ұлғаю коэффициенті α шамасымен анықталатын сызықтық және көлемдік шөгу процесінде орын алады. Металл толық кристалданған соң, оның созымталдығы өседі. Металдың төмен созымталдығы солидус температура-сынан төмендеу аумақта, бұл аумақ «нақтылы» солидус деп аталады, орын алады және морттану температура интервалы (МТИ) деп аталады. МТИ шамасы қорытпаның күй диаграммасына тәуелді.

Кристалдану жылдамдығының (суытылу жылдамдығының) жоғары болуы сындық температураның төмендеуіне алып келеді де, күй диаграммасымен салыстырғанда. Нәтижесінде, қатты-сұйық күй температуралық аумағы МТИ кеңейеді. Осыған орай, металдың қатты-сұйық күйінде сызаттану (ішкі тұтастығының бұзылу) ықтималдығы өседі. Жоғары температурада осылай сызаттану *кристалдануда сызаттану* болып аталады. Қатты-сұйық фазалық күйдің температура интервалын қорытпа құрамында орын алатын кейбір қосындылар кенейтеді. Мысалы, болатта (темір негізде қорытпаларда) күкірт шамасы жеткілікті болғанда эвтектика Fe-, FeS, әсіресе Fe-, FeO-, Fe, S эвтектика қалыптасқанда нақты солидус температурасы 1000 °C шамасына дейін төмендейді. Нәтижесінде, морттану температура интервалы (МТИ) 500 °C-қа жуық шамада болуы мүмкін. Осыған орай, болат жоғары температурада сызаттанады. Бұл құбылыс болаттың қызылсынғыштығы болып аталады. Күкірт болаттың қызылсынғыштық ықтималдығын өсіретін зиянды қоспа болып табылады. Сондықтан, пісіру ваннасында күкірт шамасын төмендететін химиялық реакция өтуін қамтамасыз ету шаралары қолданылады.

Металдың тұтастығын бұзбай (сызаттанбай), деформациялану мүмкіндігі *деформациялану қабілеті* деп аталады. Кристалдану процесі аяқталып, жік металы толық қатайғанда оның деформациялану қабілеттілігі өседі. Бірақ солидус температурасынан төмен суытылуда металдың деформациялануға жоғары қабілеттілігі сақталмауы, оның төмендеуі орын алады. Қатайған металл созымталдығының төмендеуі екі гипотезаға негізделіп қарастырылады: полигонизациялану және түйіршіктер шекарасының кезуі. Бірінші гипотеза – полигонизациялану кристалдануда металл құрылымында көптеген ауытқулар, кристал торында бос орын, дислокациялар, т.б. болуымен байланысты қарайды. Жоғары температурада дислокациялардың қозғалмалылығы жоғары. Сыртқы, ішкі кернеулер әсерімен және дислокациялардың өзіндік кернеу өрістерінің өзара әсерлесуімен дислокациялар қозғалысы олардың төмен шамалы бұрышпен (әдетте 1⁰-тан

төмен бұрышпен) түйіндесіп, дислокациялы қабырға қалыптасады. Нәтижесінде, кристалда жаңа ішкі меже қалыптасады, мұны екінші реттік шекара деп атайды. Осындай кристаллиттердегі екінші реттік шекаралар металдың жоғары температурада деформациялану қабілеттілігін төмендетеді. Осылайша, кристаллитте жаңа шекаралардың солидусқа жуық температурада қалыптасуы, суытылу барысында деформациялануды $(\Delta l/l_0 = \alpha \cdot \Delta T)$ қамтамасыз етуге жеткіліксіз болып ыстықта сызаттану орын алады. Мұны солидусқа жуықта сызаттану (кейде полигонизациялануда сызаттану) деп атайды.

Екінші гипотеза негізделуі металл ішкі энергиясының түйіршіктер шекаралық жалпы ұзындығы кемігенде (қысқарғанда) төмендеуімен байланысты қаралады. Жоғарыда айтылған ішкі энергия кему (төмендеу) заңдылығына сәйкес шекаралық жалпы ұзындық қысқартуы орын алады. Мұнда кейбір түйіршіктердің іргелес түйіршікті «жұтуы» арқылы түйіршіктер аралық шекара жойлып, түйіршіктер мөлшері өседі, түйіршіктер мөлшері ұлғайады. Бұл құбылыс жоғары температурада атомдардың диффузиялық қозғалысы елеулі жағдайда өтеді. Шекаралық кезу нәтижесінде, мұнда құрылымдық ауытқулар мен қоспа атомдардың шоғырлануы әсерінен суытылуда пластикалық деформациялануы әсерінен суытылуда пластикалық деформациялану қабілетінің төмендеуі орын алады. Жоғарыда келтірілген кристалдануда және солидусқа жуық температурада металдың сызаттануы әсіресе таза металдар және кристалдануда алғашқы қалыптасатын бірфазалы қатты ерітінділерде басымдылықты орын алады. Кристалданған қорытпада айырықша екі қатты фаза болуы (мысалы, болатта аустенит және феррит түйіршіктер аралығында) жаңа шекара пайда болуына кедергі болады, сондықтан температура солидустан төмендегенде созымталдықтың елеулі төмендеуі орын алады.

Ыстықта, кристалдануда, солидусқа жуық температура да, сызаттану кристаллиттер аралықта орын алады, металл тұтастығының бұзылуы түйіршіктер аралығында, шекарада өтеді.

Кейбір қорытпаларда солидусқа жуық температурада деформациялану қабілеті төмендеуімен қатар, солидустан елеулі төмен температурада деформациялануға қабілеттік төмендеуі орын алады. Мысалы, қорғасынның төмендетілген (солидустан төмен) температурада мыстан бөлінуі нәтижесінде қорытпаның деформациялану қабілетінің төмендеуі. Солидустан едәуір төмен, әдетті температурадан жоғары температуралық аралық орташа температуралық интервал болып келеді. Осы температуралық интервалда қорытпаларда құрылымдық өзгерістер орын алады да, нәтижесінде металдың созымталдығы төмендеп, морттануы ықтимал болады. Осындай құбылыс орын алатын температуралық интервалды морттанудың орташа температуралық интервалы деп (МОТИ) атайды. Пісіруде металдың МОТИ жік металында және жікке іргелес сындық температурадан жоғарғы қыздырылған негізгі металда – термиялық әсер аумағында жиі кездеседі. Сондықтан пісіру процесінің технологиясында бұл жағдай мұқият ескеріледі.

Жоғарыда айтылғандай, пісіру процесінде бұйымға жылу келтіру шоғырланған, жергілікті болатындықтан металл көлемінде температура таралуы λ температура өрісіне де, қыздырылу жылдамдығы да, суытылу жылдамдығы да біркелкі емес. Сондықтан қыздырылған аумақтың еркін ұлғаюына салқын аумақ кедергілік тудырып, сығымдау кернеуі, салқындауда металдың еркін шөгуіне кедергіліктен керу кернеуі деформация шамасы металдың деформациялануға қабілеттілігінен төмен болса, пісіру аумағында металл тұтастығы бұзылмай суытылады. Қалдықты ішкі кернеу, қалдықты деформация орын алуы ықтимал. Егер орын алған деформация шамасы металдың деформациялану қабілеттілігінен жоғары болса, бұйымның жергілікті (шағын аумақта) тұтастығы бұзылады – сызаттану орын алады. Жоғары температурада сызаттану металл құймаларда да (тек қана пісіру ваннасы металы және жік аумағында емес), әсіресе құйма тұлғасы күрделі болғанда орны алады. Бұл құбылыс ыстықта сызаттану болып аталады.

Пісірілген металдың ыстықта сызаттанбай қалыптасуы, яғни жік және жікаумағында металдың жоғары температурада

серпімді-пластикалық деформациялануда тұтастығын бұзбай, сызаттанбай қалыптасуы *пісіру процесінде металдың технологиялық беріктігі болып аталады*. Пісіруде металдың технологиялық беріктігі көп факторлы. Мұнда қорытпаның күй диаграммасы, қыздыру және суыту жылдамдығы, құрылымның қатаңдығы мен тұлғалық күрделілігі, металл қалыңдығының мәні зор. Өз кезегінде бұйымның қыздырылу және суытылу жылдамдығы пісіру ережесінің параметрлеріне – ток және кернеу шамасы, электрод диаметрі, ток тығыздығы, пісіру жылдамдығы, т.с.с. тәуелді. Сондай-ақ, қорытпа құрамы мен ондағы күй диаграммасына сәйкес құрылымдық құбылыстардың да әсері мұқият ескеріледі. Сондықтан металл және қорытпалардың пісіруде технологиялық беріктігі эксперименталды анықталады және осы мақсатта жүргізілетін эксперименттің ғылыми негізделген бірнеше тәсілдері бар. Бұл зерттеулер нәтижесінде, нақтылы қорытпа, металды пісірудің сапалы жік және жалғас қалыптасуын қамтамасыз ететін пісіру ережесі параметрлері анықталады. Анықталған пісіру ережесі және материалдарымен сапалы жік және жалғас қалыптастыру қабілеттілік қасиеті металдың *пісіруге технологиялық бейімділігі* болып аталады. Қазіргі өнеркәсіп, құрылыс, техника салаларында кен қолданылатын болат түрлері, түсті металдар және олардың қорытпаларының пісіруге технологиялық бейімділігі, яғни пісіру материалдары мен технологиясы, анықталған. Сонымен қатар, қорытпалар қатары үздіксіз жаңа маркаларымен толықтырылуда. Сондықтан жаңа материалдың пісіруге технологиялық бейімділігін анықтау қажеттілігі де үзіліссіз және осы бағытта зерттеулер де ұдайы.

Пісіруде металдың ыстықта және салқында сызаттануы. Металдың кристалдану, одан кейінгі сууында қысқару деформациясы орын алады. Нақтылы жоғары температура шамасына сәйкес металдың шекті деформациялану мүмкіндігі бар. Металдың қыздыру, суу процесінде орын алатын деформация шамасы металдың шекті деформациялану мүмкіндігінен артық болса, деформация аумағында металл тұтастығы бұзылуы, сызаттану орын алады. Бұл құбылыс – ыстықта сызаттану болып аталады. Ыстықта сызаттану

металлургияда бірқатар қорытпаларда кристалдануда қалыпта орын алады, әсіресе кристалдану қалпының тұлғасы күрделі болып келсе. Жалпы ыстықта сызаттануға металдың жылуфизикалық қасиеттерімен қатар металдың кристалдану және суытылуда деформациялану мүмкіндігі әсер етеді.

Пісіруде металдың ыстықта сызаттануға бейімділігі бұйым құрылымы, қалыңдығы және металдың кристалдану мен жоғары температура аумағында деформациялану шарттарына тәуелді. Пісіруде ыстықта сызаттану кристалдануда сызаттану және солидусқа жуық температурада сызаттану болып ерекшелінеді.

Металдың ыстықта сызаттанбай, жік қалыптастыру яғни жік металы және жік аумағы металының пісірудегі жоғары температурада бұзылмай (сызаттанбай), серпімді-пластикалық деформациялануға қабілеттілігі, металдың *пісіруде технологиялық беріктігі* болып аталады.

Жалпы алғанда, пісірудегі морттық температура интервалында металдың нақтылы деформациясы Δ_{ϕ} тек қана металдың температуралық ұлғаю коэффициентіне α тәуелді емес. Сонымен қатар пісірілетін бұйым қатаңдығына және пісіру ережесіне тәуелді.

Пісіру ережесі бұйымдағы температура өрісін анықтайды, нәтижесінде ваннадан тыс орналасқан балқытылмаған металл кристалданушы ванна металының қосымша деформациялану таңбасын (қысу немесе созу) өзгертуі мүмкін. Бұл өзгерту нақтылы пісіру ваннасы көлденең қимасынан жылу көзі өткеннен кейінгі уақыттың әртүрлі кезеңінде орын алады. Осы тұрғыдан қарағанда, пісірудің жылулық ережесі (пісіру жылдамдығы баяу, алдын ала қыздыру, т.б.) қолайлы жағдай, алайда кристалданушы металдың созымталдық қасиетіне оң да, теріс те әсер етеді. Температура төмендеу барысында кристаллиттердің негізгі қанқасы қалыптасуы кезеңінен бастап, жоғары температура аумағында (суу уақыты қысқа) жылулық еркін деформациясымен Δ_T және нақтылы деформация Δ_{ϕ} арақатынасында екі негізгі вариант орын алады: а) $\Delta_T < \Delta_{\phi}$; б) $\Delta_T > \Delta_{\phi}$. Металл тұтастығының бұзылуы – сызат қалыптасуы металдың деформациялық қабілеті белгілі температуралы нақтылы учаскедегі жалпы деформациядан төмен болғанда орын алады.

Ыстықта сызаттануға жол бермеудің жоғары сенімді тәсілдерінің бірі – пісіруде сызаттануға қарсы тұрақтылығы жоғары металды таңдау. Бұл мақсат сызаттану ықтималды температура аралығында металдың деформациялық қабілетін өсіру арқылы немесе қозғалысты сұйық (балқытылған) металдың жеткілікті болуы арқылы сызатты жою. Соңғы мүмкіндікте әсіресе кристалданушы металда жеңіл балқитын эвтектика болуының және металл морттығының температуралық интервалының маңызы зор.

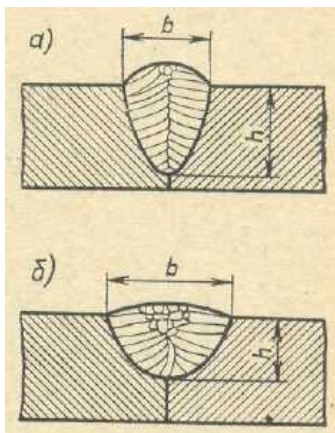
Айтарлық бір жағдай, ыстықта сызаттануға қарсы металдың тұрақтылығын өсіретін жеңіл балқитын эвтетика қалыптастыратын элемент қосу қолайлы бола бермейді, себебі, мұндай қоспалар қорытпаның эксплуатациялық қасиеттері үшін теріс әсерлі болуы мүмкін. Мысалы, болатта күкірт жоғары болғанда кристалдануда сызаттануға жол бермеуге болады, бірақ жік металының механикалық қасиеті елеулі төмен болып шығады.

Әдетте жік металында зиянды қосынды күкірт, фосфор концентрациясын төмендетеді немесе оларды балку температурасы жоғары, берік химиялық қосындылар түзеп қожға ауыстырады. Төменкөміртекті болатты электрдоғалы пісіруде көміртек күкірттің жік металында сызат беру қабілетін күшейтеді, марганец – бәсеңдетеді. Марганецтің бұл оң ықпалы күкіртті баяу балқитын қосындыға MnS ауыстыруына байланысты. Күкірт MnS қалыптастырылуына орай, бос күйіндегі күкірттің жеңіл балқитын эвтектика $Fe-FeS$ қалыптастыруға жеткіліксіз болады. Нәтижесінде күкіртке байланысты ыстықта сызаттану орын алмайды.

Кристалдануда және солидусқа жуық температурада сызаттануға бір фазалы қорытпаларда бейімді болады, мысалы аустенитті болаттар, никель қорытпалары. Мұндай қорытпалар құрылымында екінші фаза қалыптасуы (әдетте феррит, кей жағдайларда карбид) қорытпаның ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығын өсіреді. Феррит фаза түйіршіктерді майда (мөлшерін кемітеді) етеді, қосынды қоспаларды (S , P , Si , т.б.) жақсы ерітеді, аустенит түйіршіктерін қосымша беріктейді. Хромникельді аустенитті және никель қорытпаларында Cr және

Ni шамасын реттеу арқылы ыстықта сызаттануға қарсы қорытпа төзімділігін өсіруге болады. Хром ферриттендіруші, ал никель аустениттендіруші элементтер.

Пісіру материалдарын дұрыс тағайындау арқылы эксплуатациялық қасиеттері жеткілікті жоғары және пісіруде ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығы қажетті деңгейде жалғас қалыптастыруға болады.



2.13-сурет. Пісірілген жік тұлғасы көрінісі

Жік металының ыстықта сызаттануына жол бермеу немесе оны шектеудің технологиялық тәсілдері бар. Осы мақсатта төмен және орташа легіріленген болаттарды пісіруде бұйымды алдын ала қыздыру, аустенитті болаттар үшін пісірудің қатаң ережесін қолдану және жік тұлғасының оңтайлы қалыптасуын камтамасыз ететін пісіру ережелері қолданылады. Жік тұлғасының оңтайлы қалыптасуын бағалауда жік ені σ мен балқыту тереңдігі h қатынасы алынады.

Металл құрамы бірдей болған жағдайда балқыту тереңдігі жоғары, ені аз яғни σ/h мәні аз, жік ыстықта сызаттануға бейімділігі жоғары болып келеді. σ/h қатынасы өскен сайын, мысалы $1,5 < \sigma/h < 3$ аралығында, жіктің ыстықта сызаттануға қарсы төзімділігі өседі.

Жік металының ыстықта сызаттануға бейімділігін анықтаудың бірнеше сынау тәсілдері бар. Технологиялық сынау тәсілдерінде әртүрлі пісіру материалдары мен салыстырмалы жағдайда (үлгінің мөлшері, тұлғасы, пісіру ережесі, т.б.) пісірілген жалғастарды сынау арқылы салыстырмалы сипаттамалар алынады.

Сандық әдістемеде үлгіні сынауда жік металының ыстықта сызаттануға бейімділігі (немесе ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығы) сан көрсеткіштермен сипатталады. Осындай көрсеткіштер алу үшін сериялы сынақтар жүргізіледі. Мысалы, пісіру ваннасының белгілі учаскесінің кристалдануында пісіру үлгісін белгілі жылдамдықпен қосымша мәжбүрлі деформациялау және жалғасты суыту.

Пісірілген жалғаста салқында сызаттану. Бірқатар металдарды пісіруде пісірілген жалғаста жік металында да, жік аумағында да сызаттану орын алады. Бұл сызаттануда сызат пайда болуының басталуы металды қыздырып өңдеу температурасынан елеулі төмен, қоңырсалқын бөлме температурасында немесе одан да төмен температурада байқалады. Сондықтан мұндай сызаттануды салқында сызаттану деп атайды.

Салқында сызаттанудың ең кең тараған түрі жік металының көлденең бағытта сызаттануы, жік аумағында, балқытылған аумақтың көлденең бағытта сызаттануы және балқыту шекарасына параллельді сызаттану, мұны *омырылу* деп атайды.

Әдетте салқында сызаттану деформациялану қабілеті төмен металда, әсіресе түйіршіктер шекарасында орын алады. Металдың деформациялану қабілеті төмендеуі біркелкі суыту орын алмаған жағдайда, және фазалық құбылыстарда, шынығу және пластикалық деформация салдарынан туындайды.

Салқында сызаттану пісірілген жалғас сууы аяқталғанда немесе толық суытылған соң біршама уақыт өткенде (мұны баяулап күйреу деп атайды) орын алады. Сондай-ақ, салқында сызаттану пісіруде суыту барысында да орын алуы мүмкін.

Салқында сызаттануға әсіресе бейімділікті температура шынығатын болаттарды пісіруде аустенит негізінен ыдыраған, бірақ қалдықты аустениттің ыдырауы жалғасу температурасы. Әдетте бұл 120 °C және одан да төмен температура. Пісіру

аяқталған соң біршама уақыт (ондаған минут, сағат, кейде одан ұзақ уақыт) өткенде салқында сызаттану жиі кездеседі.

Титан қорытпаларында олардың кристалл құрылымының ерекшеліктеріне орай, сызаттану пісіруден едәуір уақыт апта, ай өткен соң орын алады.

Шынығатын болаттарда салқында сызаттану созымталдық қасиеті төмен металл құрылымдардың қалыптасуымен, сонымен қатар сутек әсерімен байланысты. Сутек балқытылған металда мол ериді, металл қатая бастағанда бөлініп шығып, жік аумағына келеді де сызаттануға себепкер болады.

Жеткілікті қатаңдықты пісірілген жалғаста температура төмендеген сайын ішкі кернеу өседі және пластикалық деформацияның жинақталуы орын алады. Осыған орай, салқында сызаттану мүмкіндігі орын алады, егер металдың созымталдығы жеткіліксіз болса, сызат қалыптасады. Металдың созымталдық қасиеті төмендеу температура интервалы кеңейгенде және созымталдық минимумы бөлме температурасы бағытына жылжығанда салқында сызаттану ықтималдығы өсе түседі.

Сутек, болат құрамында оның бузылу жұмыс шамасын қосымша төмендетеді, металды морттандырады да сызаттануға сезімталдықты өсіріп, салқында сызаттануға ықпал етеді.

Шынығатын болаттарды пісіруде салқында сызаттануына қарсы қолданылатын тәсілдер бар:

- пісіруде металдың шынығу дәрежесін төмендету;
- жік металы және жік аумағында сутек шамасын төмендету;
- сызаттануға бейімді емес металда жік аумағында сутек шамасын төмендету.

Пісірілген жалғаста, әсіресе жік аумағы металының шынығуға бейімділігін төмендетудің негізгі тәсілі, пісіруден соң суу жылдамдығын төмендету. Суу жылдамдығын төмендету тәсілдері пісіруде метр ұзындыққа келетін жылу қуатын өсіру немесе бұйымды алдына ала қыздыру.

Пісіруде метр ұзындыққа келетін жылу қуатын өсіру нақтылы пісіру тәсілі және пісіру жағдайына (шарттарына) байланысты шектеулі мүмкіндікті. Сондықтан пісіруде

металдың (бұйымның) суу жылдамдығын төмендетудің негізгі тәсілі бұйымды алдын ала қыздыру. Мұнда пісіру жылу көзінің нобайы (нүктелі, сызықты) қандай болса да суу жылдамдығы, $(T-T_0)$ температуралар айырмашылығы азаюына байланысты төмендейді.

Алдын ала қыздыру дәрежесі болаттың құрамына тәуелді, мұнда болат құрамындағы элементтердің оның шынығуға бейімділігін көміртекке эквивалентті C_3 қарастырады. Эквивалентті көміртекті (2.24) теңдігімен есептейді.

$$C_3 = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Cr\%}{5} + \frac{V\%}{5} + \frac{Mo\%}{4} + \frac{Ni\%}{15} + \frac{Cu\%}{13} + \frac{P\%}{2}, \quad (2.24)$$

мұнда мыс $Cu \geq 0,5\%$, фосфор $P \geq 0,05\%$ болғанда ескеріледі.

C_3 мәнін алдын ала қыздыру температурасын анықтау тәсілдерінің арасында Д. Сефериан ұсынған тәсіл мақсатқа сәйкес. Д. Сефериан ұсынған есептеуде, металдың химиялық құрамын ғана емес, оның қалыңдығымен байланыстыру және қажетті алдын ала қыздыру температурасын есептеу теңдігі ұсынылған.

Есептеудің бұл сұлбасында санды көрсеткіштер бірқатар болат маркаларын зерттеуде эксперименттер жинағының нәтижесіне негізделген.

$$T_M = 550 - 360C_3, \quad (2.25)$$

мұндағы T_M – мартенсит құрылымға ауысу температурасы, $^{\circ}C$;

C_3 – болаттағы эквиваленттік көміртек.

$$C_3 = C\% + (1/9)(Mn\% + Cr\%) + (1/18)Ni\% + (1/13)Mo\%. \quad (2.26)$$

Металл қалыңдығы (δ , мм) әсері төменде берілген түзетумен ескеріледі

$$C'_3 = 0,005\delta C_3. \quad (2.27)$$

Сонда көміртек толық эквиваленті

$$C''_3 = C_3 + C'_3 = C_3(1 + 0,005\delta), \quad (2.28)$$

Пісірілетін бұйымды алдын ала қыздыру температурасы төменде келтірілген формуламен анықталады

$$T_{\text{кыз}} = 350\sqrt{C''} - 0,25, \quad (2.29)$$

АҚШ-та егер $C_3 > 0,45 \div 0,55$ болса, бұйымды алдын ала қыздыру ұсынылады.

Жапон зерттеушілері металдың сызаттануға бейімділігін анықтауда, бұйымның қалыңдығымен қатар металдағы сутек шамасын есепке алуды қолданған. Металдың салқында сызаттануға бейімділігін P_c төменде келтірілген теңдікпен есептеуді ұсынған:

$$P_c = C\% + \frac{Si\%}{30} + \frac{Mn\%}{20} + \frac{Cr\%}{20} + \frac{Ni\%}{60} + \frac{Cu\%}{20} + \frac{Mo\%}{15} + \frac{V\%}{20} + \\ + 5B\% + \frac{\delta^2}{600} + \frac{H}{60},$$

мұндағы δ – пісірілетін болат қалыңдығы, мм;

H – жік металында сутек концентрациясы, $\text{см}^3/100\text{г}$.

Алдын ала қыздыру температурасы мынадай теңдікпен есептеледі: $T_{\text{кыз}} = 1440 P_c - 392$ °C (ауа температурасы 13-25°C болып алынады).

Салқында сызаттану тек шынығуға бейімді болаттардан жасалған пісірілген жалғастарға тән емес. Басқа да пісірілген жалғастарда салқында сызаттану орын алады. Мұндай сызаттану шойынды пісіруде жиі орын алады, әсіресе шыныққан, ақ шойын құрылымды аумақта шойынның созымталдығы төмен болуына және пісіру процесінде қалыптасатын деформацияға байланысты.

Титан қорытпаларын α – құрылымды пісіруде тепе-теңдіктен артық сутек металдан бөлініп шықпайды, 300 °C-тан төмен температурада гидридтер қалыптасады. Гидридтердің тығыздығы титан тығыздығынан төмен. Сондықтан құрылымдық кернеу қалыптасады. Сонымен қатар, металдың салқында сызаттануға бейімділігі өседі. Мұндай сызаттар пісіру процесі аяқталған соң ұзақ уақыт өткенде (кейде айлар) пайда болады. Титан қорытпаларының салқында сызаттануға бейімділігі оттек

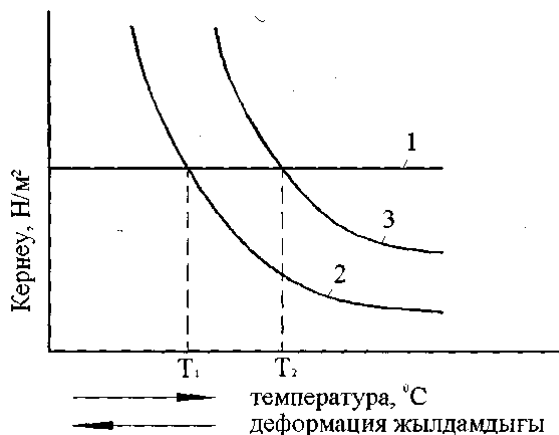
$> 0,15\%$, азот $> 0,05\%$ болғанда күшейеді. Салқында сызаттануға бейімділікті пісірілген жалғас құрылымына байланысты кернеу шоғырлануы да өседі.

Өндірісте қолданылатын жеңіл, беріктігі жоғары алюминий қорытпаларында ең жоғары беріктік қорытпаны екі қайталап термоөңдеуден кейін қалыптасады. Пісірілген жалғаста жік және жікаумағы металы пісіру циклі жылулығы әсерімен қосымша шынығудан өтеді. Бөлме температурасында қорытпаның ескіруі салдарынан металл морттанады және осы аумақта сызаттану жиі орын алады. Бұл сызаттар, титан қорытпаларындағыдай, пісіру процесі аяқталуымен өтпейді, біршама, кейде ұзақ уақыт өткен соң қалыптасады. Салқында осылай сызаттануды баяуланған сұлбалы бұзылу деп атайды.

Төменлегіріленген болаттардан және бірқатар қорытпалардан пісіру тәсілімен әртүрлі құрылымдар өндіруде салқында сызаттану кең тараған ақаулық. Сондықтан бұйым өндірілетін металды, пісіру материалдарын, пісіру технологиясын мұқият тексеру, бақылау қажет.

Пісірілген жалғас металының морттануы. Металдың күйреуі созымталдылықты (тұтқырлы, пластикалық) немесе морт болады. Екі жағдайда да күйреу микротүйіршік денесінде өтеді, тек кейбір екіфазалы немесе көпфазалы қорытпаларда, олардың морт құрылысы, мысалы, карбид немесе интерметаллиттер, микротүйіршіктерде немесе микротүйіршіктерді қоршап тор тәрізденіп орналасады. Бұл жағдайда күйреу микротүйіршіктер шекарасында өтеді. Созымталдықты (пластикалық, тұтқырлы) күйреу елеулі пластикалық деформацияланумен, әдетте сыртқы күш әсерімен салыстырмалы баяу жылдамдықпен өтеді. Морт күйреу текше кристалл торының қырынан опырылу түрінде өтеді. Морт сызаттану таралу тездігі жоғары типті оған сырт күштер әсер етіп үлгермейді. Осыған орай, сызаттануда жаңа беттің қалыптасуына қажетті энергия металда жинақталған серпімділік энергиясымен анықталады деп саналады. Морт сызаттанудың елеулі сырт жүктемесі әсерінсіз пайда болуы, морт күйреудің пісірілген монолит жалғасы үшін өте қауіпті болып табылады. Сондықтан металдың морт күйреу күйіне ауысуына жол беруге болмайды.

Күйреудің жоғарыда айтылған екі түріне орай металл қарсылығын екі түрі туралы айтуға болады: ысырылуға (тұтқырлы күйреуге) қарсылық және опырылуға қарсылық (морттық беріктік), күйреудің бір түрінен екінші түрге ауысу механизмін былайша түсінуге болады (2.14-сурет).



2.14-сурет

Опырылуға қарсылықтың сынау температурасы немесе жүктемелеу жылдамдығына тәуелділігі елеулі емес (2.14-сурет, 1-сызық). Ығыстыруға қарсылық (ағымдалу шегі) температура өскенде төмендейді немесе жүктемелеу жылдамдығы төмендеген сайын өседі (2-сызық). Сондықтан деформациялау жылдамдығы төмен болғанда, немесе температура жоғары болғанда ағымдалу шегі опырылуға қарсылықтан елеулі төмен, демек материал созымтал. Температура төмендегенде немесе деформациялау жылдамдығы өскенде пластикалық деформациялауға қарсылық елеулі өседі, ал опырылуға қарсылық сәл ғана өзгереді.

Ағымдалу шегі опырылуға қарсылыққа теңелген кезде морт күйреу орын алады. Морт күйге ауысу температурасы T_1 1 және 2-сызықтардың қиылысу нүктесімен анықталады. Сонымен бір материал температура және жүктелу жылдамдығына байланысты пластикалық күйінде немесе морт күйінде болады.

Егер металға сүйір тілік түсірсе, онда тілік түбірінде ағымдалу шегі өседі. Сүйір тілік нәтижесінде ағымдалу шегі бірнеше есе өсті деген болжаммен 2.14-суретте 3-қисық сызық жүргізіледі. Бұл жағдайда металдың морт күйге ауысу температурасы $T_2 > T_1$ бірінші морт күйге ауысу температурасы T_1 -ден жоғары. Сонымен металл бетіне тілік салу морт күйге ауысу температурасын өсіреді. $T_2 - T_1$ температуралық интервалда металдағы тілік тұлғасына тәуелді морт күйге ауысу температурасы жатады.

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес металдың морт күйге ауысу критерийі болып температура және деформациялау жылдамдығы жатады, сонымен қатар металл бетіне салынған тілік әсерінен металдың ағымдалу шегі кернеуінің өсу дәрежесі табылады. Металды морттық беріктікке сынау металдың морт күйреуге бейімділігін немесе морт сызаттанудың таралу (өрістену) қабілеттілігін бағалауға мүмкіндік береді.

Металдың морт күйге ауысуын анықтау әдістемелері:

1) Металдың үлгі сынамаларына сүйірлі әртүрлі тілік салып, оларда теңселмелі копирде күйрету арқылы морт күйреу басталуының температуралық бастапқы шегін анықтау;

2) Арнайы үлгілі сынамаларды құрылымның эксплуатациялау жағдайында күйреуіне иммитациялау арқылы морт күйге ауысу температурасын анықтау.

Жоғарыда келтірілгендерден металдың морт күйге ауысуы кернеу, температура, деформация шамаларының өзгеруіне байланысты. Бұл тәуелділік қорытпаларда күрделі болып келеді. Себебі, қорытпалар басым көпшілікті жағдайда көп фазалы құрылымды. Қыздыру-суыту процесінде фазалық құбылыстар өрбуі салдарынан жік металында кернеу және деформация орын алады да бұйымда іштей кернеу қалыптасады. Фазалық өзгерістерде процестің кинетикасына байланысты тепе-теңдік жағдайға тән емес аралық фазалар қалыптасуы және бұлар морт болуы ықтимал. Мысалы, болатта суыту жылдамдығы жоғары болғанда (қалыңдығы мол болатты пісіруде) аустениттен диффузиялықсыз процесс нәтижесінде мартенсит қалыптасуы. Мартенсит қаттылығы жоғары морт құрылым екені белгілі. Сондықтан болаттың морттануы орын алады.

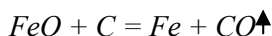
2.5. Жік металында кеуек және бейметалл қоспалар қалыптасуы

Пісірілген жік металында орын алуы ықтималды ақаулар қатарына сызаттармен қатар кеуек және бейметалл қоспалар жатады. Бұл ақауларда металдың қоршаған ортамен әсерлесуі, ванна металының кристалдану процесіне және ваннада өтетін химиялық реакциялар нәтижесіне байланысты орын алады.

Жік металында кеуектер кристалдану кезінде пісіру ваннасында қарқынды газ қалыптасуы өткенде орын алады. Бөлінген газдар балқыған металдан бөлініп шыға бастайды. Ваннаның үстіңгі беті көпіршіктеніп қайнағанда әсер етеді. Бұл құбылыс болат өндірісінде құймаларда да кездеседі және болаттың қайнауы деп аталады.

Ванна металының кристалдану жылдамдығы жоғары болатындықтан, металл қатайғанда шығып үлгермеген газ атом молекулары металда кристаллиттер арасында ұсақ мөлшерлі шар сипатты болып қалыптасады және ванна көлемінде шашыраңқы болып орналасады да кеуектілік пайда болуы деп атайды. Ванна металында газ бөлуінің негізгі екі себебі бар. Бірінші, ваннадағы химиялық реакциялар өнімде газ болуы, екіншіден жоғары температурада балқыған металда ертінділенген газдардың температура төмендегенде бөлініп шығуы. Жоғары температурада газдардың балқыған металда еру мөлшері жоғары. Температура төмендегенде газдың еру мөлшері кеміп, бастапқы газды ерітінді аса қаныққан күйге келіп газдар бөлініп шыға бастайды.

Газ күйіндегі өнім беретін типті химиялық реакция болатты пісіруде темір тогының FeO көміртекпен әсерлесу реакциясы болып табылады. Бұл реакция өту теңдеуі



Ванна құрамында көміртек C неғұрлым мол болса, соғұрлым қалыптасқан газ CO мөлшерде мол болады. Балқыған темірде CO -ның ертінділеуі өте төмен, іс жүзінде орын алмайды деп қарауға болады. Сондықтан ванна көлемі CO -ға аса қанығады, көпіршектеніп ваннадан бөлініп шығады, ванна

металы қайнай бастайды. Егер ваннада тотық және көміртек шамасы аса мол болса, онда CO ванна үстіңгі бетіне жекеленген көпіршік емес газ ағыны сипатты болып келеді. Осындай құбылыс шойынды газ жалынымен пісіруде байқалады. Мұнда ванна түбіндегі мол темір тотығы болғандықтан CO қарқынды қалыптасады. Оның қалыптасу қарқындылығы соншама CO ванна түбінен үстіңгі бетіне жекеленген көпіршік емес, үзіліссіз газ ағыны болып шығады, ванна биіктігінде газ ағыны арнасы қалыптасады, мұны газды арна-түтікше деп атайды. Ваннаның катаю уақыт ұзақтығы жеткілікті болса, арна балқыған металмен толтырылып ваннаның (құйманың) тұтастығы қалпына келтіріледі. Мұны қорытпаның сұйық (балқыған) металмен шипалануы дейді, кристалдану жылдамдығы жоғары болып, катаю уақыты жеткіліксіз болса, ішкі ақаулық қалыптасады. Бұл ақаулық көптеген кеуек немесе сызат (микроөлшемде толтырылмаған екі кристаллиттік беттер аралығы) түрінде болып келеді.

Пісіру ваннасында көміртектің аз шамалы болуы CO қалыптасу реакциясын бәсеңдетеді, осыған орай жік металында кеуек қалыптасу ықтималдығы төмендейді. Сондықтан болатты пісіруде қосымша сым, электрод өндіруге арналған сым құрамында көміртек шамасын төмен етіп өндіреді. Ресейде болат электрод сымдар құрамында көміртек шамасы $C \leq 0,08 \%$ болып өндіріледі, бұл төменкөміртекті болат құрамындағы көміртек шамасынан ($C=0,25\%$) үш есе төмен. АҚШ-тың кейбір фирмалары қолданылатын электрод сым құрамында $C \leq 0,05 \%$ болып келеді, бұл төменкөміртекті болатқа тән көрсеткіштен 5 есеге жуық төмен. Сәйкес пісіру ваннасындағы көміртек шамасы елеулі төмендетіледі, CO қалыптасу мүмкіндігі шектеледі. Сонымен қатар, пісіру ваннасына электрод сым қосымша металл, электрод қаптамасы, флюс арқылы тотықсыздандырушы элементтер (Ti, Si, Mn, Al, т.б.) келтіру арқылы газ CO бөлінуін толық тежеу мүмкін.

Жік металында кеуек қалыптасуының екінші себебі, жоғары температурада балқытылған темірде мол ертінділенген газдар сутек (H_2), азот (N_2) температура төмендегенде металдан бөлініп шығады. Аталған газдардың темірде еруі температураға

тәуелді секіrmелі өзгерісті болып келеді. $\sim 2900^{\circ}\text{C}$ температура 100 г темірде $\sim 50\text{ см}^3$ жуық азот ертінділеді, 1700°C те 40 см^3 , 1600°C та $\sim 10\text{ см}^3$, 1000°C қайтадан өрлеп $\sim 20\text{ см}^3$, 900°C -та $\sim 5\text{ см}^3$ -ге төмендейді. Сутектің (H_2) ертінділенуі де азот сипаттас. 600°C -тан төмендегенде аталған газдардың ертінділенуі елеусіз шамада, нөлге тең болып есептеледі. Секіrmелі өзгеруіне сәйкес аса қыздырылған балқыған темірде азот, сутек шамалары суытылу барысында аса қаныққан күйге өтеді, сәйкес қарқынды газ бөлінуі орын алады, гомогенді сұйықта елеулі қиындықтар туындатады.

Газ молекулалары сұйық металл ортасында дербес көлем алу үшін бөлінген газ қысымы P_2 сыртқысымнан $P_{\text{ст}}$ артық немесе тең болуы керек. Пісіру ваннасы жағдайында сыртқы қысым $P_{\text{ст}}$ атмосфера қысымына $P_{\text{атм.}}$ тең. Айтылғандардан газ көпіршік қысымы теңдеуі төмендегідей болып шығады:

$$P_r \geq P_{\text{ст}} + \gamma_m h_m + \gamma_k h_k + 2\sigma/r, \quad (2.30)$$

мұндағы $P_{\text{ст}}$ – сыртқы (атмосфера) қысымы, Па;

γ_m, γ_k – сәйкесті балқыған металл және қож тығыздығы;

h_m, h_k – газ көпіршік орын алған балқыған металл және қож қабаттарының биіктігі, сәйкес;

σ – металл мен газ шекарасындағы беттік керіліс;

r – бөлінген газ көпіршік радиусы.

Пісіру жағдайында $\gamma_m h_m$ және $\gamma_k h_k$ шамалары жоғары шамалы емес. Теңдіктегі елеулі әсерлі шама ($2\sigma/r$). Егер көпіршік мөлшері өте кіші, $r \rightarrow 0$ жағдайда $2\sigma/r \rightarrow \infty$, беттік керіліс шамасы өсуде болады. Сондықтан металдың сутек, азотпен жергілікті аса қанығуы орын алуында белгілі сындық мөлшерге тең немесе артық сутек, азот (жалпы алғанда газ) көпіршігі қалыптасады. Газ көпіршігі фазалар аралық беттерде қалыптасуы ықтимал. Осындай газ көпіршігі қалыптасуға дайын бет ретінде пісіру ваннасындағы газ түйіршіктері, сондай-ақ сұйық және қатайған металл шекарасының бет алды бола алады. Фазалар шекаралық бетінде қалыптасқан газ көпіршік ұлғайып белгілі мөлшерге жеткенде беттен үзіліп шығып, сұйық ортада көпіршік болады. Кристаллиттер салқын балқымаған металл бетінен негізделіп, тармақталып өсетіні белгілі. Кристаллит

тармақтарының өсу жылдамдығы барлық бағыттарда бірдей емес, олардың ұзындығы да бірдей емес, олардың ұзындығы да бірдей емес. Кристаллиттер тармағының арасын толтырған сұйық металл қуыстағы жағдайда. Тармақты қатты бетте қалыптасқан және беттен үзіліп бөлінген газ көпіршігі өсіп келе жатқан кристаллит тармақтары арасындағы қуыстан ванна үстіңгі бетіне шыға алмайды. Осы айтылған құбылыс алюминий қорытпаларын аргон ортасында ауадан сенімді оқшаулап пісіруде де орын алады. Ауадан сутек келтірілмеу жағдайында да пісіру ваннасына сутек металл үстіңгі бетінде, әсіресе қосымша сым бетінде тотықта адсорбирленген ылғал мол сутек көзі болып келеді. Балқыған жік металындағы ертіленген сутек шамасы газ фазадағы сутектің үлестік қысымы арқылы анықталады және ваннадағы сутек шамасын төмендету үшін газ фазадағы сутек үлесті қысымын P_{H_2} төмендету тәсілдері қолданылады.

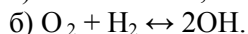
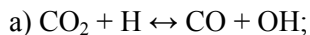
Сутек үлесті қысымын P_{H_2} төмендету тәсілі пісіру материалдарын (қосымша сым, флюс, қаптамалы электрод) ылғалдан, тотық, даттан мұқият тазарту және сутекті металда ерімейтін химиялық қосындыларға байланыстыру. Электрод қаптамасы, флюс құрамы және газ фазаға төмендегідей реакциялар орын алады.

- а) $(CaF_2) + H_2O \leftrightarrow (CaO) + 2\{HF\}$;
- ә) $2(CaF_2) + 3(SiO_2) \leftrightarrow 2(CaSiO_3) + \{SiF_4\}$;
- б) $SiF_4 + 3H \leftrightarrow \{Si F\} + 3\{HF\}$;
- в) $SiF_4 + 2(H_2O) \leftrightarrow \{SiO_2\} + 4\{HF\}$.

Сутекті а) реакциясы арқылы HF қосындыға аударуға болады. Бірақ, SiF_4 қосындының сутекті HF қосындысына келтіруде маңыздылығы жоғары.

Пісіру ваннасының тотықтануы, яғни ваннада тотықтар болуы сутектің металда ертінділенуін азайтады, демек ваннада кеуек қалыптасуын төмендетеді. Кенқышқыл типті қаптамалы электродтармен пісіруде қаптамадағы органикалық құрамдардан едәуір мөлшерлі сутек бөлінеді. Ваннаның тотықтануы да жоғары жік металында $[O_2]_{ж.м.} = 0,05 \div 0,06 \%$ болуы белгілі дәрежеде ваннада сутек ертінділеуін төмендетеді. Газ фазада

сутек тотығуы, химиялық қосынды *ОН* қалыптасуы орын алады. Қосынды *ОН* металда ерімейді. Мұнда төменде келтірілген реакциялар өтеді.



Титанда сутек еруі темірдегі және алюминийде еруінен өзгеше заңдылықпен өтеді. Температураға байланысты сутектің титанда еруі секірмелі құбылысты емес, сутек концентрациясының өзгеруі құламалы көріністі болмайды. Бұл жағдайда сутекті кеуек қалыптасу ықтималдығы төмен. Алайда, титанды аргонмен оқшаулап, электрдоғалы балқымайтын да, балқымалы да электродпен пісіруде газды кеуектер – ұзыншаланған қуыс және сфералық орын алады. Ұзыншаланған қуыс қалыптасуы оқшаулаушы аргон ағынын балқыған металл қармауынан. Ванна орталығында доға әсерімен балқыған металдың жергілікті ығыстырылуы нәтижесінде қалыптасқан ойықшаға ағынды аргон келеді. Доға пісіру бағытында жылжығанда бұрыңғы ойықша балқыған металмен толтырылады. Осы кезде біршама аргон балқыған металмен қармалынып қалуы мүмкіндік. Бұл құбылыс әсіресе пісіру ережесінің оңтайлы болмағанына ықтимал. Ұзыншақты кеуекте тікелей анықтау онда аргон бар екенін көрсетеді.

Жұқа, төмен қалыңдықты титанды пісіруде сфера түрлі сутекті кеуектер орын алады.

Жік металында бейметалл (қож) қосындылар. Жік металында майда қож қосындылар араласуы жиі заңдылықты. Майда қож (бейметалл) түйіршіктер химиялық реакциялар нәтижесі болуы ықтимал. Мысалы, темірді кремний арқылы тотықсыздандыруда SiO_2 ; марганецпен тотықсыздандыруда MnO қалыптасуы. Ірі бейметалл түйіршіктер әдетте кристалдану процесінің мәжбүрлі ауытқуында орын алуы мүмкін. Мысалы, қолдан электрдоғалы пісіруде технологиялық мақсатта электрод әртүрлі қозғалысқа келтіріледі. Электродтың көлденең бағытта тербелмелі қозғалуы, кері бағытқа айналып ілгері қозғалуы кристалл өсуінің маңдай алдында ауытқуларға әкеліп, сұйық

металда қуыстар пайда болуы және бұлардан қож түйіршіктердің үстіңгі бетке шығуы күрделіленуі мүмкін.

Бірқалыпты өтудегі кристалдану процесінде, егер электрод тура ілгерілену бағытында қозғалыста болса, жік металында қож араласуы толық дерлік орын алмайды. Тек флюс төсем қолданып пісіруде балқытылған флюс түйіршіктер ваннаның үстіңгі бетіне қалқып шығып үлгермей, қатайған металда қосындыланып қалып қояды.

Қож түйіршіктерінің ванна бетіне қалқып шығу жылдамдығы түйіршіктер тығыздығына да байланысты, тынық сұйық ортада майда түйіршіктің қалқып шығу жылдамдығы, см/с Сток формуласымен анықталады:

$$\nu = (2/9) \left[r^2 (\gamma_m - \gamma_{ш}) g / \eta \right], \quad (2.31)$$

мұндағы r – қож түйіршік радиусы, см; η – сұйық зат тұтқырлығы; g – ауырлық күші үдеуі, см²/с; γ_m , $\gamma_{ш}$ – сәйкес сұйық металл және қож тығыздығы, г/см³.

Қозғалысты сұйықта келтірілген формула металл мен қож бөлінуінің жалпы беталысын сипаттайды.

Қож түйіршіктерінің іріленуі (коагуляциялануы) мүмкін. Қож түйіршіктері баяу балқитын болса (Al₂O₃, SiO₂), олардың іріленуі де өте баяу өтеді, мұндай түйіршіктер ұзақ уақыт майда түрінде қалады. Жік металында аралас қалған түйіршіктердің мөлшері айырмашылықты болуымен қатар, олардың тұлғасы да әртүрлі болып келеді. Бейметалл қосындылар жік металы қасиетіне теріс әсер етеді, әсіресе соққылық тұтқырлық, соққылық қажу көрсеткіштерін төмендетеді. Түйіршіктер жұмыр тұлғалы болса, олардың металл қасиетіне теріс әсері бәсеңдейді. Егер түйіршіктер сүйір бұрышты, ұзыншақты тұлғалы болса, олардың металл қасиетіне теріс әсері күшейеді.

Бейметалл түйіршікті қосындылардың тұлғасы, іріленуі, ванна үстіңгі бетіне шығуына олардың химиялық құрамы және ваннадағы химиялық реакциялар әсер етеді.

2. БАЛҚЫТЫП ПІСІРУДЕ МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

3.1. Пісірудегі металлургиялық процестер жалпы сипаттамасы

Пісіру аумағында орын алатын процестер. Пісіруде металл ваннасы газ және қож фазаларымен әрекеттесуде болады. Нәтижесінде ваннада металлургиялық үрдістер өрбіп, ол жік металының құрамы мен қасиетінің қалыптасуына шешуші ықпал етеді. Пісіру үрдісінің нәтижелілігін болжамдау, басқару, сенімді ықпал ету үшін пісіру ваннасындағы металлургиялық үрдістерді анық, дұрыс бағалау қажет.

Пісіру ваннасында өтетін процестер химиялық реакциялар сипатында болып келеді. Сондықтан ванна құрамының шешуші мәні бар.

Жік металлының құрамы пісіру ваннасының бастама құрамы (элементтің бастама концентрациясы $[Me]_0$), негізгі және қосымша металл құрамына, флюс (қаптама) құрамындағы металл қоспалар және аталғандардың жік металын қалыптастыруға үлесті қатынасуына тәуелді.

Пісіру тәсілі мен ережесі пісіру аумағында металдың термиялық циклін анықтайды, бұл циклдің сипатамалары ең жоғары қыздыру температурасы, қыздыру және салқындату (суыту) жылдамдығы. Аталған параметрлер пісіру аумағында өтетін үрдістердің термодинамикасы мен кинетикасын анықтайды. Пісіру аумағында өтетін металлургиялық процестерді талдауда металды қыздырудың нақтылы температурасына (максималды немесе орташа) сәйкес термодинамикалық есептеулермен шектелу жиі орын алады. *Мұнда элементтің тепе-тең концентрациясы анықталады.* Үрдістерді бағалау элементтің тепе-тең концентрациясын оның бастамалық концентрациясымен салыстыру негізінде жүргізіледі.

Термодинамикалық есептеуде қыздырудың максималды температурасы анализ жасалған параметрлердің шекті мәнін бағалауға мүмкіндік береді. Электрдоғалы пісіруде максималды қыздыру температурасы белсенді дақтарда орын алады.

Пирометрлік, спектроскопиялық өлшеулер көрсеткендей, максималды қыздыру температурасы материалдың қайнау температурасына жуық болып келеді. Реакциялар тек максималды температурада ғана емес, металл-орта аралығында түгелдей орын алатындықтан, химиялық реакцияларды термодинамикалық бағалау пісіру аумағында металды қыздыру температурасының орташа мәніне сәйкес жүргізіледі. Аз көміртекті болаттарды доғалы пісіруде, калориметрикалық өлшеулер көрсеткендей, пісіру ваннасының металы үшін 1770 ± 100 °C, ал электрод металының балқыған тамшылары үшін $1800\text{--}2400$ °C. Ток тығыздығы өскен сайын, бұл көрсеткіш арта түседі.

Пісіру аумағындағы үрдістерді дұрыс бағалау, талдауға жататын элементтің пісірілген жік құрамындағы есептеумен анықталған шамасын эксперименталды анықталған шамасымен салыстыру арқылы жүргізіледі. Жік металының құрамы пісіру ваннасының бастама құрамына (әлдебір элементтің бастама концентрациясы $[\text{Me}]_6$), пісірілуші және қосымша металл құрамы, флюс (қаптама) құрамындағы металл қоспалар және аталғандардың жік металын қалыптастыруға үлесті қатынасуына тәуелді. Элементтің бастама концентрациясын ысырапты ескермей анықтайды. Алайда, элементтің жік металындағы нақтылы концентрациясы $[\text{Me}]_n$ есептелген бастамалық концентрациядан көп жағдайда алшақ болып келеді. Бұл алшақтық металдың пісіру аумағында булану $\Delta[\text{Me}]_1$ және химиялық реакциялар $\Delta[\text{Me}]_2$ нәтижесінде жік металының құрамын қалыптастыруға пайдалы үлес қоспай ысырап болуында. Бұл құбылысты элементтің ысырап болуы деген жалпы түсінікпен береді және айтылғандардан көрінеді.

$$[\text{Me}]_6 - [\text{Me}]_n = \Delta[\text{Me}]_1 + \Delta[\text{Me}]_2. \quad (3.1)$$

$[\text{Me}]_6$ және $[\text{Me}]_n$ шамаларын салыстыру пісіру аумағында орын алатын үрдістерді кепілді бағалауға мүмкіндік береді.

Мұндай реакциялар өрнегінде квадрат [] жақшада элементтің металдағы концентрациясы, дөңгелек () жақшада кождағы, мәнерлі { } жақшада газ фазадағы концентрациясын көрсетеді.

Пісіру аумағындағы үрдістерді сипаттау үшін элементтердің өткелдік коэффициенті деген түсінік, яғни элементтің сым, флюс, электрод қаптамасы, негізгі металдан жік металлы құрамына өтуін сипаттайтын көрсеткіш қолданылады.

Анықтау әдістемесіне орай элементтің өткелдік коэффициенті оның жинақты мәнін η көрсетуі, немесе элементтің сым электродтан (қосымша сымнан) η_c , негізгі металдан η_{nm} , құрамдарында металл болған жағдайда, флюстен (қаптамадан) өткелденген η_f мәнін көрсетеді. Айта кету керек, $[Me]_c - [Me]_n = 0$ немесе $\eta = 1$ болуы ысырап орын алмайды деген тұжырым жасауға негіз бола алмайды. Сондықтан пісіру аумағында өтетін металлургиялық үрдістерге талдау жасауда булану, тотығу және металдың кожбен әсерлесуіне жеке талдау жасалады. Айтылған үрдістердің сипаттамасы пісіру тәсілі және ережесіне, негізгі және электрод материалының қасиетіне, сыртқы шарттарға тәуелді.

Егер бір элемент $[x]$ -тің балқытылған электрод сым мен негізгі металда олардың флюспен әсерлесу салдарынан өзгеруін сәйкес $\pm \Delta X_{э,с}, \pm \Delta X_{н,м}$, деп белгілесек, онда аталған элементтің жік металындағы қорытынды шамасы $[X]_{ж.м.}$ төмендегі формуламен аныкталады.

$$[X]_{ж.м.} = \gamma [X]_{н.м.} + (1 - \gamma) [X]_{э,с.} \pm \Delta X, \quad (3.2)$$

мұндағы γ – жік металында негізгі металдың үлесті шамасы;

$(1 - \gamma)$ – пісіру жағдайында өзгерген электрод сым металының жік металындағы (балқытылып қосылған) үлесі;

$\Delta[X]$ – металл $[X]$ -тің жік металындағы қорытынды шамасы мен оның есептелген бастамалы құрамы арасындағы айырмашылық. Есептелген жік құрамы үлестілікті шамалары γ және $(1 - \gamma)$ екі металдың араласу ережесі негізінде аныкталады.

Егер металдың кожбен әсерлесуінде құрам өзгеруі $\pm \Delta X$ үлкен болса, онда мұндай флюсті X элементке қатысты белсенді флюс деп атайды. Егер $\Delta[x] \approx 0$ болса, онда флюсті енжар деп атайды.

Құрамында мол SiO_2 және MnO бар флюстер кремний-марганецті тотықсыздандыру процесіне орай, жік металында

оттек концентрациясын өсіреді. Сондықтан кейбір болат маркаларын және белсенді металдарды (титан, алюминий, т.с.с.), арнайы қорытпаларды (Ті және Al-мен легіріленген, қыздыруға төзімді никель қорытпаларды) пісіруде SiO_2 , MnO құрамды флюстерді қолдануға болмайды. Жоғарыда айтылғандарға орай, пісіру жағдайында жеңіл тотықсызданатын тотықтар құрамында жоқ немесе аз шамалы флюстер қолданылады. Құрамында тұрақтылығы жоғары CaO , MgO , Al_2O_3 , т.б. тотықтар бар бұларға CaF_2 араластырылған флюстер, галоидты тұздар негізіндегі оттектесіз флюстер өндіріледі.

Өлдебір флюсті қолдану пісірілетін металл қасиетімен, қорытпа негізі болған металдың оттекке ынтықтығы және легіріленуші қоспалар мен қосындылармен анықталады. Мысалы, титанды және оның қорытпаларын флюс қабатты астында пісіруге оттектесіз CaF_2 негізді флюстер, алюминий және оның қорытпалары үшін – BaCl_2 , NaCl , KCl негізді, ыстыққа төзімді никель қорытпалары үшін – CaF_2 негізді NaF қосылған флюстер қолданылады. Жоғары легіріленген, хром- никельді аустенитті, т.с.с. болаттарды пісіру CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 негізді құрамында SiO_2 минималды флюс қабаты астында жүргізіледі. Орташа легіріленген болаттарды пісіруде әртүрлі флюстер пайдаланылады: құрамында SiO_2 және MnO мол флюстерден CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 салыстырмалы SiO_2 төмен (10 % дейін) жүйелі флюстерге дейін.

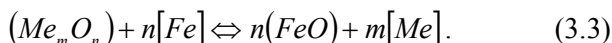
Арнайы пісіру және балқытып қаптастыруда CaCO_3 , CaF_2 тотықсыздандырушы, легірлеуші ұнтақтардан байланыстырушы элемент, әдетте сұйық шыны, қолданып қыздырып қақтаумен өндірілген керамикалық флюстер қолданылады. Бұл флюстердің металмен әсерлесу сипаты электрод қаптамалы әсеріне ұқсас болып келеді.

3.2. Пісіру ваннасының тотығу және тотықсыздануы

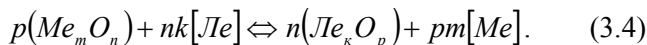
Пісіру аумағында металдың газды ортада және қожда тотығуы мүмкін. Газ ортасының оттегімен балқыған электрод тамшылары және пісіру ваннасының әрекеттесуі элемент тотығының диссоциялану серпімділігі көрсеткішімен $(\text{Po}_2)_{\text{Мел. От}}$

және газды ортада оттектің парциалды қысымымен $\{Po_2\}_{орта}$ сипатталады. Қарастырылатын элементтің газды ортада тотығуы $(Po_2)_{Мел\ O_m} < \{Po_2\}_{орта}$ болған жағдайда орын алады. Мысалы, болатты көмірқышқыл газы ортасында электрдоғалы пісіруде $(PO_2)_{FeO} < \{PO_2\}_{CO_2}$. Нәтижесінде пісіру ваннасы мен электрод материалының тотығуы орын алады.

Пісіру ваннасы мен балқыған электрод материалы тамшыларының әсерлесуін сипаттауда, металдың тотығуы металмен қожда еритін (мысалы, FeO) тотықтардың екі ортада алмасу мүмкіндігі және қож-металл шекаралық ортада химиялық тотығу-тотықсыздану реакциясының өту мүмкіндігі ескерілуі керек. Қож бен металда еритін тотықтардың екі ортада алмасуы белсенді (еріген) оттектің пісіру ваннасы [O] мен қождағы (O) нақтылы концентрациясының көрсеткіштерімен және айтылған екі ортада таратылу коэффициентімен $\beta = (O) / [O]$ сипатталады. Оттектің металдан қожға өтуі – металдың тотықсыздануы $(O) < \beta [O]$ болғанда мүмкін. Келтірілген тәуелділік кері бағытта болса, онда металдың тотығуы орын алады. Қожда, металда ерімейтін тотықтар болса, онда қож-металл шекаралығында төменде келтірілген типті реакция жүруі мүмкін:



Егер негізгі металл немесе электрод сымда легірлеші [Le] элементтер болса, онда қож-металл шекаралығында төмендегі принципті реакция өрбуі мүмкін:



Бұл реакциялардың өрбуі компоненттердің бастапқы концентрациясы, тепе-теңдік константы және константаның температураға тәуелді өзгеруімен анықталады:

$$k_p' = (FeO)^n [Me]^m / (Me_m O_n) [Fe]^n$$

$$k_p'' = (Le_\kappa O_p)^n [Me]^{pm} / (Me_m O_n)^p [Le]^{nk}$$

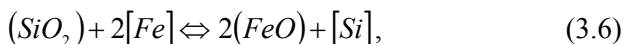
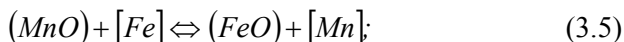
Қожда $(Me_m O_n)$ бастапқы концентрациясы жоғары болса, онда [Me] калыптасу реакциясының өтуіне оң әсер етеді,

керісінше, (FeO) немесе (Fe_xO_y) қожда бастапқы концентрацияларының жоғары болуы жоғарыда келтірілген реакцияларды тежейді.

Реакциялар (3.1) және (3.4) талдауда бұл реакциялардың фазалар шекаралығында өтетінін есте ұстау жөн. Бұл реакциялардың жылдамдығы фазалар шекарасы ауданына, қожбен металл көлеміне және олардың араласу қарқындылығына тәуелді. Соңғы факторлар реакция аумағына компоненттердің келтірілу және қашықтату жылдамдығын анықтайды. Пісіру ваннасының қалыптасуында негізгі металды және электродты балқыту кезеңінде фазалар шекарасының ауданы, қожбен металдың араласу қарқыны жік металының салқындау кезеңіндегіден жоғары болады. Мұнда әсіресе реакция нәтижесінде эндотермиялық өнім қалыптасатын реакциялар жылдамдығы өседі.

Пісіруде тотықтыру-тотықсыздандыру реакцияларын жік металын легірлеу үшін (мысалы, марганец және кремниймен) арнайы жоспарлайды, немесе флюс құрамын жоғарыда келтірілген реакциялар жік металының құрамына әсер етпейтіндей етіп тағайындайды.

Пісірілген жік металын марганец және кремниймен тотықтыру-тотықсыздандыру реакциясы әсерімен легірлеу флюс немесе электрод қаптамасы құрамына марганец және кремний тотықтарын қосу арқылы жүргізіледі. Бұл жағдайда қож-металл шекарасында төменде келтірілген реакциялар орын алады.



бұл реакциялар экзотермиялық сипатты.

Бұл реакциялардың қыздыру кезінде марганец және кремний қалыптастыру бағытында өрбуіне флюсте бастапқы MnO , SiO_2 концентрацияларының жоғары болуы, FeO концентрациясының төмен болуы ықпал етеді. Келтірілген реакциялардың эндотермиялық сипатты болуы да оң ықпал етеді. Пісіру ваннасын келтірілген реакциялар өтуі нәтижесінде легірлеу қарқындылығы темір тотығының металл мен қож аралығында бөлінуіне тәуелді. Пісіруде қышқыл қожды пайдалану FeO -ның металда ерімейтін силикаттар қалыптасуы

нәтижесінде қожға мол ауысуына ықпал етеді. Осыған орай, жік металл ваннасы оттектен ыластанбай, оның Mn, Si-мен легірілену нәтижелілігі өседі.

Пісіруде металл жиек беттеріндегі оттектен есебінен ванна металының тотығуы орын алуы мүмкін. Болатта оттектен мөлшерінің өсуі оның механикалық қасиеттеріне, әсіресе созымталдығына, теріс әсер етеді. Пісірілген жікте кеуек қалыптасу ықтималдығы артады, оған төмендегі химиялық реакция өрбуі себеп болады:



сондай-ақ, жікте қож араласуы және кристалдануда сызаттану орын алуы мүмкін. Сондықтан оттектен концентрациясын төмендету үшін пісіру ваннасының тотықсыздандыру қажеттілігі туындайды. Тотықсыздандыру процесі пісіру ваннасының соңғы кезеңінде жүреді және пісіру ваннасына тотықсыздандырушы элементтер Si, Al, Mn, Ti, т.б. қосу арқылы жүргізіледі. Мұндағы орын алатын реакциялар:



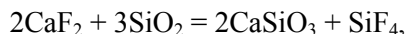
Тотықсыздандыру реакциясы температураның металл кристалдану температурасына дейін төмендеуінде өтетіндіктен пісірілген жік металында қож араласуы орын алуы мүмкін. Жікте қож араласуы, егер қалыптасқан қож сұйық фаза күйінде болса, азайады. Алайда, (3.6), (3.8), (3.9) реакцияларға тән тотықтардың балку температуралары ($T_{\sigma_{SiO_2}} = 1710^\circ\text{C}$, $T_{\sigma_{MnO}} = 1650^\circ\text{C}$) болат балку температурасынан жоғары. Реакция нәтижесінде алынған өнімдер сұйық фазалы болуы үшін комплексті тотықсыздандыру қолданылады.

3.3. Ваннада металдың сутек және азотпен әсерлесуі

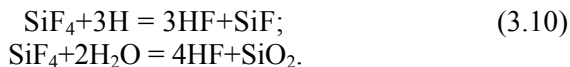
Сутек жік металында кеуектену қалыптасуына ықтималдық береді және пісірілген қосылыстың салқындағанда сызаттануына

әкелуі мүмкін, мұны пісірілген жалғастың салқындық сызаттануы деп атайды. Аталған ақаулықтардың екеуі де сутектің болатта еру шамасы температура төмендеген сайын күрт азаюына байланысты. Сутекті пісіру жігіне енгізетін негізгі қор – ылғал. Пісіру аумағына ылғал (су булары) ауадан адсорбттану нәтижесінде, гидратты су, немесе окшаулаушы газдар құрамындағы судан келтіріледі. Сутектің пісіру аумағына келуін шектеудің бірнеше тәсілдері бар: пісіру аумағына адсорбирленген, гидраттанған суды келтірмеу; сутекті жоғары температурада химиялық тұрақты, металда ерімейтін қосындыларға аудару (HF және OH); пісіру ваннасының металын тотықтандыру.

Пісіру аумағына ылғал кетірілмеудің бірнеше жолдары бар: пісіру алдында қаптамалы электрод, ұнтақты сым және флюостерді қыздырып кептіру; пісіру жиектерін тазарту; құрамында ылғал шамасы өте төмен окшаулаушы газдар қолдану. Флюс қабатының астында және қаптамалы электродпен пісіру жағдайында флюс, қаптама құрамында CaF_2 , SiO_2 болса, сутекті химиялық қосынды HF-ке байланыстыруға болады. Мұнда пісіру аумағында мынадай реакциялар өтеді



қосынды SiF_4 – газкүйінде, сондықтан газды фазада төртфторлы кремний атомдық, молекулалық сутек және су буымен реакция түзе алады



Пісіру аумағында оттег немесе көмірқышқыл газы болса, сутекті балқыған металда ерімейтін гидрооксилге аударуға болады. Гидрооксил қалыптасуы мынадай реакциямен өтуі мүмкін



Сутектің балқытылған металда еруін металды тотықтыру арқылы да шектеуге болады. Себебі, металдағы сутек пен оттектің тепе-теңдік концентрациясы тәуелді байланыстылықта:

$$2[\text{H}]+[\text{O}]=\text{H}_2\text{O},$$

$$K_p = P_{\text{H}_2\text{O}} / [\text{H}]^2[\text{O}] \text{ немесе } [\text{H}]^2 [\text{O}] = K', \quad (3.12)$$

мұндағы $[\text{H}]$ және $[\text{O}]$ – балқыған металдағы сутек пен оттектің тепе-тең концентрациясы. (3.12) теңдеуден көрінетіндей, оттектің концентрациясы өскен сайын сутек концентрациясы төмендейді.

Азотта, сутек тәрізді, жік металында кеуек қалыптасуына әкеледі. Бұған қосымша азот жік металының уақыт оздыра келе қасиетінің өзгеруіне әкеледі. Нәтижесінде, жік металының созымталдығы мен тұтқырлығы төмендейді. Пісіру аумағына азот ауа арқылы келеді. Балқыған металда еріген азот температура төмен деген сайын бөлініп шыға бастайды, себебі қатайған металда азоттың еруі шамасы күрт төмендейді. Нәтижесінде, жік металында шамадан артық азот орын алып, пісірілген жік кеуектеніп, металл қасиеті уақыт өткен сайын созымталдығы мен тұтқырлығы төмендеу бағытында өзгеруде болады.

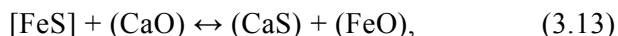
Пісіру ваннасына азотқа химиялық жақындығы басым элементтер: титан, цирконий, алюминий қосу, іс жүзінде металда ерімейтін нитридтер қалыптастырып, азоттың жік металы қасиетіне теріс әсерін төмендетуге мүмкіндік тудырады. Аталған элементтердің пісіру сымы құрамында кремний және марганецпен қоса болуы пісіру үрдісін қосымша азоттан сақтану шараларынсыз жүргізуді мүмкін етеді. Алайда, азоттың жік металы қасиетіне, теріс әсерін жоюды толық нәтижелілікке жеткізу үшін пісіру процесін окшаулаушы ортада (газ, қож, вакуум) жүргізуде. Окшаулаушы ортаның пісіру жігі металын азоттан қорғау нәтижелілігін азот шамасының жік металы құрамында өзгеруіне байланысты бағалайды.

Пісіру аумағында болат құрамының булануы. Электрдоғалы пісіру жағдайында металдың булануы, әсіресе белсенді дақ бетінде орын алады. Тәжірибелер көрсеткендей, аргонмен окшаулап пісіруде таза металдың булануы 0,5-1,0 % болып келеді. Булану металдың ысрап болуымен қатар, әртүрлі элементтің әрқалай буланатына байланысты, мұны таңдалмалы булану деп атайды, қорытпа құрамының бастапқы шамадан ауытқуына әкеледі. Элементтердің булану нәтижесінде

салыстырмалы ысырапталуын олардың қорытпадағы парциалдық қысымын анықтау арқылы бағалайды. Алынған шамаларды салыстыру арқылы салыстырмалы ысыраптың сапалы бағалануын жүргізеді. Мысалы, Ст3 маркалы аз көміртекті болат құрамында 0,6 % Mn бар. Темір мен марганец буларының парциалдық қысым (мм. сынап бағанасы) шамасы: температура (ваннаның орташа температурасы) 1900 °C-қа тән $p_{\text{Fe}}=2,93$; $p_{\text{Mn}}=1,12$; температура 2400 °C-та (электрод тамшысының орташа температурасы) $p_{\text{Fe}}=122,96$; $p_{\text{Mn}}=12,25$.

Марганец пен темірдің парциалдық қысымын және бұл элементтердің болат құрамындағы шамасын салыстыру аталған элементтердің тандалмалы булану салдарынан пісірілген жік құрамының болат құрамының бастапқы мәнінен ауытқуы ықтимал екені айқын көрсетеді.

Ванна металын күкіртсіздендіру (десульфурациялау). Күкірт болат құрамында, сондай-ақ пісірілген жік металының құрамында, зиянды қосынды. Жік құрамындағы күкірт жоғары температурада жікте сызат пайда болуына әкеледі. Мұны болаттың қызылтүстілікте сызаттануы дейді. Сондықтан күкіртті пісіру ваннасы металы құрамынан қож құрамына ауыстыру, осылайша пісірілген жік металын күкірттен тазарту шаралары, яғни десульфурациялау жүргізіледі. Күкіртті ванна металынан қожға ауыстыру, балқыған металда FeS-тен салыстырмалы елеулі төмен еритін, сульфидтер MnS, CaS, MgS қалыптастыру арқылы жүргізіледі. Десульфурациялау пісіруді жоғары негізді, құрамында кальций тотығы мол флюстер қолдану арқылы іске асырылады. Бұл жағдайда металл-қож шекаралығында төмендегі реакция өрбиді

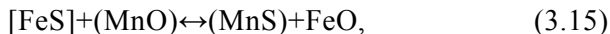


мұндағы кальций сульфидінің балқыған металда нақтылы еру шамасы өте төмен. Ол келтірілген реакцияның тепе-теңдік константынан айқын көрінеді

$$K_p = (\text{CaS})(\text{FeO})/[\text{FeS}](\text{CaO}); [\text{FeS}] = (\text{CaS})(\text{FeO})/K_p(\text{CaO}). \quad (3.14)$$

Пісіру ваннасынан күкіртті толығырақ шығару үшін қолданылатын флюс құрамында темір тотығының бастапқы шамасы төмен болуы керек.

Десульфурациялау жоғары марганецті флюостермен де жүргізілуі мүмкін. Мұнда металл-қож шекаралығында өтетін реакция



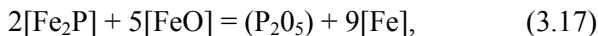
қалыптасқан марганец сульфиді, темір тотығымен салыстырғанда, балқыған металда еру шамасы төмен.

Жоғары марганецті флюс қабатының астында пісіруде (3.4) реакцияға сәйкес марганецтің пісіру ваннасына ауысуы орын алатындықтан, ваннаның суытылу кезеңінде экзотермиялық реакция өрбуі мүмкін $[\text{FeS}] + [\text{Mn}] \leftrightarrow (\text{MnS}) + [\text{Fe}]$ бұл реакцияда марганец сульфидінің қалыптасуына марганец шамасы оң ықпал етеді.

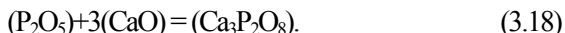
Тотықтандырғыш қасиетті оқшаулаушы газдар, мысалы көмірқышқыл газ ортасында электрдоғалы пісіруде, күкірттің жік металы құрамында тотығу реакциясының нәтижесінде кемуі мүмкін. Күкірттің оттекке жақындығы темірден төмен болса да, оның пісіру үрдісінде тотығуы күкірттің үстіңгі бет белсенділігінің жоғарылығына, осыған орай үстіңгі бет қабатында күкірт шамасының өсуіне байланысты. Бұған қосымша күкірттің тотығу реакциясының газ сипатты өнім қалыптасуынан реакция кері бағытта жүрмейтіндігінде.



Жік металын фосфордан тазарту (дефосфорация). Фосфор да пісірілген жік металының қасиеттеріне теріс әсер ететін элемент, ол жік металының салқындауында сызаттануына ықпал етеді. Жік металын фосфордан тазарту жоғары негізді флюостермен жүргізіледі. Күкірттен тазартудан айырмашылығы, металда еріген фосфорды тотыққа ауыстыру үшін қожда темір тотығы болуы қажет.



қожда фосфат қалыптасады



Қалыптасқан фосфат қожға ауысады да, пісіру ваннасы фосфордан тазартылады.

Элементтердің өткелдік коэффициенті – элементтің сым, флюс, қаптама құрамынан, негізгі металдан жік металлы құрамына өтуін сипаттайтын көрсеткіш – η . η – анықтау тәсіліне орай жинақты, немесе η_{HM} ; η ; η_ϕ – көрсетеді.

3.4. Пісіруде металды легірілеу

Пісірілген жалғастың эксплуатациялық қасиетін және жік металының сапасын жетілдіру үшін әртүрлі элементтермен легірілеу тәсілі қолданылады. Пісіруде жік металын легірілеу металл фаза, қож фаза және газдар әсерімен өтуі мүмкін.

Пісіруде жік металын легірілеудің негізгі тәсілі пісіру ваннасына арнайы элементтерді металл күйінде, сондай-ақ қорытпа түрінде ендіру. Бұл жағдайда легірілеу:

а) легірілеуші элементтің балқытылған негізгі металдан келтірілуі;

б) қосымша металл (балқытылған электрод сым, қаптамалы электрод өзегі) арқылы келтірілуі;

в) электрод қаптамасына легірілеуші элемент қосу, автоматты пісіруде керамикалық флюс арқылы берілуі нәтижесінде өтеді.

Жік металын легірілеуді қарастыруда легірілеуші элементті сіңіру коэффициенті деген түсінік қолданыналы. Аталған коэффициент (3.19) теңдігімен анықталады.

$$K_{cиң} = \frac{[Me]_ж}{\gamma [Me]_{H.M.} + (1 - \gamma - c) [Me]_{Эл.C.} + c [Me]_к}, \quad (3.19)$$

мұндағы $K_{cиң}$ – Me элементтің жинақты сіңіру коэффициенті;

$[Me]_ж$ – Me элементтің пісірілген жік металындағы мөлшері;

$[Me]_{H.M.}$; $[Me]_{Эл.C.}$; $[Me]_к$ – көрсетілген металдың негізгі металлдағы, электрод сымдағы және электрод қаптамасы, флюс, керамикалық флюске қосылған шамасы сәйкес;

γ , $(1-\gamma)$, c – жік металының қалыптасуына сәйкес негізгі металдың, электрод сымның және флюстегі (қаптамадағы) металл қоспаның үлесті қатынасуы.

Бұл тәсіл легірлеу металл фаза арқылы жүретін пісіру тәсілдерінде, керамикалық флюс қабаты астында автоматты (жартылай автоматты), легірлеуші қосынды бар қаптамалы электродпен пісіруде нәтижелі қолданылады. Нақтылы құрамды қаптамалы электродпен пісіруде қаптаманың салыстырмалы массасы $m_{э.к.} / m_{э.ф.} \leftrightarrow (m_{э.к.}, m_{э.ф.})$ – сәйкес электрод қаптамасы және электрод өзегінің массасы) тұрақты, демек легірлеуге қатысушы қоспалар мөлшері де тұрақты деп есептеледі.

Флюс қабатының астында автоматты пісіруде жік металын легірлеуді қарайық. Жік металын құрастырушы құрамдардың (негізгі металл, электрод сым және флюстен келетін металл қосынды) үлесті мөлшерлерінің қосындысы бірге тең. Жік металының бірінші қабатында негізгі металдың үлесті шамасы γ пісіру ережесіне, негізгі металл және электрод сым қасиетіне тәуелді, әдетте 0,5-тен 0,8 үлестікті құрайды. Жік металында флюстегі металл қосындының үлесті мөлшері негізінен оның флюс құрамындағы мөлшерімен анықталады дегенмен, флюс қасиеті мен пісіру ережесінің ықпалы, әрине, орын алады. Жік металындағы флюс құрамынан келтірілген металл мөлшері:

$$c = K(\%Me) \approx 0,003(\%Me), \quad (3.20)$$

мұндағы $(\%Me)$ – флюс құрамындағы металл қосындының мөлшері, %.

Флюс құрамында әдетте металл қосынды мөлшері 20–25 %-дан аспайтындықтан, әдеттегі жағдайда $c < 0,08$.

Жоғарыда келтірілген жағдайға сәйкес $K_{сiң}$ коэффициентін анықтау теңдігі

$$K_{сiң} = \frac{[Me]_{ж}}{\gamma[Me]_{н.м.} + [1 - \gamma - 0,003/\%Me][Me]_{эл.} + 0,003(\%Me)[Me]_{к}}. \quad (3.21)$$

Қаптамалы электродтар үшін есептеудің өзге нобайы қолданылады.

Электродтың айрықша сипаттамасының бірі болып, нақтылы электродпен балқытып қаптастырылған металл құрамы

есептеледі. Балқытып қаптастырылған металл құрамы негізгі металдың қатынасуынсыз қалыптасады. Қаптамалы жеке электродпен пісіруде жік металы құрамы қарапайымдатылған тәсілмен, негізгі металл және балқытып қаптастырылған металдың үлесті араласуымен анықталады:

$$[Me]_{ж} = \gamma [Me]_{н.м.} + (1 - \gamma) [Me]_{б.к.}, \quad (3.22)$$

мұндағы $[Me]_{ж}$ – метал элементің жік металындағы мөлшері;

$[Me]_{н.м.}$, $[Me]_{б.к.}$ – Me элементтің негізгі металл және балқытылып қаптастырылған металдағы концентрациясына сәйкес;

γ , $(1 - \gamma)$ – жіктегі негізгі металл мен балқытылып қаптастырылған металдың үлесті мөлшеріне сәйкес.

Балқытып қаптастырылған металл құрамын есептеуде өткелдік коэффициенті делінген түсінік қолданылады. Егер Me элементтің металл күйінде электрод құрамындағы (электрод өзегі, қаптамада) жалпы мөлшерін Me_3 деп алсақ, сонда оның пісіруде қарышталуын төменгі формуламен анықтауға болады

$$Me_3 = \Delta Me_{б.м.} + \Delta Me_{к.} + \Delta Me_{з.ф.} + \Delta Me_{ш}, \quad (3.23)$$

мұндағы $\Delta Me_{б.м.}$, $\Delta Me_{к.}$, $\Delta Me_{з.ф.}$, $\Delta Me_{ш}$ – сәйкес балқытылған металға өткен, тотығу нәтижесінде қожға ауысқан, газ фазаға өткен, шашырап ысырапталған элемент Me мөлшері.

Сонда Me элементтің пайдалы орын алуын сипаттайтын өткелдік коэффициент

$$K'_{откMe} = \Delta Me_{б.м.} / Me_3. \quad (3.24)$$

Бірақ элементтің электродтағы жалпы мөлшері және оның балқытылған металдағы мөлшерін қолданудың қиындықты жағдайлары бар. Есептеулерде элементтің қатынасты (үлесті) мөлшерін, яғни белгілі элементтің электродтағы (электрод өзегіне қатынасты) концентрациясын $[Me]_3$ және балқытылып қаптастырылған металдағы концентрациясын қолданады. Сонда өткелдік коэффициенті (3.25) теңдеуімен есептеледі

$$K_{\text{өтк.Ме}} = [Me]_{\text{б.м.}} / [Me]_{\text{э.}} \quad (3.25)$$

Бұл теңдеумен есептеуде өткелдік коэффициентінің шамасы бірден артық болып шығуы мүмкін.

Мысалы, электрод өзегінің құрамы 80 % Fe, 18 % Ni, 2 % Al. Электродтың балқытылған бөлігінің массасы 100 г болса, оның құрамында металдар шамасы; Fe=80 г, Ni=18 г, Al=2 г болады. Элементтердің тотығумен қожға ауысуы, олардың оттекке ынтықтығына қарай әртүрлі өтетіні белгілі. Булану, шашырауға байланысты ысырапталу элементтің электродағы мөлшеріне пропорционал шамасы деп есептеуге болады. Сондықтан элементтердің жалпы қарышталуы әрқалай болады. Салыстырмалы мол ысырапталу Al-ге тән. Ең аз шамалы буланатын және тотығатын никель. Осы ерекшеліктерді ескергенде, балқытылған металда $Fe_{\text{б.м.}}=70$ г; $Ni_{\text{б.м.}}=16,5$ г; $Al_{\text{б.м.}}=0,5$ г, яғни қосындысы 87 г деп есептеуге болады. Айтылғанға сәйкес балқытылған металл құрамын анықтауда: $[Fe]_{\text{б.м.}} = (70/87) \cdot 100 = 80.3\%$; $[Al]_{\text{б.м.}} = (0.5/87) \cdot 100 = 0.57\%$; $[Ni]_{\text{б.м.}} = (16.5/87) \cdot 100 = 19.1\%$. Өткелдік коэффициентті $K'_{\text{өткМе}}$ (3.23) және (3.24) теңдеулерімен есептеу төмендегідей мәнді нәтиже береді: $K'_{\text{өткМе}}=70/80=0,875$; $K'_{\text{өткNi}}=16,5/18=0,92$; $K'_{\text{өткAl}}=0,5/2=0,25$; сәйкес $K_{\text{өткFe}}=80,3/80=1,005$; $K_{\text{өткNi}}=19,1/18=1,06$; $K_{\text{өткAl}}=0,57/2=0,285$. Екі нобаймен есептелген өткелдік коэффициенттер мәні шамамен жуық, бірдей деп айтуға болады. Сондықтан өткелдік коэффициенттің салыстырмалы мәнімен $K_{\text{өткМе}}$ пайдалану ыңғайлы. Әртүрлі элементтердің өткелдік коэффициентінің шамасы электрод қаптамасының типіне, сондай-ақ қаптама құрамындағы тотықсыздандырушы элементтердің оттекті өзіне байланыстыруына тәуелді. Эксперименталды алынған нәтижелер көрсеткендей, кен-қышқылды қаптамалы электродтардан хромның өткелдік коэффициенті: электрод ОММ-5 $K_{\text{өткCr}}=0,45$; кен-қышқылды марганецпен мол тотықсыздардырушы электрод ЦМ-7 қолданғанда $K_{\text{өткCr}}=0,60 \div 0,65$ кальций карбонаты және магний негізінде жақсы тотықсыздандырушы қаптамалы электродпен пісіруде $K_{\text{өткCr}}=0,9$.

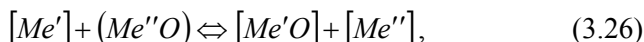
Легіріленген болаттарды пісіруде фтор-кальций негізінде күшті тотықсыздандырғыштарды (ферротитан, ферросилиций) қаптамалы электродтар қолданылады. Бұл электродтарға тән өткелдік коэффициенттер шамасы 3.1-кестеде келтірілді.

3.1-кесте

Фтор-кальцийлі қаптамалы электродтармен пісіруде легірлеуші элементтердің өткелдік коэффициенттері шамасы

Элемент	Ni	Cr	Mo	Mn	V	C (графит)
өткелдік коэффициенті	0,96- 1,00	0,85- 0,92	0,80- 0,85	0,55- 0,70	0,80- 0,85	0,46-0,60

Алмасу реакциясымен легірлеу. Балкытып қаптастырылған металл және жік металын алмасу реакцияларымен легірлеу әдетте легірлеуші элементтерді аз шамада енгізу қажетті жағдайларда қолданылады. Мұнда тотықтармен алмасу реакциясы жиі орын алады.



мұнда Me'' легірлеуші металл болып табылады.

Осындай реакцияның константасы

$$K_C = (Me'O)[Me''] / (Me''O)[Me']. \quad (3.27)$$

Егер Me' қорытпа негізі болса яғни $[Me'] \approx 1$, онда оның тотығы $Me'O$ қож бен металда таралу коэффициентіне сәйкес бөлінеді, сонда (3.26) теңдеуі төмендегідей жазылады.

$$K_C = (Me'O)[Me''] / L_{Me'O}(Me''O), \quad (3.28)$$

$$[Me''] = K_C L_{Me'O}(Me''O) / (Me'O).$$

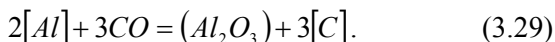
(3.28) теңдеуден көрінетіндей, реакцияның белгілі бір жағдайда өтуінде, яғни K_C және L_{MeO} тұрақты болғанда, легірлеуші Me'' элементтің концентрациясы осы элементтің бос тотығы неғұрлым мол болса, соғұрлым жоғары, сондай-ақ металл қорытпа негізінің ертінділетін тотығы неғұрлым аз

болса, соғұрлым жоғары. Легірлеудің бұл тәсілінде металдың тотығуы өседі.

Металды пісіруде газ фазаның әсерімен легірлеу бірінші маңызды орын алмайды. Газжалынымен пісіруде (ацетилен-оттекті, немесе басқа көмірсутек жанаргаз пайдаланылуында) жалын құрамын реттеу арқылы металды көміртекпен қанықтыруға болады, егер көміртек металда еритін болса. Жалында ацетилен елеулі артық болған жағдайда темір негізді қорытпалар көміртекпен айтарлықтай қанығуы, ~ 1% дейінде, орын алады.

Көмірқышқыл газ ортасында электрдоғалы балқытып пісіруде де балқытып қаптастырылған металл және жік металы көміртекпен қанығады, әсіресе негізгі металда бастапқы көміртек шамасы төмен болғанда. Әдетте бұл процесте электрод сым құрамымен салыстырғанда металда көміртек шамасының өсуі 0,05 %-дан аспайды.

Электрод қаптамасы құрамында көмірқышқыл тұздар (әдетте, мәрмәр) мол болғанда, белгілі бір жағдайларда балқытылып қаптастырылған металдың көміртекпен қанығуы ықтимал. Осылайша көміртектену дәрежесі электрод металында күшті тотықсыздандырғыштар, мысалы алюминий, концентрациясы өскен сайын арта түседі. Мұнда төменде келтірілген реакция орын алады



Болат сымды электрод құрамында алюминий концентрациясы елеулі болғанда, балқытып қаптастырылған металда көміртек концентрациясы $0,1 \div 0,2$ %-ға өсуі мүмкін.

Айтылған аналогиялы көміртекке қанығу, жоғары легірленген, құрамында жеткілікті мол концентрациясы хром бар болат сым электродпен пісіруде орын алады.

Жалпы алғанда, пісіруде металдың көміртекке қанығуы теріс әсерлі құбылыс болып қаралады. Бұл нобайлы легірлеу сұлбасы тек метал үстіңгі бетіне балқытып қаптастырылған қабат қалыптастыруда оң нәтижелі болуы мүмкін.

Металдың газбен әсерлесуі. Балқытып пісіруде орын алатын процестердің бірі металдың тотығуы, оттектен әсерлесуі. Пісіру аумағында орын алатын оттек келтірілу беру көздері:

а) газ фазадағы бос оттек (ауа оттегі; күрделі газдардың CO_2 , H_2O диссоциялану нәтижесінде қалыптасқан газ);

ә) балқытылған металл жиектері және қосымша металдағы тотықтар;

б) металда еріген және қождағы тотықтар;

в) алмасымды тотығу-тотықсыздану реакцияларында металға оттек беретін белсенді қождар.

Пісірудегі металдың тотығу сипаттамасы әртүрлі болып келеді. Кейбір металдар оттектен қатты күйінде де, балқытылған күйінде де ерітінді қалыптастырмайды. Алюминий, магний тотығуда айрықша фаза қалыптасады, ол жұқа үлдір тотық немесе сұйық фазада қалытқыған қатты түйіршік түрінде болады. Екінші бір металдар (темір, мыс, никель, титан) белгілі шамада оттекті еріту қабілетті болып келеді. Балқытылған фазада оттек ерітінділенуі қатты фазадағыдан жоғары болады және температура жоғарылаған сайын еріту қабілеті де өседі.

Қорытпаларды пісіруде оның негізі элементтің тотығуымен қатар қосынды элементтердіңде тотығуы орын алады. Тотығу ықтималдығы және дәрежесі элементтің оттекке ынтықтығымен, қосынды элементтің концентрациясы және температуралық жағдаймен анықталады.

Газ фазадағы бос оттектен металдың тотығуы. $n\text{Me} + \text{O}_2 = m\text{Me}_{n/m}\text{O}_{2/m}$. Егер металл мен тотық конденсирленген (қатты, сұйық) фазалар болса, онда тотығу реакциясының константасы K_p тек берілген қысым мен температураға сәйкес оттек үлесті қысымына тең, яғни $K_p = P_{\text{O}_2}$. Кез келген элементтің тотығу немесе тотықсыздану мүмкіндігі нақтылы жағдайға сәйкес тотықтың диссоциялану серпімділігін $P_{\text{O}_2(\text{MeO})}$ газ фазадағы бос оттектің үлесті қысымымен $\{P_{\text{O}_2}\}$ салыстыру арқылы анықталады. Егер оттек үлесті қысымы $\{P_{\text{O}_2}\}$ тотық диссоциялану серпімділігінен P_{O_2} артық болса, онда тотығу

орын алады. Егер $\{P_{O_2}\} < P_{O_2}$ болса – тотықсыздану жүреді. $\{P_{O_2}\} = P_{O_2}$ тотығу-тотықсыздану процестері өтпейді, тепе-теңдік жағдай орын алады. Пісіруге бұл жағдай әдетте тән емес.

Ерітіндідегі тотықтың диссоциялану серпімділігі P'_{O_2} бос тотықтар диссоциялану серпімділігінен P_{O_2} айрықша болып келеді.

Мұнда $P'_{O_2} = P_{O_2} a_{TO}^m$, мұндағы a_{TO}^m – металл ерітіндінің тотықпен қанығу дәрежесіне байланысты белсенділік, яғни

$$\left[\%Me_{n/m} O_{2/m} \right] / \left[\%Me_{n/m} O_{2/m} \right]_{\max},$$

$\left[\%Me_{n/m} O_{2/m} \right]_{\max}$ шекті қанығу, температура жоғарылаған сайын өседі.

Мысалы балқытылған темір үшін

$$P_{O_2} = -\frac{26730}{T} + 6,43, \quad (3.30)$$

$$\text{ал } P'_{O_2} = P_{O_2} \frac{[\%FeO]^2}{[\%FeO]_{\max}^2}.$$

Ерітіндідегі тотықтың диссоциялану серпімділігі P'_{O_2} бос тотықтар диссоциялану серпімділігінен P_{O_2} айрықша болып келеді.

Оттектің балқытылған темірде еруінің максималды шамасы 3.2-кестеде келтірілді.

3.2-кесте

Оттектің балқыған темірде еруі [1]

Температура		Ерігіштіктігі масса, %	
$^{\circ}\text{C}$	K	O	FeO
1540	1813	0.175	0.786
1600	1873	0.231	1.040
1800	2073	0.485	2.180
2000	2273	0.871	3.920
2300	2573	1.880	8.500

Балқытылған темірдегі FeO әртүрлі концентрациясы да газ фазада оттектің тепе-тең үлесті қысымы шамасы 3.3-кестеде келтірілді.

3.3-кесте

Балқыған темірдегі FeO әртүрлі концентрациясында
тепе-теңдік $\{P_{O_2}\}$

Темір құрамында		Әртүрлі температура мәнінде $^{\circ}\text{C}$ $\{P_{O_2}\}$ шамасы кгс/см ²			
FeO	O	1540	1600	2000	2300
0,10	0,0222	$7,7 \cdot 10^{-11}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
0,20	0,0444	$3,0 \cdot 10^{-10}$	$9,3 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$	$6,9 \cdot 10^{-8}$
0,30	0,0666	$7,0 \cdot 10^{-10}$	$2,1 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
0,50	0,1110	$1,9 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$8,1 \cdot 10^{-8}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$
1,00	0,2220	-	-	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
қаныққан ертінді 3.2-кесте		$4,8 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$

3.2-кестеден көрінетіндей, газ фазада бос оттектің шамасы өте төмен үлесті қысымы темірдің тотығуына алып келеді. Егер балқыған темірде оттек шамасы $\sim 0,05$ % массалық болса, онда 1540–2000 $^{\circ}\text{C}$ температурада оттектің тепе-теңдік қысымы 10^{-10} – 10^{-8} кгс/см² аралығында болады.

Ауада оттек ~ 20 % болады яғни $\{P_{O_2}\} = 2 \times 10^{-1}$ кгс/см², сондықтан ол пісіру жағдайында темір үшін күшті тотықтырғыш $\{P_{O_2}\} \gg P_{O_2}$. Ерітіндідегі оттек кеміген сайын оны металлда ұстау күші өседі, тепе-теңдік $\{P_{O_2}\}$ төмендейді.

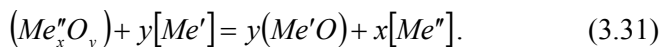
Балқу аумағында үстіңгі бет тотықтарымен металдың тотығуы металл жиегіндегі және металлдағы тотықтардың балқытылуымен өтеді. Негізгі металл жиектерін (үстіңгі қабатты) балқытқанда ондағы тотыққан қабат балқып, сол тотықтардағы оттек пісіру ваннасына қосылады. Кей жағдайларда қосылған оттек пісіру ваннасынан металдың балқытылған күйдегі уақытта бөлініп шығуға үлгермейді де,

кристалданған металдағы оттегі шамасының өсуі орын алады. Сондықтан металл үстіңгі бетін пісіру аумағында алдын ала тотықтан тазарту қажет. Мысалы, ОСЦ-45 маркалы флюс қабатының астында автоматты пісіруде металдың үстіңгі беті тотықтан тазартылмаған жағдайда жік металында оттегі 0,055 % құрайды, ал металдың үстіңгі беті тотықтан алдын ала тазартылса, жік металындағы оттегі шамасы 0,035 % болады.

Пісіру сымы арқылы пісіру ваннасы металына оттегі қосылуы жоғарыда айтылғанға аналогиялы. Мұндағы айырмашылық сым бетіндегі тотық ваннаға қосылар алдында, металдың балқу температурасына, одан да жоғары температураға қыздырылады. Оттектің бір бөлігі диссоцияланады, тотықтағы оттегі түгелдей ваннаға ауыспайды. Солай болса да пісіру ваннасының қосымша оттегіге қанықпауы үшін, пісіру сымдарының үстіңгі бетін пісіру процесінің басталар алдында тотықтан тазарту керек. Тазарту механикалық немесе химиялық тәсілдермен жүргізіледі.

Металда еріген және қождағы тотықтармен металдың тотығуы тотықтардың қож бен металда бөлініп таратылуы нәтижесінде өтеді. Бос тотық белгілі жағдайда металл фазамен қож фазада бөлініп таралуға ынталанады, аталған фазалардағы тотықтардың үлесті шамасы өзгереді. Тотықтың фазалар арасында таралуы L_{MeO} константасымен анықталады $L_{MeO} = (MeO)/[MeO]$, мұндағы $[MeO]$ және (MeO) – сәйкес тотықтардың металл және қождағы концентрациясы. L_{MeO} – тотықтың таралу коэффициенті. Температура өзгеруіне сәйкес L_{MeO} шамасы да өзгерісте болады. Мысалы, температура темірдің балқу температурасынан 2500 °C-қа дейін көтерілгенде константа L_{MeO} шамасы 0,011-ден 0,125-ке дейін өседі.

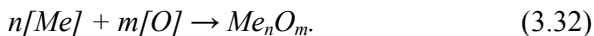
Оттегіге қатынасты химиялық белсенді қождармен тотығу алмасу реакциялары арқылы өтеді. Реакция типі



Көміртекті болаттарды пісіруде қожда елеулі шамада SiO_2 және MnO болғанда, жоғарыда келтірілген сұлбаға сәйкес кремний және марганецтің тотықсыздану процесі өтеді. Егер металда оттегіге ынтықтығы, жоғары элементтер болса, олардың

кремний және марганец тотықтарымен тотығуы өте қарқынды өтеді. Құрамында 15–18 % Cr бар легіріленген болатты пісіруде концентрациялары 10–20 % SiO_2 және MnO тотығу нәтижесінде хромның ысырапталуы бірнеше пайыз болуы мүмкін. Құрамында оттекке ынтықтығы аса жоғары элементтер бар (Al, Ti) болатты пісіруде, қожда SiO_2 және MnO жеткілікті мол болса, аталған элементтер толық тотығуы ықтимал.

Пісіру аумағында балқыған металдың тотықтануы тотықсыздандырушы элементтер болуына тәуелді. Оттекке ынтықтығы қорытпа негізі элементтің оттекке ынтықтығынан басым элементтер, тотықсыздандырушы элементтер болып аталады. Болатты пісіруде темірге қатынасты алғанда никель тотықсыздандырушы элемент бола алмайды. Никельдің болатты пісіруде тотығып ысырапталуы өте төмен болады. Марганец концентрациясы $\geq 0,5$ % болғанда 2300^0 және концентрациясы $\sim 0,1\%$ болғанда 1540^0C -та тотық диссоциялану серпімділігі оттекке қаныққан темір тотығының диссоциялану серпімділігінен төмен. Сондықтан марганец тотықсыздандырушы элемент болады, ол темір тотығынан оттекті өзіне тартады. Жоғары температурада хром әсері марганецтен төмен. Күштілігі жоғары темірді тотықсыздандырушы элементтер кремний, титан, алюминий. Жоғары температура жағдайында тотықсыздандыру күші басым элемент көміртек болып табылады. Элементтердің оттекке ынтықтығы температура өскен сайын төмендейді, сондықтан балқытылған металда жоғары температурада оттеқ концентрациясы елеулі болады. Температура төмендеген кезінде пісіру ваннасының соңғы жағында тотықсыздандырушы элементтердің қабілеті өседі және реакциялар тотықсыздандырушы элементтердің оттекті қосылыстар құруы бағытына ығысады. Мұндағы реакция



Бұл реакциялардың өнімі, металда іс жүзінде ерімейді де, жеке фаза түрінде тұнбаланады. Тотықсыздандырудың бұл түрін *тұнбаланып тотықсыздандыру* деп атайды. Бөлінген қатты немесе сұйық тотық бөлшектері балқыған металл ваннасы бетіне қалқып шығады немесе өсіп келе жатқан

кристаллиттермен ығыстырылып шығарылады немесе қатайған металда қож қосынды болып қалып қояды. Осындай қосындылардың тұлғасы мен дисперстігі әртүрлі болады. Көміртеппен тотықсыздандыру өнімі СО газ күйіндегі зат. Бұл газдардың бөлініп шығуы нәтижесінде пісіру ваннасының қатая бастаған соңғы шеті көпіршиді (қайнайды). Ағымдалып шығып үлгермеген газдар қатайған металда кеуектеніп қалып қояды. Металда дөңгелектенген, сфера формды іші газға толы кеуектер орын алады. Қож да қосылыстар да, кеуек те металл қасиетін төмендетеді. Сондықтан арнайлы тәсілдермен металда қож қосылыстар және кеуектер орын алуына жол бермеу жүргізіледі.

Металдың азотпен әсерлесуі. Пісіру аумағына азот ауадан келеді. Азот жоғары температурада диссоцияланады. Жоғары температурада оттеқ болуына орай, азоттың тотығуы ішін ара орын алады да NO қалыптасады.

Азот кейбір металдарда (мыс, күміс, алтын) айтарлықтай ерімейді. Сондықтан аталған металдарды пісіруде оқшаулаушы инертті газ ретінде қолданылады. Темір және темір қорытпаларында азот ериді және 600 °С төмен температурада химиялық қосынды Fe₂N және Fe₄N құрайды. Азот титанда күшті ериді және титанмен химиялық қосындылар түзейді. Азот, сондай-ақ, алюминий, болат та легірлеруші элементтермен (хром, т.б.) химиялық қосынды түзейді.

Тұрақты температурада балқыған металда азоттың еруі төменде келтірілген қатынаспен анықталады

$$\begin{aligned} [\%N] &= K_1 P_N; \\ [\%N_2] &= K_2 \sqrt{P_{N_2}} \end{aligned} \quad ; \quad (3.33)$$

мұндағы K_1 және K_2 – температураға тәуелді коэффициенттер;

P_N, P_{N_2} – сәйкес атом және молекула азоттың үлесті

қысымы.

Темірдің балқыған (сұйық) күйінен қатты күйге ауысуында азоттың еру шамасы күрт төмендейді (бұл температурада нитридтер түзелмейді). Азоттың пісіру ваннасынан бөлініп шығуға ынталануы нәтижесінде жік металында кеуек орын алады.

Азот, оттект тәріздес, болатқа диаметрі төмен электродтармен пісіруде қарқынды сінеді. Болаттың азотпен қанығуы азот тотығы NO болғанда үдей түседі. Атмосферада диссоцияланған аммиак (NH_3) болғанда, болаттың азотпен қанығуы өседі. Аталған құбылыстар металл қасиетіне теріс әсер етеді. Сондықтан металдың азотпен қанығуына (азотты сіңіруіне) қарсы шаралар қолданылады. Газ фазада молекулярлы азоттың үлесті қысымын (P_{N_2}) төмендетеді, сондай-ақ, азотты металл қасиетіне теріс әсер етпейтін, қожға ауысатын химиялық қосындыға айналдыру тәсілі қолданылады.

Металдың сутекпен әсерлесуі. Пісіруде сутектің көзі газ күйінде пісіру аумағын оқшаулаушы газ ретінде қолданғанда, газжалынымен пісіруде көмір сутектердің ыдырауынан қалыптасқан сутек, электрод қаптамасындағы көмірсутектің және су буының диссоциялануы нәтижесінде түзелген сутек болып табылады.

Іс жүзінде пісіру процесінде металмен әсерлесуші газ фазада белгілі дәрежеде сутек үнемі орын алады. Газ фазада сутек молекула, атом және ионданған күйінде орын алады. Сутектің иондануы мынадай реакциямен өтеді $\text{H}_2 = \text{H} + \text{H}^+ + \text{e} - 1745 \text{ Дж/моль}$. Жылу эффектiсi өте жоғары болғандықтан, келтірілген реакцияның ықтималдығы атомдарға диссоциялану мүмкіндігінен төмен. Металдардың сутекпен әсерлесуі әрқалай. Титан, тантал, ниобий, ванадий, т.б. шамамен 300°C -тан төмен температурада сутекпен химиялық қосынды – гидрид қалыптастырады. Гидридтер металл қасиеттерін төмендетеді. Гидридтер металдағы сутектің тепе-теңдік концентрациясының шекті мәнін өсіреді, металдардың көбі қатты күйінде сутекті мол сіңіреді.

Жоғары температурада (титанда 700°C -тан жоғары температурада) гидридтер ыдырайды, нәтижесінде сутек металдан бөлініп шығуы орын алады. Пісіруде металға сіңген сутек температура төмендегенде пісірілген жалғас сапасын төмендетеді.

Екінші бір топ металда (темір, никель, кобальт, мыс) гидридтер қалыптаспайды. Бұл металдар қатты күйінде сутекті

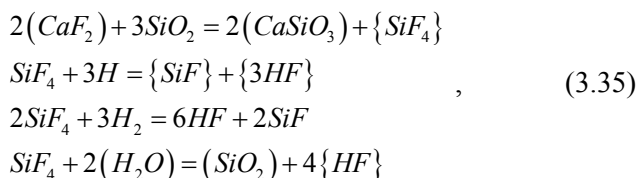
адсорбтайды, балқытылған металда сутек ериді. Тұрақты температурада сутектің металда еру тәуелділіктілігі

$$[H] = K_1 P_H; [H] = K_2 \sqrt{P_{H_2}}, \quad (3.34)$$

мұндағы K_1, K_2 – температураға тәуелді коэффициенттер;

P_H, P_{H_2} – атом және молекула сутектің газ фазадағы үлесті қысымы.

Сутектің еруі темірдің қатты күйден сұйық күйге ауысуында күрт өседі. Сутектің бір бөлігі диффузия арқылы металдан шығады, бір бөлігі металда әртүрлі қуыстарда қалып қояды да пісірілген жалғастың сапа көрсеткіштерін төмендетеді. Сондықтан сутектің металдағы шамасын шектеу қажет. Осы мақсатта газ фазада сутектің үлесті қысымын төмендету керек. Екінші қолданылатын тәсіл пісіру процесінде сутекті химиялық қосындыларға байланыстыру. Әдетте фторлы сутек (HF) немесе гидроксил (OH) қалыптастырылады. Сутекті фторлы сутекке айналдыру төменде келтірілген реакциямен өтеді.



Металдың тотығуы онда сутек шамасын төмендетеді. Осыған орай жақсы тотықсызданған металл газ фазадағы сутекке жоғары сезімталды. Мұндай болаттарды пісіруде сутектен қорғаудың күшті әсерлі тәсілдері қолданылады (фторидтер қосу, пісіру материалдарын алдын ала қыздырып кептіру).

3.5. Пісіру ваннасын ауадан оқшаулау тәсілдері

Балқытып пісіруде, пісірілген жік және жалғас сапасы талаптарға сай қалыптасуын қамтамасыз ету үшін, пісіру ваннасының аумағын атмосфера газдарынан оқшаулау қажет.

Оқшаулау тәсілдері қожды, газды және вакуумды боп бөлінеді. Пісіру аумағын қожды оқшаулау қаптамалы электродпен пісіруде, флюс қабатының астында автоматты, жартылай автоматты пісіруде, ұнтақты сыммен және электрқожды пісіруде орын алады. Электрод қаптамасы құрамы, ұнтақты сым өзегі құрамы және флюс құрамы пісіру ваннасында металлургиялық процестерге қатынасуымен қатар, пісіру ваннасын ауадан балқытылған қожбен оқшаулайды. Ең сенімді оқшаулау флюс қабатының астында пісіруде орын алады.

Қаптамалы электродпен пісіруде оқшаулау. Қаптамалы электродпен пісіруде электрод өзегі (металл) және электрод қаптамасы балқытылады. Балқыған қаптама материалынан қож қалыптасады және газ бөлінеді. Сұйық қож балқыған электрод тамшыларын қаптамалап ауадан оқшаулайды. Ваннада қож металмен араласып, салмағы металдан жеңіл болғандықтан, ванна бетіне қалқып шығып үстіңгі қож қабат қалыптастырып, ванна металын ауадағы оттегі, азот әсерінен оқшаулайды. Бұған қосымша қож ванна металымен араласуында, химиялық әсерлесу нәтижесінде металды тазартып, зиянды қосындыларды ванна үстіңгі бетіне ала шығады. Қаптама балқуында пайда болған газдар ауаны реакция аумағынан (доға аумағынан) ығыстырып, ваннадан оқшаулауды сенімді ете түседі. Доға аумағында қожгазды оқшаулау орын алады.

Қожгазды оқшаулаушы ортаның шамасы (мөлшері) электрод қаптамасының қалыңдығына δ немесе қаптама массасы коэффициентіне тәуелді. Қаптама қалыңдығы:

$$\delta = \frac{D_{\text{э}} - d_c}{2}, \quad (3.36)$$

мұндағы $D_{\text{э}}$ – қаптамалы электрод диаметрі (толық диаметрі);
 d_c – электрод өзегінің (қаптамасыз) диаметрі.

Электрод қаптама массасы коэффициенті

$$K_M = \frac{G_{\text{п}}}{G_c}, \quad (3.37)$$

мұндағы $G_{\text{п}}$ – электрод қаптамасының массасы;

G_C – электрод өзегінің қаптамалы ұзындығының массасы.

Қаптама массасы коэффициенті 0,1–0,5 шегінде болып келеді. Мемлекеттік стандартқа сәйкес электродтар $D_э / d_c \leq 1,2$

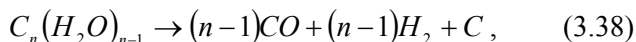
жұқа қаптамалы, $1,1 \leq \frac{D_э}{d_c} \leq 1.45$ орташа қаптамалы,

$1,45 \leq \frac{D_э}{d_c} \leq 1,8$ – қалың қаптамалы, $D_э / d_c > 1,8$ – айрықша

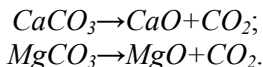
қалың қаптамалы болып бөлінеді.

Электрод қаптамасы құрамына иондану процесін күшейтуші, қоршаған орта зиянды әсерінен оқшаулаушы, пісіру ваннасын металлургиялық өңдеуші заттар қосылады. Оқшаулаушы заттар ретінде газ қалыптастырушы компоненттер (органикалық заттар), қож қалыптастырушы компоненттер, әртүрлі кендер (марганецті, титанды, т.б.), минералдар (ильменит және рутил концентраты, кремнезем, гранит, мәрмер, т.б.) қосылады. Легірлеуші және тотықсыздандырушы компоненттер ретінде: кремний, марганец, титан, т.б. элементтер олардың темірмен қорытпасы феррокорытпалар түрінде, алюминий ұнтақ түрінде қолданылады. Қаптама құрамындағы заттар бірнеше функция атқарады. Олар оқшаулы газ CO_2 және қожбен оқшаулауды CaO , т.б. түрінде қаптамасыз етеді.

200 °C-ден артық температурада органикалық заттар диссоцияланып оқшаулаушы газдар төменде келтірілген реакцияға сәйкес бөлінеді



және ~ 900 °C температурада (көмірқышқыл газының үлесті қысымы $P_{CO_2} \approx 0.1$ МПа) карбонаттар диссоциялануы нәтижесінде CO_2 бөлінеді.



CO_2 диссоциациялануы нәтижесінде $CO_2 \rightarrow CO + 1/2 O_2$ қалыптасады.

Диссоциялану процесі электродтың ұшына жақын аумақта өтеді. Температура 1000 °C шамасында және қысым 0,1 МПа

болғанда, қаптама құрамындағы карбонат және органикалық заттар, балқыған 1 г электрод материалына (тығыздығы $7,85 \text{ г/см}^3$) келетін көлемі 140 см^3 окшаулаушы газ (CO_2 және H_2) шығарады. Бөлінетін окшаулаушы газ көлемі қаптама құрамына тәуелді. Жоғарыда келтірілген газ көлемі ауаны доға аумағынан сенімді ығыстырады да жік металына енетін азот шамасы өте төмен болады ($0,02 \dots 0,03\%$ артық емес).

Қож қалыптастырушылар құрамы: CaO , MgO , MnO , FeO , Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , Na_2O және CaF_2 , т.б. галогендер болып келеді. Қаптама құрамындағы ферроқорытпалар қож қалыптастырушылардан оттекті байласныстырады.

Қож қасиеттері. Электрод қаптамасы балқу нәтижесінде қож қалыптастырады. Қождың физикалық қасиет көрсеткіштері: балқу температурасы, катаю температуралық интервалы, жылу сыйымдылығы, энтальпия, тығыздығы, тұтқырлығы, газ өткізгіштігі, оксид, сульфидтерді еріту қабылеттілігі. Қождың қыздыруда көлемдік және сызықтық (ұзындық) ұлғаюы металдың сәйкес көрсеткіштерінен елеулі алшақты болуы керек. Бұл қатайған қождың металдан жеңіл бөлінуі үшін қажет.

Ұнтақты пісіру сымдары. Сырт қабаты жұқа металдан құбыршаланған өзегі әртүрлі ұнтақ материалдармен толтырылған сымдар. Ұнтақ сымның өзегі құрамына минерал, кен, ферроқорытпалар, т.б. ұнтақ металдар кіреді. Пісіру процесінде балқыту нәтижесінде сым құрамы араласып, балқыған металды газқожды окшаулау, тотықсыздандыру, легірлеу, доғаны тұрақтандыру функцияларын ақарады. Доға аумағын газқожды окшаулау сапасы сым өзегін толтырылу коэффициентімен анықталады. Толтырылу коэффициенті

$$K_T = G_K / G_M$$

мұндағы K_T – толтырылу коэффициенті;

G_K – сымның сыртқы металл қабаты массасы;

G_M – сым өзегін толтырушы ұнтақ материал массасы.

Әдетте толтырылу коэффициенті $K_T=0,15 \div 0,45$ шамасында болып келеді.

Пісіру аумағын газбен окшаулау. Электрдоғалы пісіруде доға аумағын ауадан газбен окшаулау тәсілі қолданылады.

Оқшаулаушы газдар инертті және химиялық белсенді болып бөлінеді. Оқшаулаушы инертті газ болып, аргон және гелий қолданылады. Кейбір металдарды пісіруде мыс, күміс, т.б. оқшаулау газ ретінде азот қолданылады. Инертті газдар аргон, гелий балқытылған металда ерімейді, металмен химиялық реакциялар түзмейді, сонымен қатар пісіру аумағына ауаны жібермейді жік металының тотығуы, азотпен қанығуы, т.б. орын алмайды. Бұл тәсіл оттекке ынтықтылығы жоғары металдарды (титан, алюминий, т.б.) пісіруде оң нәтижелі. Инертті газдармен пісіруді балқымалы немесе балқымайтын электродпен жүргізуге болады. Басым көпшілікті жағдайда балқымайтын вольфрам электрод қолданылады.

Аргон ауадан ауыр 20°C -де тығыздығы $1,662 \text{ кг/м}^3$. Сондықтан доға аумағын ауадан жақсы оқшаулайды. Аргон үш: жоғары сорт, бірінші сорт, екінші сорт болып өндіріледі. Жоғары сортты аргон химиялық белсенділігі жоғары металдарды (титан, цирконий, ниобий) және олардың қорытпаларын пісіруде пайдалынады. Бірінші сортты аргон балқымайтын электродпен оттек пен азот қосындыларына жоғары сезімталды алюминий, магний тәрізді металдар қорытпаларын және басқа да металл мен қорытпаларды. Гелий инертті газ. Пісіру процесінде тазалығы 99,99 % гелий қолданылады. Гелий жеңіл газ, аргоннан 10 есе жеңіл, 20°C -де гелийдің тығыздығы $0,1785 \text{ кг/м}^3$. Осыған орай, пісіру процесінде гелийдің қарышталуы аргоннан 1,5...3-ге артық. Әдетте оқшаулаушы газ ретінде аргон мен гелийдің араласы қолданылады.

Оқшаулаушы белсенді газдар пісіру аумағын ауадан оқшаулайды, алайда өздері сұйық металда ериді немесе онымен химиялық әсерлеседі. Әдетте белсенді оқшаулаушы газ ретінде көмірқышқыл газы CO_2 қолданылады. Көмірқышқыл газы вольфрамға қатынасты белсенді, вольфрам көмірқышқыл газ ортасында тотығады да бұзылады. Сондықтан көмірқышқыл газы ортасында пісіруде балқымалы электродтар қолданылады немесе балқымайтын көмір, графит электродтар пайдалынады. Пісіру процесінде жоғары және бірінші сортты көмірқышқыл газ қолданылады.

Көмірқышқыл газы жоғары температурада (пісіру температурасы) диссоциялану нәтижесінде оттегі бөлінеді. Нәтижесінде газ фазада бос оттегі шамасы өседі. Сондықтан пісіру сымында оттегіге ынтықтығы жоғары легірілеуші элементтер шамасы әдеттегіден артық болуы керек. Әдетте мұндай элементтер қатарына Si және Mn жатады. Осы элементтер шамасы әдеттегіден жоғары стандартты пісіру сымдары қолданылады.

Окшаулаушы газдарды пайдалану олардың технологиялық қасиеттерін (мысалы, гелийдің, аргоннан мол қарышталатынын), олардың металды балқыту тұлғасын, жіктің тұлғасын, газдың бағасын ескеру қажет.

Окшаулаушы газ ортасында балқымалы электродпен пісіруде электрод балқытылуының өнімділігіне, электрод материалы тамшыларының тасымалдануына, шашырауына, негізгі металды балқыту тұлғасына окшаулаушы газ құрамының әсері зор. Көмірқышқыл газына 2... 15 % оттегі араластыру электрод тамшыларының тасымалдануын жақсартып және жіктің бетін жатық етіп қалыптастырады. 80 % аргон мен 20 % көмірқышқыл газ араласы жақсы нәтиже береді, мұнда электрод материалы майда тамшылы болып ағымдалады. Көп компонентті газдар араласы, аргон, көмірқышқыл газ, азот тотығы, сутек, т.б. құрамды балқыту және балқытып қатастыру өнімділігін 2 еседен артық өсіруге, сонымен қатар балқыту тұлғасы мен жіктің сырт көрінісінің ұнамды қалыптасуын қамтамасыз етеді.

3.6. Флюс қабатының астында автоматты пісіру

Автоматты пісіруде электродағы аумағын ауадан окшаулау үшін арнайы дайындалған ұсақ түйіршікті материалдар – флюстер қолданылады. Пісіру процесінде флюс пісіру аумағын ауадан окшаулайды, сонымен қатар пісіру ваннасында өтетін металлургиялық процестерде өз орны бар. Флюстің доға аумағын окшаулауы газқожды сұлбалы болып келеді. Флюс қабатының астында пісіруде балқытылған электрод металы ірі де, майда да тамшы болып ағымдалуы орын алады.

Балқытылған флюс қабатының астында доға жалындаған аумақта газды қуыс, металл және флюс материалы буымен, әртүрлі химиялық реакциялар өнімімен, балқыған металдан бөлінген газдармен және флюс қабаты арқылы өткен атмосфера газдарымен толықтырылады.

Доғаның және доға арқылы өтетін металдың жоғары температурасы әсерімен қарқынды булануы орын алады да, металды қоршаған газда, доғалы пісіру процесінде елеулі шамалы әртүрлі элементтер буы орын алады. Нәтежесінде доға аумағында басқа газдардың үлесті қысымы төмендейді.

Таза элемент пен будың тепе-теңдік қысымын нақтылы температураға сәйкес Клайперон-Клаузис формуласымен есептеуге болады:

$$\lg p = (\Delta H / 4.575T) + B, \quad (3.39)$$

мұндағы p – сұйық металл үстіндегі булар қысымы;

ΔH – булану жылулығы, қарапайымдату үшін тұрақты болып алынады;

T – абсолют температура;

B – тұрақты шама, металл қасиетіне және қысым өлшем бірлігіне тәуелді.

3.4-кестеде кейбір металдар үшін ΔH , B , $T_{\text{қай}}$ мәндері келтірілді, қысым $p = 0,1$ МПа.

3.4-кесте

Кейбір металдарға тән ΔH , B , $T_{\text{қай}}$. Мәндері

Металл	Zn	Mg	Al	Mn	Cr	Cu	Fe
Булану жылулығы, кал/моль	27430	32520	61020	55150	56630	72800	84620
Тұрақты B , p мәнін есептеу үшін (p , МПа)	0,5310	0,519	0,573	0,498	0,608	0,555	0,614
Қайнау температурасы, $T_{\text{қай}}$, К	1180	1376	2773	2423	2703	2863	3023

Пісіру процесінде, әдетте, металл фаза бірнеше элементтің қорытпасы болып келеді. Бұлардың арасында бу үлесті қысымы ең төмен элемент ең қарқынды буланады.

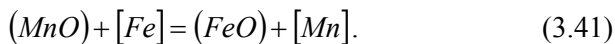
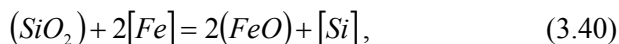
Зерттеулер нәтижесіне негізділген маңызды екі тұжырым жасалады:

1) жеңіл қайнайтын элементтің, оның қорытпа құрамындағы шамасы төмен болса да, электрдоғалы пісіру процесі температурасына сәйкес қысымы жоғары, қорытпа негізін құрайтын элементтің (~100%) қысымымен өлшемдес болуы мүмкін.

2) пісіруде металл буы абсолют қысымы елеулі болуы: 0,025; 0,055 МПа (егер жеңіл буланатын элемент қорытпа құрамында мол болса) типті 0,075 МПа дейін көтерілуі мүмкін.

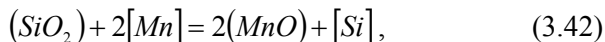
Автоматты пісіруде металлургиялық процестер негізінен қожбен пісіру ваннасы металы аралығында өтеді. Қож құрамында бос және кешенді қосылыстар қалыптасқан тотықтар, галлоид, сульфид, т.б. балқытылған минерал сипаттас заттар бар. Қождардың басым бөлігі балқытылған күйінде металда ерімейді. Балқытылған күйінде қож және металл бір бірімен араласпайтын тығыздықтары алшақты сұйық заттар.

Егер қож құрамында кремний, марганец тотықтары болса, онда олардың электрод металының тамшылары және ванна металымен әсерлесуі салдарынан алмасу реакциялары – кремний, марганецтің тотықсыздану процестері өтеді:



Зерттеулер көрсеткендей, қожда тотықсыздану нәтижесінде SiO_2 шамасы төмендейді, ал MnO шамасы өседі, электрод сым құрамындағы Mn тотығуы салдарынан және FeO шамасы елеулі өседі.

Электрод құрамындағы Mn -тің қождағы SiO_2 мен әсерлесу нәтижесінде тотығуы төмендегі реакция бойынша өтеді:



Қожда металда еритін темір тотығы FeO болуы оның металл мен қожда бөлініп таралуына әкеледі. Бұл құбылыс таралу константасына сәйкес өтеді, яғни төменде берілген теңдеу орын алады.

$$L_{FeO} = (FeO)/[FeO], \quad (3.43)$$

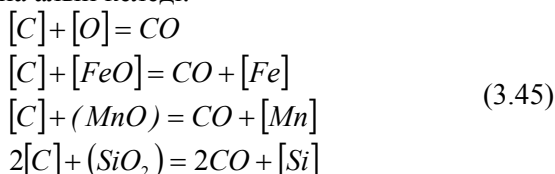
Таралу константасының шамасы температураға тәуелді де төменде келтірілген формуламен анықталады.

$$\lg 1/L_{FeO} = (-6300/T) + 1.368. \quad (3.44)$$

Металда еріген FeO шамасының өсуі жік металындағы FeO жалпы шамасының өсуіне әкелуі мүмкін, егер ванна металлы тотықсыздандырылмаса.

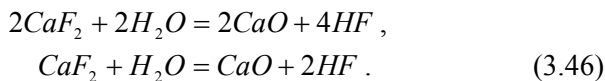
Қож ваннада FeO шамасының өсуі фосфордың қождан металға ауысуына елеулі әсер етеді.

Электрқожды пісіруде оттек пен тотықтардың орын алуы көміртектің тотығуына алып келеді.



Әдетте көміртек шамасы электрод және пісірілетін металда төмен болғанда, оның ысырапталуы электрқожды пісіруде жоғары болмайды, 0,03 % шамасында. Металда көміртек шамасы жоғары болғанда (2...3 %) оның ысырапталуы елеулі өседі, қожда (MnO), (SiO_2) шамасы мол болғанда, көміртек ысырапталуы ~ 0,5 % ға дейін жетуі мүмкін.

Флюс құрамында CaF_2 және SiO_2 бір мезгілде болуы бос сутекті термиялық тұрақты HF типті қосындыға байланыстырады да, сутектің балқыған металда еруіне тосқауыл болады. CaF_2 мен судың H_2O әсерлесуінде де HF қалыптасады, мұнда реакция қарқындығы төмендеу болып келеді.



Анологиялы нәтиже сутектің оттектен қосылысуында орын алады. Газ фазада оттектің болуы металдың тотығуына алып келеді, бұл құбылыста сутектің металда еруін төмендетеді.

Тұтас алғанда металға газ және қож фазаның әсері тек температура өскен сайын қарқындамайды. Сондай-ақ, қож-металл, газ-металл фазалар салыстырмалы шекаралық бетінің өсуі де химиялық әсерлесуді күшейтеді.

Егер бір элемент $[X]$ -тің балқытылған электрод сым мен негізгі металда олардың флюспен әсерлесу салдарынан өзгеруін сәйкес $\pm \Delta X_{\text{э.с.}}$, $\pm \Delta X_{\text{н.м.}}$ деп белгілесек, онда аталған элементтің жік металындағы қортынды шамасы $[X]_{\text{ж.м.}}$ төмендегі формуламен анықталады.

$$[X]_{\text{ж.м.}} = \gamma [X]_{\text{н.м.}} + (1 - \gamma) [X]_{\text{э.с.}} \pm \Delta X, \quad (3.47)$$

мұндағы γ – жік металында негізгі металдың үлесті шамасы;

$(1 - \gamma)$ – пісіру жағдайында өзгерген электрод сым металының жік металындағы (балқытылып қосылған) үлесі.

$\Delta [X]$ – металлдың $[X]$ жік металындағы қорытынды шамасы мен оның есептелген бастамалы құрамы арасындағы айырмашылық. Есептелген жік құрамы үлестілікті шамалары γ және $(1 - \gamma)$ екі металдың араласу ережесі негізінде анықталады.

Егер металдың қожбен әсерлесуінде құрам өзгеруі $\pm \Delta X$ үлкен болса, онда мұндай флюсті X элементке қатысты белсенді флюс деп атайды. Егер $\Delta [x] \approx 0$ болса, онда флюсті енжар флюс деп атайды.

Құрамында мол SiO_2 және MnO бар флюстер кремний-марганецті тотықсыздандыру процесіне орай, жік металында оттек концентрациясын өсіреді. Сондықтан кейбір болат маркаларын және белсенді металдарды (титан, алюминий, т.б.), арнайы қорытпаларды (Ti және Al мен легіріленген, қыздыруға төзімді никель қорытпаларды) пісіруде SiO_2 , MnO құрамды флюстерді қолдануға болмайды. Жоғарыда айтылғандарға орай, пісіру жағдайында жеңіл тотықсызданатын тотықтар құрамында жоқ немесе аз шамалы флюстер қолданылады. Құрамында тұрақтылығы жоғары CaO , MgO , Al_2O_3 , т.б. тотықтар бар

бұларға CaF_2 араластырылған флюстер; галоидты тұздар негізіндегі оттектіз флюстер өндіріледі.

Әлдебір флюсті қолдану пісірілетін металл қасиетімен, қорытпа негізі болған металдың оттекке ынтықтығы және легіренуші қоспалар мен қосындылармен анықталады. Мысалы, титанды және оның қорытпаларын флюс қабатты астында пісіруге оттектіз CaF_2 негізді флюстер, алюминий және оның қорытпалары үшін – BaCl_2 , NaCl , KCl негізді, ыстыққа төзімді никель қорытпалары үшін – CaF_2 негізді NaF қосылған флюстер қолданылады. Жоғары легіренген, хром- никельді аустенитті, т.б. болаттарды пісіру CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 негізді құрамында SiO_2 минималды флюс қабаты астында жүргізіледі. Орташа легіренген болаттарды пісіруде әртүрлі флюстер пайдаланылады: құрамында SiO_2 және MnO мол флюстерден CaO , MgO , Al_2O_3 , CaF_2 салыстырмалы SiO_2 төмен (10 %-ға дейін) жүйелі флюстерге дейін.

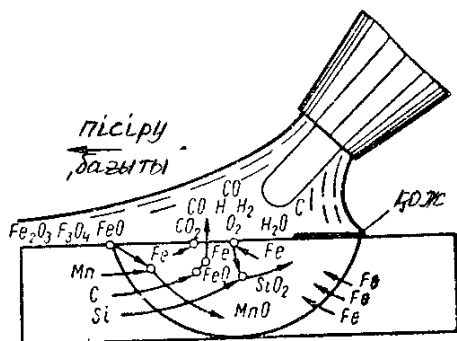
Арнайы пісіру және балқытып қаптастыруда CaCO_3 , CaF_2 тотықсыздандырушы, легіренуші ұнтақтардан байланыстырушы элемент әдетте сұйық шыны қолданып қыздырып, қақтаумен өндірілген керамикалық флюстер қолданылады. Бұл флюстердің металмен әсерлесу сипаты электрод қаптамалы әсеріне ұқсас болып келеді.

3.7. Газжалынымен пісіруде металлургиялық процестер

Газжалынымен арнайы шілтерлер арқылы түсті және қара металдарды пісіру, кесу, балқытып қаптастыру, түзету мақсатында қыздыру, дәнекерлеу, жалынмен металдың үстіңгі бетін тазарту және басқа операциялар жүргізіледі.

Пісіру жалыны – жанар газдың жану реакциясы өтетін көлем, және бұл көлем бір жағынан бастамалы жанаргаз араласы (газ бен оттегі), екінші жағынан – реакция өнімдерімен шектелген. Пісіру жалыны әртүрлі газ күйіндегі, сондай-ақ сұйық жанар заттар буын, техникалық тазалықты оттекте жағу нәтижесінде қалыптасады.

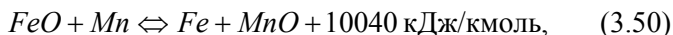
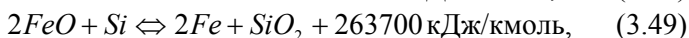
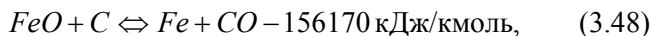
Газжалынымен пісіруде әртүрлі көмірсутекті газдар (C_2H_2 , CH_4 , C_3H_8 , $C_{10}H_8$ т.б.) немесе олардың араласы және керосин бензин булары қолданылады.



3.1-сурет. Балқыған пісіру ваннасында негізгі реакциялар сұлбасы

Пісіру процесінде металл жалын газдарымен, жалынан тыс аумақта қоршаған ортамен, әдеттегі жағдайда, ауамен тікелей жанасады. Сондықтан металда (құрылымы, құрамы, қасиеттерінде) құбылыстар орын алады. Бұл құбылыстар сипаттамасы металдың қасиетіне, пісіру тәсілі мен ережесіне тәуелді. Ең елеулі өзгерістер пісіру процесінде балқытылған металда өтеді және металлургиялық процестер сипатта өрбиді. Металдағы легірлеуші элементтер және қосындылар шамасы өзгереді және металдың оттекпен, кейбір жағдайларда сутек, көміртекпен қанығуы орын алуы мүмкін. Болатты пісіруде, оның құрамында қосынды Mn, Si, S, P болатыны белгілі. Химиялық реакциялар, элементтердің газ жалыны мен балқыған металда таралуы бар. Пісіру ваннасында өтетін реакциялардың сұлбасы 3.1-суретте келтірілді.

Балқытылған металл жиегінен және ванна үстіңгі бетінде қалыптасқан темір тотығы FeO балқыған металда ериді де, пісіру ваннасында әртүрлі элементтермен реакция түзейді.



Пісіру ваннасында тотықсыздандыру реакциясының ықтималдығы элементтердің оттекке ынтықтығы жән олардың пісіру ваннасындағы шамасымен концентрациясымен анықталады.

Көмірсутектілердің оттекте жануында жалын құрылымы үш аумақтан тұрады: жалын ядросы, орталықты аумақ, алау. Бұл аумақтардың тұлғасы, түрі, мөлшері оттек көлемінің (V_0) жанар газ көлеміне қатынасына, яғни β коэффициенті шамасына тәуелді:

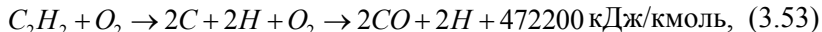
$$\beta = \frac{V_0}{V_r}, \quad (3.51)$$

Пісіру процесінде ең кең қолданылатын газ ацетилен C_2H_2 . Ацетиленнің оттекте жануы үш кезеңнен тұрады.

Бірінші кезеңде көмірсутек көміртек пен сутекке ыдырайды:

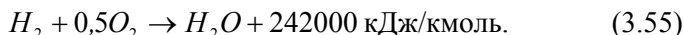


Жанудың екінші кезеңінде CO және H_2 қалыптасады:



Осы реакция өнімдері жалын екінші аумағының құрамын анықтайды.

Жанудың үшінші кезеңінде CO_2 және H_2O қалыптасады. Коэффициент $\beta=1$ болғанда



Жоғарыда келтірілген реакция өнімдері жалын құрамын қалыптастырады. Көмірсутектер жалыны көп құрамды болып келетіндіктен H_2 және H_2O , CO, CO_2 газдардың үлесті қысымының металлургиялық процестерге әсері бар. Ацетилен-оттек жалынында оттектің (V_0) ацетиленге ($V_{C_2H_2}$) көлемдік қатынасының $\beta = V_0/V_{C_2H_2}$ мәні зор. Ацетилен-оттекті жалында $\beta < 1$ болғанда бос көміртек орын алады. Сондықтан металдың көміртекке қанығуы мүмкін. $\beta > 1$ болғанда жалын аумағында

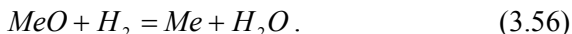
CO₂ және H₂O құрылады, булардың шекті шамасы β шамасына байланысты.

Болатты (негізі темір қорытпаларды) пісіруде $\beta < 1$ жалын көміртектендіруші, ал $\beta > 1,3$ жалын тотықтандырушы жалын болып табылады. $\beta = 1 \div 1,3$ жалын балқыған темірге қатынасты бейтарап реттелген жалын болып есептеледі, шамалы тотықсыздандырушы қабілетті болады.

$\beta > 1,3$ артық жалын қатты күйдегі темір және болатты қыздыруда, мысалы, үстіңгі қабатты шынықтыру үшін қыздыруда қолданылады. Оттекке ынтығы темірден басым элементтер (Al, Si, Mn, Cr, т.б.) қарқынды тотығады, әсіресе FeO қалыптасу реакциясы орын алмаса. Бұл элементтер тек бос түрінде емес, болат құрамында легірлеуші элемент және қосынды түрінде болғанда да де тотығады. Элементтің болат құрамында шамасы неғұрлым жоғары болса, оның тотығуда соғұрлым қарқынды болады. Сондықтан легірленген, әсіресе орта және жоғары легірленген болатты пісіруде жалын құрамының реттелуі (β шамасы) легірленбеген болатты пісірудегіден өзгеше. Кейбір элементтердің, мысалы Al, Ti, Si тотығуын жалын құрамын реттеумен тоқтатуға болмайды. Сондықтан қосымша шаралар, пісіру ваннасын тотықсыздандыру флюстерін қолданады.

Металл тотықпау үшін коэффициент β шамасы төмен болуы керек. Алайда β шамасы төмендегенде жалында бос сутек шамасы өседі, бұл кейбір металдарды пісіруде теріс әсерлі.

Сутектің металл тотықтарымен әсерлесуінде металда ерімейтін су буы қалыптасуы мүмкін.



Нәтижесінде металдың құрылымында ішкі сызаттану орын алып, механикалық қасиеттерінің төмендеуі мүмкін. Мұны металдың "су тегі дерті" деп атайды. Бұл құбылыс мысты газбен пісіруде жоғары ықтимал.

3.8. Жоғары белсенділікті металдарды пісіру

Жоғары белсенділікті металдардың оттек және басқа газдарға (азот, сутек) ынтықтығы жоғары. Сонымен қатар бұл

металдардың балку температурасы жоғары, баяу балқитын металдар. Қарқынды тотығу, газдармен химиялық қосындылар түзеу, жоғары белсенділікті металдардың қасиетін төмендетеді. Металдың оттекке ынтықтығы олардың тотық қалыптасуының стандартты жылулығы шамасын салыстырумен анықталады (ΔH^0_{298} , ккал/моль O_2). Баяу балқитын металдардың көбі оттекке ынтықтығы жоғары металдарға жатады. Бұл топтағы металдар үшін стандартты энтальпия $130 \text{ ккал/моль } O_2 < \Delta H^0_{298} < 200 \text{ ккал/моль } O_2$.

Жоғары белсенділікті металдар Д.И. Менделеев кестесінде IV-V-VI топта орналасқан, баяу балқиды және сирек металдар. Соңғы 40–60 жж. аралығында бірқатар жоғары белсенділікті металдар техника, өнеркәсіп салаларында құрылымдық материал боп қолданылуы өсуде. Бұл қатарға титан, цирконий, гафний, ниобий, тантал, молибден жатады. Ванадий, вольфрам, хром қорытпаларда легірлеуші элементтер болып табылады және бұлардың екінші металмен химиялық қосындылары пайдалынады.

Бұл металдарды пісіруде олардың балку температурасының жоғарылығы, газдарға: оттеқ, азот және суттекке ынтықтығының жоғарылығы нәтижесінде жікте кеуек орын алуы, қыздыру салдарынан кристалл түйіршіктерінің өсуі пісіру процесінде қиындықтар туғызады.

Баяу балқитын жоғары белсенділікті металды пісіруде міндетті түрде ескерілетін ерекшеліктері бар.

1. Баяу балқитын металдардың балку температурасы және жылу өткізгіштігі жоғары. Сондықтан жергілікті балқытуға қол жеткізу үшін, жылу беру көзінің қуаты жоғары және қыздыру дағында энергия шоғырлануы әдеттегіден жоғары болуы қажет.

2. Баяу балқитын белсенділігі жоғары металдардың газдарға: оттеқ, азот, суттекке ынтықтығы жоғары. Сондықтан бұл металдарды пісіруде ваннаны ауа атмосферасынан нәтижелі оқшаулау тәсілдерін қолдану талап етіледі.

Айтылғандарға сәйкес, жоғары белсенділікті металдарды пісіруде негізгі үш пісіру тәсілі қолданылады: инертті газдармен жалпы оқшаулау камерасында электрдоғалы; вакуумда электрон-сәулелі; вакуумда немесе инертті газ ортасында

лазермен пісіру. Жоғарыда келтірілген жалпы талаптарға қосымша әр металға тән ерекшеліктер бар.

Цирконий екі аллотропиялық модификациясы бар металл: α – фаза, гексогональды тығыз кристалл торлы 865°C -қа дейін тұрақты; β – фаза көлемдік орталықталған текше кристалл торлы, 865°C -тан жоғары температурада тұрақты. Цирконий полиморфты болғандықтан, жік металы мен термиялық әсер аумағында шынығу орын алады да, β – фаза түзілуі орын алады. Өзара араласқан екі фазалы құрылым болуы микрогальвожұп қалыптасуына алып келеді де қорытпаның жергілікті коррозияға шалдығуы орын алады. Бұл қауіптіліктен сақтану үшін пісірілген бұйымға вакуумда 575°C -те жұмсарту термоөндеу жүргізіледі. Нәтижесінде қорытпа құрылымы түзетіледі.

Температура 850°C -тан жоғары болғанда цирконий азотпен қарқынды әсерлеседі де нитрид ZrN түзейді. Температура $300\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ аралығында сутекпен қарқынды қанығады, мұнда гидрид ZrH_2 қалыптасады.

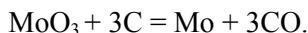
Гафний – полиморфты металл. 1760°C -қа дейін гексогональды тығыз кристалл торлы α – фазалы. 1760°C -тан жоғары температурада көлемді орталықты текше торлы β – фазалы. Қыздыру кезінде гафний ауамен әсерлесіп, қостотық HfO_2 және нитридтер қалыптасады.

Ниобий мен тантал полиморфтық құбылыссыз, физикалық қасиеттері ұқсас металдар, коррозияға қарсы тұрақтылығы аса жоғары. Техникада таза ниобий, танталмен қатар ниобийдің шамалы мөлшерлі легірлеуші қосындысы (молибден, вольфрам, цирконий, ванадий, титан) қорытпалары, танталдың 10 %-ға дейін қосылған вольфрам, ванадий, ниобий қорытпалары қолданылады.

Ниобий және тантал қыздырылғанда атмосфера газдарын 300°C -дан асқанда – оттекті, 350°C жоғарыда – сутекті, 400°C жоғарыда – азотты қарқынды сіңіреді. Газ сіңіру нәтижесінде тотық, нитрид, гидрид қалыптасу сандарынан металдың беріктігі өседі, созымталдығы төмендейді. Бұл металдарды пісіруде жік металында және термиялық әсер аумағында кристалл түйіршіктерінің өсуі және металдың морттануы орын алады. Металдың морттануын түйіршіктер шекарасында карбидтер қалыптасуы (Nb_2C , Ta_2C), егер металда көміртеқ болса, күшейте түседі.

Молибден – полиморфтық құбылыссыз металл. Молибденді пісірудегі қиыншылық кристалдануда сызаттануға бейімділігінде. Себебі, жеңіл балқитын эвтектикалар түзеледі де, олар балку температурасы молибденнің кристалдану температурасын көп төмен болғандықтан, қатайған металл кристаллиттері шекарасында сұйық күйінде сақталады. Температура төмендеп, сұйық эвтектика кристалдануында термиялық созу кернеуі әсерімен тұтастығы бұзылып сызаттанады. Осындай эвтетика $\text{MoO}_3 + \text{MoO}_2 + \text{Mo}$ құрамды, балку температурасы $T_{\text{бл}} = 780^\circ\text{C}$. Сонымен қатар атмосфера газдарының жік металына жұтылуы салдарынан жік металы және термиялық әсер аумағы морттанады. Морттануға оттегі ең күшті әсер етеді. Оттек шамасы 0,0002 % болғанда морттану шекті мәні 200°C -қа дейін өседі.

Пісірудің термиялық циклі әсерімен жік аумағында түйіршіктер мөлшері өседі, сонымен бірге түйіршіктер аралықтың қалыңдығы өседі, бұл аумақта әртүрлі қосындылар шамасы артады және жік аумағы металының морттануы орын алады. Металда көміртек болған жағдайда кеуек қалыптасады. Кеуек жік өсуі бойында және қорытпалану сызығы бойына орналасады. Кеуектену төменде келтірілген реакция түзелу нәтижесінде орын алады.



Айтылған себептерге байланысты, молибденді пісіруде негізгі металл тазалығына қатаң талаптар қойылады. Металл құрамында оттек < 0,0002 %, азот < 0,0001 %, көміртек < 0,003 % шамасынан артық болмауы талап етіледі. Пісіру ваннасына белсенді тотықсыздандырушылар келтіріледі: 0,5–1 % Ti, 0,1 %-ға дейін Nb, 0,25 %-ға дейін Zr. Пісіру процесі 1 м жік ұзындығына келетін энергия (метрге үлесті энергия) минималды шамада болып жүргізіледі.

Жоғары белсенділікті металдар пісіруге бейімділігіне байланысты екі топқа бөлінеді. Бірінші топқа металдар цирконий, гафний, ниобий және тантал жатады. Бұл металдар пісіру технологиясы ережелерін дұрыс сақтағанда пісіруге бейімділігі жақсы. Екінші топқа молибден, вольфрам жатады. Бұл металдарды пісіруде қиыншылықтар орын алады. Бұлар құрамында әртүрлі қосындылар болуына сезімталдылығы және металдың морттануы бейімділігі жоғары. Молибденді пісіруде

алдын ала 200-315 °С қыздыру және қалдықты кернеуді 980 °С-қа дейін қыздырумен жою арқылы, салқында сызаттанудың орын алмауын қамтамасыз етуге болады.

Көрсеткіштері қанағаттанарлық қасиетті пісірілген жалғас қалыптастыру тәсілдері: негізгі және қосымша металда зиянды қосындылар шамасын төмендету; пісірілген жалғаста термиялық және қалдықты кернеу шамасын төмендету; пісіру процесінде жік металы мен жік аумағы металының қосалқы элементтермен, әсіресе атмосфера газдарымен ластануына жол бермеу.

Жоғары белсенділікті металдарды пісіру вакуумда электрон-сәулелі пісіру тәсілімен немесе бақылаулы атмосфералы камераларда жүргізіледі. Соңғы жағдайда жоғары тазалықты аргон және гелий пайдалынады. Аргон және геллий бөгде газдардан силикагель, алюмогель және 900-1000 °С-ға дейін қыздыруда титан жаңқасынан өткізу арқылы тазартылады.

4. ТЕРМОДЕРФОРМАЦИЯЛЫҚ ЦИКЛДІҢ ПІСІРІЛГЕН ЖАЛҒАС ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ҚАСИЕТІНЕ ӘСЕРІ

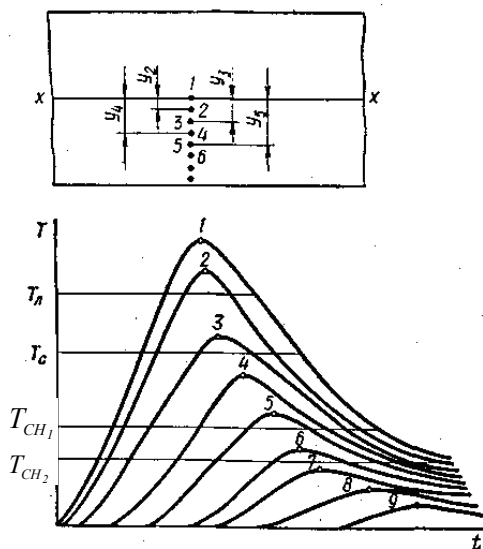
4.1 Балқытып пісіруде термиялық цикл сипаттамасы

Металды пісіруде жылулық көзінің әсерімен температура өзгеруі (қыздырылуда да, суытылуда) жалғас аумақтарында әртүрлі болып келеді. Қозғалыссыз немесе жылжымалы жылу көзінде оның тікелей әсер аумағында металл ең жоғары температура қыздырылады. Балқытып пісіру тәсілдерінде аталған аумақта температура металдың балқу температурасынан біршама жоғары болады. Металл бұл аумақта балқытылып, соңынан қатайды – кристалданады. Балқытылған аумақ – іргелес аумаққа – іргелес аумақ балқу температурасынан төмен температураға қыздырылады. Жылу көзінен қашықтаған сайын және жылу көзінің қозғалыс сызығы бойынша қашықтық өскен сайын әр аумақ белгілі бір максималды температураға $T_{\max}$ қыздырылады және $T_{\max}$ шамасы төмендеуде болады. Пісірілетін бұйым үлкен болса, жік металынан белгілі қашықтықта металдың қыздырылуы орын алмайды, температура өзгеріссіз болады.

Кез келген қыздырылған аумақта температура максималды шамаға $T_{\max}$ жеткен соң оның суытылуы басталады. Суытылу негізінен салқын металл аумағына жылу таралуымен өтеді. Суытылу жылдамдығы жеткілікті жоғары, алайда пісіруде қыздыру жылдамдығынан төмен болып келеді.

Сонымен, пісіру бір қабат жік салумен жүргізілсе, бұйымның жалпы көлемінің нақты аумақтың бөлігі уақыт барысында температура өзгеруінен өтеді. Әртүрлі аумақтар, әр шамалы $T_{\max}$ максималды температураға қыздырылады, мұнда өзара алшақты шамалы қыздыру және суыту жылдамдықтары орын алады. Пісіру аяқталғанда жалғастың жекеленген әр аумағы сипатты қыздырылу – суытылу циклінен өтеді, мұны пісірудегі *термиялық цикл* дейді. Термиялық циклде қорытпаның күй диаграммасына сәйкес құрылымдық және қолданған материалдар құрамына орай, физика-химиялық құбылыстар өтеді.

Жылу көзінің қозғалыс осінен әртүрлі қашықтағы пісірілген жалғас учаскелерінің термиялық циклі сипаттамасы 4.1-суретте келтірілді. Температура осінде қыздырылушы қорытпаның сындық температуралары келтірілді (ликвидус, солидус, қатты күйдегі металдағы құбылыстар сындық температуралары – T_{CH_1} және T_{CH_2}).



4.1-сурет. Пісірілген жалғас учаскелерінің термиялық цикл сипаттамасы

Пісіру жылулық көзі орталығының қозғалыс сызығында жатқан нүкте 1, яғни осі XX ($y=0, z=0$ жағдайында) бойында орналасқан аналогиялық нүктелер және сәйкес XX осінен белгілі қашықтықта жатқан $y = y_1, z = 0$ координаты 2 нүкте және оған аналогиялы нүктелер максималды температураға ликвидустан жоғары $T_{\max} > T_{\text{л}}$ -қа қыздырылады. Пісірудің әр уақыттық кезеңінде металл нүктелер 1,2-де балқытылады.

Қашықтығы XX осінен $y=y_3$ -те $z=0, y=y_3$ жазықтықта 3 нүктеде максималды температура $T_{\max} < T_{\text{л}}$ ликвидустан төмен $T_{\max} > T_{\text{с}}$ жоғары болады.

Мұндай аумақта металдың белгілі шамасы бөлігі балқытылып, сұйық күйде, сонымен қатар балқытылмаған қатты күйінде болады. Қашықтығы XX- осінен u_4 , u_5 4 және 5 нүктелер және металл $T_{\max} < T_c$ солидустан төмен, сындық температурадан $T_{CH_2} < T_{\max}$ жоғары қыздырылады. Бұл аумақта металл процесінде қатты болады, құрылымдық өзгерістер (мысалы, аллотропиялық құбылыстарға байланысты) орын алуы кездеседі.

6 нүктеде, XX осінен қашықтықта металл T_{CH_2} -ден төмен, сындық температура T_{CH_1} -ден жоғары температураға қыздырылады. Мұнда металл құрылымының өзгеруі $T_{CH_1} - T_{CH_2}$ температуралық аралықта металл күйіне байланысты өтеді.

7 нүктеде $u=u_7$ металл температурасы T_{CH_3} -ден төмен. Мұнда құрылымдық өзгерістер болмайды, XX осінен қашықтаған 8, 9 нүктеде температура төмендеуі болады да, белгілі бір қашықтықта (XX осінен) қоршаған орта температурасына дейін төмендейді, металл пісіру жылу көзімен қыздырылмайды.

Пісіру процесінде термиялық циклді сипаттаудың басқа нобайлары бар. Кейбір металдарда қатты күйінде сындық температура біреу-ақ T_{CH_2} болады. Сонда 6 нүктеде 7, 8, 9 бірге қарастырылады, максималды қыздырылуда сындық температурадан төмен қыздырылған аумақ қатарында. Кейбір металда солидустан T_c төмен температурада.

Пісірумен өндірілген жалғаста металдың құрылымы мен қасиетіне тек термиялық цикл таза түрінде әсер етпейді. Сонымен қатар металда деформациялану, соның салдарынан мөлшерлік және тұлғалық өзгерістер орын алады. Қыздыру, температураның жергілікті өрлеуі кезінде, металдың термиялық ұлғаюына кедергі болатындықтан (қыздырылмаған аумақта ұлғаю жоқтығы), қатты металда бастапқыда серпімді, соңынан пластикалық сығылу деформациясы болады. Суытылу нәтижесінде металдың термиялық қысылуы да еркін емес кедергілікті, сондықтан серпімділікті және пластикалық созылу деформациясы орын алады. Пластикалық деформация шамасы нақтылы аумақта максималды температураға $T_{\max}$, температура өрісіне, бұйымның тұтастай деформациялауға қарсылығына

(қатандығына) тәуелді. Нәтижелілікті созылу пластикалық деформация $T_{\max}$ шамасы жоғарылаған сайын өседі. Яғни максималды деформация $T_{\max}$ солидус T_c температурасына, қорытпаның балқу температурасына жуық температураға қыздырылған аумақта орын алады. Бұл аумақ жік металы және жік металын іргелес ұласқан аумақ. Пісіруде термиялық циклге тәуелді орын алған деформация пісірудегі термиялық деформация болып табылады.

Жік металы және оған іргелес аумақта термиялық деформация металдың қасиеті, қолданған пісіру материалдары, құрылым қатандығы, пісіру ережесі, металл жиектерін қиғаштап қию тұлғасы, максималды қыздыру $T_{\max}$ температурасы, т.б. факторларға тәуелді. Сондықтан пісірудегі пластикалық деформацияны анықтау жуықтатылған шамалы болып келеді. Деформациялану аумағын мүмкін минималды етіп алғанда, жоғары температураға (600°C -тан жоғары) қыздырылғанда пластикалық деформация 4–5 %, максималды қыздыру температурасы төмендетілген аумақта 2–3 % болуы ықтимал.

Жоғарытемпературалық пластикалық деформация кристаллиттер (түйіршіктер) шекарасында ығысуға алып келеді және ығысу шамасы деформацияның жалпы шамасына, сонымен қатар түйіршіктер денесінде және олардың шекарасында орын алуына (деформацияның жергілікті оқшаулануына) тәуелді.

Температура төмендегенде металдың серпімділік қасиеті өсуі барысында, пластикалық деформация металдың бекемделуіне алып келеді. Жоғарытемпературалық деформация негізінен түйіршіктер шекарасының күйіне әсер етеді. Төментемпературалық металға бекемделу беретін деформация пісірілген жалғас аумақтарында металл қасиетінің нәтижелі қалыптасуына, бұйымның эксплуатациялық қасиеттеріне елеулі әсер етеді. Бұл әсер кейде бірден сезілмей, эксплуатациялауда уақыт өту барысында сезілуі орын алатын кездер бар. Пісірудегі металл құрылымына термиялық әсерді анықтау, металл құрылымына пластикалық деформация әсерін анықтаудан күрделі. Сондықтан, металл қасиетіне теріс әсерліктің алдын алуды дер кезінде қамтамасыз ету қиын.

4.2. Төменкөміртекті болатты пісіруде термиялық әсер аумағы

Темір негізіндегі қорытпалар өнеркәсіп, құрылыс, техникада ең кең қолданыстағы материалдар. Темірдің көміртекпен қорытпалары – болат, шойын атауымен танымал. Пісіру құрылымдарында төменкөміртекті болаттар қолдану кең өріс алды. Әдетте пісіруде төменкөміртектілер қатарына құрамында көміртегі 0,2–0,25 %-ға дейінгі болаттар жатады. Бұл болаттар пісіру арқылы, барлық қасиет көрсеткіштері негізгі металға толық сәйкес пісірілген жалғас қалыптасады. Сондықтан бұл болаттар пісіру процесін қолданып, құрылыс құрылымдарын, қазандық, кеме тұрқы, т.б. жауапты металл бұйымдар өндіруде қолданылуда. Алайда, бұл қол тисе болды, өзінен-өзі іске асатын процесс емес. Сапалы пісірілген бұйым өндіру үшін, оны пісіруге дайындау қатандығын, пісіру материалдарын, жылу көзін, пісіру ережесін, еңбек қауіпсіздігіне, т.б. ғылыми негізінде анықтап, жүргізу керек және осы саладағы мамандар мәселе шешімін үнемі жетілдірумен айналасудан зерікпеуі қажет. Сондықтан пісіруге ең жеңіл икемді төменкөміртекті болаттарды да қыздыру, суыту кезеңінде өтетін құрылымдық өзгерістерді білу, олардың қолайлы бағыт, көлемде өтуін қамтамасыз ету тәсілдерін игеру керек. Бұлай болмаса, төменкөміртекті болаттарды пісіруде де сапасыз жалғас қалыптаспауы орын алады. Көміртекті болаттағы құрылымдық құбылыстар Fe-C күй диаграммасымен сипатталады.

Төменкөміртекті болатта негізгі қоспа элемент көміртек және оның шамасы пісіруде $C \leq 0,25$ % болып алынады. Марганец бұл болаттарда $\sim 0,4$ % шамасында болып келеді. Қайнаған төменкөміртекті болат құрамында кремний $Si \leq 0,03$ %, байыпты болатта кремний 0,3 %-ға дейін барады. Ыстықтай илемделген және жұмсарту термоөңдеуден өткен болаттың беріктік шегі ~ 390 МН/м², салыстырмалы ұзарту деформациясы 20 % аса және соғудағы тұтқырлығы $\sim 1,5$ МДж/м². Келтірілген көрсеткіштер салыстырмалы орташа мәнді. Металлургия

өнеркәсібінде жабдық және технологияның ұдайы жетілдіруіне орай, болат қасиеттері жоғарылау бағытында өзгеруде.

Төменкөміртекті легіріленбеген болаттардың қыздыру-суыту жылдамдығына сезімталдығы төмен, бұл болаттар іс жүзінде (әдетте жағдайларда) шынықпайды, мартенситтік құрылым қалыптаспайды. Төменкөміртекті болаттарды қысыммен және балқытып пісіру тәсілдері жиі қолданылады. Қысыммен пісіру тәсілдерінің арасында электрлі түйіспелі пісірудің барлық түрлері және газ баспақты пісіру тәсілі жиі қолданылады. Балқытып пісіруде кең қолданылатын тәсілдер: электрдоғалы қаптамалы электродпен қолдан пісіру, автоматты, жартылай автоматты флюс қабатының астында; оқшаулаушы газ, көбінесе көмірқышқыл газ ортасында; қалың металдар үшін электрқожды пісіру; жұқа металдарды пісіруде электронсәулелі және газбен пісіру.

Балқытып пісіруде жік металында төменкөміртекті легіріленген болат немесе төменкөміртекті марганец ~1 %, кейде кремний (0,3–0,4) %-ға дейін өсірілген болып қалыптасатын материалдар қолданылады. Технологиялық ереже дұрыс анықталған жағдайда, жік металы тығыз, сызаттану болмай, беріктігі, созымталдығы және тұтқырлығы жеткілікті дәрежеде қалыптасады.

Әдетгі жағдайда пісіруде суытылу жылдамдығы кристалдану температурасы аралығында газбен пісіруде 50–80 °C/c; электрдоғалы пісіруде ~(70-200) °C/c; электрқожды пісіруде ~(5÷10) °C/c; (600–800) °C аумағында сәйкес ~ (15-20) °C/c; (20–70) °C/c; (0,1-3,0) °C/c болып келеді. Бұл жағдайда жоғарыда келтірілген құрамды жік металы құрылымы феррит-перлит немесе сорбит пішінді болып қалыптасады. Металл түйіршіктері әсіресе электрқожды пісіруде ірі мөлшерлі, газбен пісіруде электрқожды пісірудегіден кем мөлшерлі, электрдоғалы пісіруде жоғарыда айтылған екі пісіру тәсіліндегіден ұсақ, бірақ майда түйіршікті емес болады. Төменкөміртекті болатты пісіруде термиялық әсер аумағы Fe-C күй диаграммасы және суытылуда аустенит ыдырау кинетикасымен анықталады.

Төменкөміртекті болатта ликвидус-солидус температуралар аралығы аз шамалы Fe-C күй диаграммасына сәйкес (30-40) °C.

Сондықтан пісірілген жалғаста қорытпалану аумағының ені кішкентай, электрдоғалы пісіруде 0,08–0,1 мм, газбен және электрқожды пісіруде 0,15–0,20 мм аралығында болып келеді. Мұндай шағын аумақта әдетте пісіру жылдамдығында елеулі химиялық құрам өзгеруі орын алмайды, тек күкірт және сутектің аумақ аралық ауысуы болуы мүмкін. Сондықтан қорытпалану аумағында елеулі құрамдық өзгеріс орын алмайды деп есептеледі. Бұл аумақта қорытпа құрылымы айтарлықтай ірі түйіршікті және асақыздырылған аумақ құрылымының түйіршіктер мөлшерімен жатық ұласқан болып келеді.

Солидустан төмен температурада төменкөміртекті болатты қыздыруда екі сындық температурадан өтеді – A_{C1} ($T=720^{\circ}\text{C}$) және A_{C2} . Соңғы сындық температура A_{C2} мәні қорытпа құрамына тәуелді және Fe-C күй диаграммасында GOS сызық бойына сәйкес келеді, яғни $\sim 880^{\circ}\text{C}$ деп алуға болады. A_{C3} сындық температурадан жоғары қыздырылған металл толық аустенит құрылымды болады. Қыздыру температурасы A_{C3} -тен артық жоғарылаған сайын, аустенит түйіршіктері өседі. Температура солидусқа T_c жуықтағанда аустенит ірі түйіршікті болып келеді. Жоғары температура аумағында болуы қысқа мерзімді (аз уақытты) болғанда да түйіршіктер елеулі өседі.

Суытылу кезінде кері құрылымдық құбылыс – аустениттің ыдырауы қыздырудағыдан төмен температура, төменкөміртекті болаттарды пісіруде орын алатын суытылу жылдамдықтары шегінде әдетте 150°C өтеді. Бастапқы аустенит түйіршіктері ірі болған аумақта толық суытылған соң, ірітүйіршікті металл қалыптасады. Сондықтан A_3 тең, T_c -қа дейін қыздырылған аумақта металл құрылымы бірдей емес, өзгешелікте болып қалыптасады. A_c температурасынан сәл жоғары қыздырылған аумақта металл ұсақ түйіршікті болып қалыптасады. Термиялық өңдеуде нормазациялауда қалыптасатын құрылымға сәйкес. Солидус T_c температурасына жуық қыздырылған аумақта суытылуда қалыптасқан құрылым асақыздыруға тән ірітүйіршікті болады. Бұл аумақта түйіршіктер қорытпалану аумағы бағытында ірілену көріністі болады.

Асақыздырылу аумағы әдетте $1100\text{--}1200^{\circ}\text{C}$ -тан жоғары қыздырылған және көрсетілген жоғары температура әсерінде

болу уақыт ұзындығымен температуралық әсер уақыты пісіру тәсіліне байланысты. Газбен пісіруде асақыздырылу аумақ температурасы 1100°C , электрдоғалы пісіруде 1200°C , одан жоғары болуы ықтимал.

Асақыздырылған аумақта толық салкынданғанда айырықша видманштеттік құрылым қалыптасуы орын алады. Бұл құрылым аустениттен бөлінген феррит бір-біріне 120° бұрышты айқын бағыттаумен айрықшалаанады. Видманштеттік құрылым металдың морттануына, соғудағы тұтқырлығы $((0,2-0,3) \text{ МДж/м}^2)$ төмендеуіне алып келеді. Жік аумағында видманштеттік құрылым қалықалыптасуы газбен пісіруде жоғары бейімділікті, электрдоғалы пісіруде ықтималдық төмен.

Қыздыруда A_3 температурадан шамалы ғана жоғары қыздырылған аумақ майдатүйіршікті құрылымды болады. Бұл аумақтың кешенді механикалық қасиеттері (беріктік, созымталдық, тұтқырлық) жеткілікті дәрежеде жоғары болып келеді.

A_{C1} - A_{C3} аралығында қыздырылған металл мөлшерінде алшақтық сезілмейтін феррит түйіршікті, сонымен қатар түйіршіктері бөлшектенген және жұмырланған перлитті учаскелі болып қалыптасады.

Ыстықта илемделген немесе пісіру алдында жұмсартылған металда A_{C1} температурасына дейін қыздырылған аумақта құрылымдық өзгеріс орын алмайды. Бірақ металл құрамында газдар (азот, оттек) жоғары шекті шамада болғанда пісіруде $\sim 350^{\circ}\text{C}$ -тан жоғары қыздырылған аумақта металдың соғуда тұтқырлығы төмендейді. Бұл құбылыс металда ескіру құрылымдық өзгерісіне байланысты.

Егер металл пісіруден бұрын бекемделген болса, (салкындай илемдеу, қалыптау, ию, т.б. өңдеу нәтижесінде) онда пісіруде A_{C1} -ден төмен температураға қыздырылған аумақта да құрылым өзгерісі өтеді. Бұл жағдайда A_{C3} -тен жоғары температураға қыздырылған аумақта суытылғандағы құрылым ыстықтай илемделген немесе жұмсартылған металдағыдай болады. Төмен температурада жинақты рекристаллизация өтеді нәтижесінде түйіршіктер едәуір өседі. Рекристалданудың төменгі температуралық шегі нақтылы металға тән рекристалдану температурасының төменгі шегінен біршама жоғары.

А.А. Бочвар анықтауы бойынша таза металдың рекристалдану температурасының төменгі шегі

$$T_{\rho_{min}} \approx 0,4T_{\text{бл.}}, \quad (4.1)$$

мұндағы $T_{\rho_{min}}$ – рекристалдану минималды температурасы, К;
 $T_{\text{бл.}}$ – металдың балку температурасы, К.

Сонда темір үшін рекристалдану минималды температурасы ~ 723 К (450°C). Әдетте пісірілген жалғаста рекристалдану $520\text{-}525^{\circ}\text{C}$ -дан жоғары қыздырылған аумақты байқалады.

4.3. Шынығуға бейімді болат және шойынды пісіруде термиялық әсер аумағының құрылымы және қасиеті

Төменкөміртекті легіріленбеген болаттар A_{C_3} температурадан салқындауда суытылу жылдамдығының өзгеруіне сезімталдық көрсетпейді. Бұл болаттарда шынығу құрылымы қалыптаспайды. Күй диаграммасына сәйкес аустениттің қалыпты ыдырауы орын алады.

Болат құрамында көміртек шамасы өскен сайын және легірлеуші элементтер төменлегірлеу шегінен жоғары болғанда A_{C_3} температурадан салқындау кезеңінде күй диаграммасынан

дағыдан төмен температураға дейін аустенит тұрақтылық көрсетіп, соңғы құрылым мартенсит қалыптасады. Осындай құрылымды болаттарды шынығуға бейімді болаттар деп атайды. Мартенсит көміртектіктің α -темірде аса қаныққан ерітіндісі. Мартенсит құрылымды болаттың беріктігі және қаттылығы жоғары, бірақ созымталдығы және тұтқырлығы төмен. Жоғары және төменгі температуралы жасыту термоөңдеу нәтижесінде, болаттың беріктігін төмендетумен қатар созымталдығын өсіруге болады. Мартенсит қалыптасуы тепе-тендікке сәйкессіз шынығу құрылымы болып аталады. Болаттың тепе-тендіксіз шынығу құрылымдылыққа бейімділігі аустениттің изотермиялық ыдырау диаграммасымен (S- үлгілі қисық сызықты) сипатталады.

Көміртекті болаттарда аустениттің диффузиялық механизмімен ыдырауы тепе-теңдікке жуық құрылым қалыптасуымен өтеді. Бұл жағдайда феррит-цементит құрылым қалыптасады. Аустениттің ыдырауы салыстырмалы жоғары температурада өтсе, перлит түйіршіктері бөлінеді. Ыдырау температурасы төмендесе, мұны аустениттің аса салқындауы дейді, аустениттің тұрақтылығын сақтау уақыты қысқарады, қалыптасқан құрылым дисперстігі (майдаланылуы) өседі, мұндай құрылым сорбит деп аталады.

Әр болат маркасына тән температурадан T_m төмен температурада аустениттің ыдырауы, диффузионсыз өтеді де соңғы мартенситті құрылым кристалл торының ішкі жазықтық беттерде өзара қатынасты жылжуымен қалыптасады.

Аустенит тұрақтылығының минималды температурасынан T_{min} төмен, бірақ мартенсит қалыптасуынан басталу температурасынан T_m жоғары температура аралығында құрылым аралық сипатты болып келеді. Мұндай құрылым бейнит болып аталады.

Үздіксіз суыту жағдайында аустенит ыдырау кинетикасының температура мен уақытқа тәуелділігі изотермиялық жағдайдағы ыдыраудан айырықша болып келеді. Аустениттің анизотермиялық ыдырау сызығы болатты тұрақты аустенитті күйінен әртүрлі жылдамдықпен суытуда қалыптасқан құрылымдарға (кейде қаттылық көрсеткіштеріне) негізделіп анықталады. Анизотермиялық аустенит ыдырау қисық сызықтары изотермиялық S – үлгілі ыдырау қисық сызықтарынан күрделі болып келеді.

Бірқатар көміртекті және төменлегірленген болаттардың беріктігін өсіру олардың құйманы суытуда аустенит ыдырау процесін тежеу бағытында өзгертуге негізделген. Сондықтан мұндай болаттарды пісіруде термиялық әсерімен A_{C_3} температурасынан жоғары қыздырылған металл көлемінде

шынығу құрылымы қалыптасу ықтималдығы жоғары болып келеді. Мұндай құрылым әдетте морт, сондықтан пісірілетін бұйымда, температура өрісінің біртекті болмауынан ішкі кернеу және деформация орын алуында, пісірілген жалғаста сызаттану қаупі өседі және сызаттану жиі орын алады. Мартенситтің

тығыздығы аустениттен төмен, аустениттен мартенсит қалыптасуында құрылымдық өзгеріс әсерінен ішкі кернеу орыналады, мұны *ішкі құрылымдық кернеу* деп атайды. Бұл болмыста пісірілген жалғас сызаттану ықтималдығын өсіреді. Жоғарыда келтірілген себептерге байланысты морт құрылымдар қалыптасқан жағдайда, пісірілген жалғаста іс жүзінде сызаттану орын алады. Сондықтан бұйымды пісіру технологиясы (пісіру тәсілін пісіру материалдарын таңдау, пісіру ережесін анықтау, т.б.) пісірілген жалғаста морт құрылымдар қалыптасуын максималды шектеуді қамтамасыз етуі шарт. Бұл әсіресе металл қалыңдығы жоғары құрылымды пісіруде өте маңызды.

Морт құрылымды аумақ өте төмен мөлшерлі болса, морт құрылымдар өзара созымтал құрылымдармен бөлшектеніп келсе, пісірілген жалғастың салқында сызаттану ықтималдығы төмендейді. Егер термиялық әсер аумағында металдың шынығуын морт құрылым қалыптасуын толық тежеу, жол бермеу мүмкін болмаса, онда жік металын созымталдығы жоғары етіп қалыптастыру қажет. Осы мақсатта екі тәсіл қолданылады. Бірінші тәсіл – жік металы легірлеу арқылы аустенит құрылымды (әдетте хромникельді аустенитті болат) болып қалыптастыру. Екінші жолы – жік металын төменкөміртекті, легірленуі негізгі металдан төмен етіп қалыптастыру. Соңғы жағдайда, жік металының беріктігі қосымша термоөңдеусіз 790 МН/м^2 шамасында, созымталдығы жеткілікті жоғары болып келеді.

Төменлегірленген жік металын қалыптастыруда міндетті орындалатын шарт сутек шамасын максималды төмендету қажеттілігі. Құрамы төменлегірленген болатта құйма жік металының микроқұрылымы сорбит сипаттас болып келеді.

Термиялық әсер аумағында металдың құрылымы мен қасиеті болаттың құрамы және бұйымның әуелгі өңделуімен анықталады.

Пісірудегі термиялық циклде шынығатын көміртекті және төменлегірленген болаттарды пісіруде пісірілген жалғас термиялық әсер аумағында соңғы қалыптасқан құрылым және қасиеттерінің жалпы сипаттамасы төмендегідей. Бұйымның пісіруде A_{C_3} температурасынан жоғары қыздырылған аумағында

суытылу жылдамдығы жеткілікті жоғары болғанда шынықтыруға сәйкес құрылым қалыптасады. Белгілі шартты жағдайда болаттың химиялық құрамы, аустениттің ыдырау кинетикасын анықтайды; пісіру тәсілі және ережесімен анықталатын 1 м жік ұзындығына келетін энергия; металдың суытылу жылдамдығына әсер ететін бұйымның мөлшері, т.б. термиялық әсер аумағының құрылымы толық мартенситті немесе аустениттің тепе-теңдік жағдайда ыдырау өнімдері (мұны тепе-теңдікке тән құрылым деп атайды) аралас құрылымды болып келеді.

Аса қыздырылған аустениттің (қорытпалану ушаскесіне іргеліс, $\sim 1200^\circ\text{C}$ тан жоғарылау температураға қыздырылған аумақта) ыдырауында, A_{C_3} температурадан сәл жоғары

қыздырылған учаскемен салыстырғанда, ірі түйіршікті, ине сипатты жіңішке призма түйіршікті мартенсит қалыптасады. Қорытпалану учаскесінің құрамы негізгі металл құрамына сәйкес болғандықтан, құрылымы аса қыздырылған учаскеге сәйкес болып қалыптасады.

Пісіруде $A_{C_1} A_{C_3}$ температура аралығына қыздырылған аумақта ішінара шынығуға тән құрылым қалыптасады, аралас құрылымды болып келеді. Мұнда металдың қаттылық көрсеткіші A_{C_3} -тан жоғары температурадан суытылған металл қаттылық көрсеткішінен төмен болады. Қарастырылып отырған термиялық әсер аумағының соңғы құрылымы металдың пісіру процесінен бұрынғы құрылымына, мұны бастамалық құрылым дейді, тәуелді емес.

Егер бастамалық күйде металл шыныққан болса, онда A_{C_3} -тең жоғары қыздырылған аумақ жоғары жылдамдықты суытылған жағдайда, шынықтыруға тән құрылымды, ал $A_{C_1} - A_{C_3}$ аралығындағы температураға қыздырылған учаске ішінара шыныққан құрылымды болып қалыптасады. Егер пісіру процесі алдында жасыту термиялық өндеуден өтсе де, A_{C_3} -тең жоғары

температураға қыздыру және тез суыту нәтижесінде шынығу құрылымы қалыптасады.

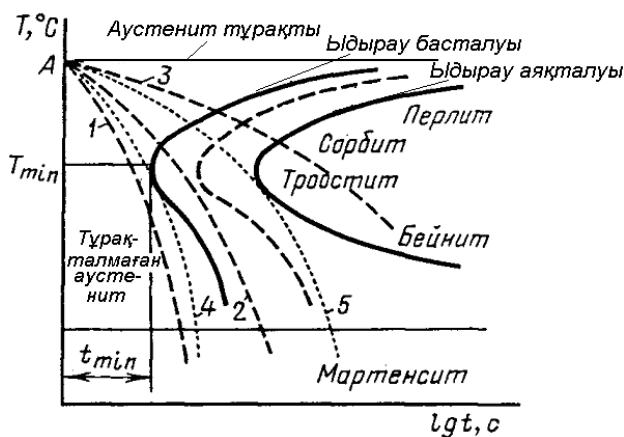
A_{C_1} -ден төментемператураға қыздырылған учаскеде металдың құрылымы мен қасиеті бастамалы шынықтырылған, жоғары - немесе төмен жасытылған күйіне байланысты әртүрлі болып қалыптасады.

Термиялық әсер аумағының бастамалық күйде шыныққан максималды A_{C_1} -ден төмен температураға қыздырылғанда (көміртекті болаттар үшін 720°C -тан төмен), жасытуға тән (температура және уақытқа байланысты өзгешелігі бар) құрылымды болып келеді. Ішінара шынықтыру құрылымды учаскеде қысқа мерзімді жасыту, әдетте сорбит құрылымды болып келеді. Жік металынан қашықтатылған сайын (жасыту температурасы максималды) төмендейді және бұл температурада металдың жалпы болу уақыт ұзақтығы қысқарады. Сондықтан шынықтырылған металдың жасытылу дәрежесі төмен болып, металдың жоғары қаттылығы сақталады. Қорытпалану аумағына іргелес учаскеде мартенсит сақталады. Алайда, бұл мартенсит пісіруде қыздырылу әсерінде болғандықтан, торындағы кернеу біршама бәсеңдеп, кристалл торының тетрагональдығы кеміп, текшелігі артады. Металдың қаттылық көрсеткіші төмендегенмен, созымталдығы және тұтқырлығы жақсарады.

Термиялық әсердің жоғарыда атылғандай, құрылымды және қасиетті учаскесі $200\text{--}250^{\circ}\text{C}$ -қа қыздырылған аумақта орын алады.

Үздіксіз суытылу жағдайында аустениттің ыдырау қисық сызығы изотермиялық S үлгілі ыдырау қисық сызығын логикалық өзгерту, «түзету» арқылы жасалуы мүмкін. Мұндай өзгерту қарапайымдығынан, дәлділігі төмен ыдырау қисық сызығын береді, алайда аустениттің анизотропиялық ыдырауын жалпы бағыт, сипаттамалық дәрежеде талдауға, шолуға мүмкіндік береді. Болатты орташа суыту жылдамдығына сәйкес, мұндай суыту жылдамдығы әдетте пісіру процесінде орын алады, S үлгілі изотермиялық ыдырау қисық сызығын

анизотермиялық көрініске келтіру сұлбасы 4.2-суретте келтірілді.



4.2-сурет. Аустениттің изотермиялық ыдырау қисық сызығы және анизотермиялық ыдырау сипаттамасы

Тұтас қоюсыздық изотермиялық аустенит ыдырауының басталуы, S үлгілі қисық сызығы.

Үзілісті сызықша әртүрлі пісіру тәсілдеріне байланысты суытылу жылдамдығына сәйкес; пунктир мартенсит толық қалыптасатын және толық орын алмайтын минималды және максималды суыту жылдамдығы.

Суретте келтіргендей, А нүктесіне сәйкес температурада аустенит толық тұрақты. Қою үзіліссіз сызықтар аустениттің изотермиялық ыдырауының басталуы және аяқталуы, бұл сызықтар S үлгілі қисық сызықтар. Сызықшалармен көрсетілген қисық сызықтар 1, 2, 3 пісіру тәсіліне тән метр ұзындыққа келетін жылу қуаты q_n болғанда, суытылу жылдамдығы әртүрлі болуында аустенит ыдырасуы анизотермиялық жағдайда. 1 – сызық электрдоғалы, 2 – сызық газбен, 3 – сызық электрқожды пісіруде. 1 – сызық толық изотермиялық сызықтың ішкі жағында (уақыт өлшемнің бастамалық аустенит ыдырауы басталу сызығына дейін инкубациялық учаскеде), тек мартенситтік құбылыс сызығын қиып өтеді. Сондықтан соңғы

құрылым мартенсит болып қалыптасады. Қисық сызық 2 аустенит ыдырауында тұрақтылықты өнім қалыптасу сызығын және мартенсит сызығын қиып өтеді. Сәйкес соңғы құрылым аралас болып қалыптасады. Қисық сызық 3-ке сәйкес құрылым сорбит болып қалыптасады.

Егер пунктир сызық 4-ке сәйкес келетін суыту минималды жылдамдығында ω_{C_1} толық мартенсит қалыптасатын болса, ал пунктир сызық 5-те мартенсит мүлдем қалыптаспайтын максималды суыту жылдамдығы болса ω_{C_2} , онда аталған суыту жылдамдықтардың жуықтатылған шамасын төменде келтірілген формулалармен есептеп шығаруға болады:

$$\omega_{C_1} = T_1 - (T_{\min} - 55) / (2 \cdot 1,5 t_{\min}), \quad (4.2)$$

$$\omega_{C_2} = (T_1 - 350) / (2 \cdot 1,5 t_{350}), \quad (4.3)$$

мұндағы T_1 – минималды жылдамдықпен суытылуда аустениттің ыдырау температурасы (A_{C_1}), $T_{\min}$ – изотермиялық жағдайда аустенит тұрақтылығының минималды температурасы, $^{\circ}\text{C}$, $t_{\min}$ – аустениттің изотермиялық ыдырауы басталауының инкубациялық кезеңінің минималды мәні.

(4.3) теңдеуінде, яғни температура 350°C шынығуға бейімді құрылымдық болаттардың басым көпшілігіне тән мартенситке ауысу температурасы, мұны, әдетте, мартенситтік нүкте деп те атайды.

(4.2) теңдеуінде температура 350°C құрылымдық болаттарға жиі тән мартенситтік нүкте. $T_{\min}$ температура шамасы изотермиялық ыдырауға тән шамасынан үздіксіз суытуда төмендейді және бұл төмендеу басымдылықты жиілікте 55°C болып келеді. (4.2) теңдеуде 55 айтылған $T_{\min}$ температураға түзету.

(4.2) – (4.3) теңдеулер бөлімінде келтірілген түзету коэффициенті 2 аустениттің ыдырау алдындағы кезеңде толық гомогенденбенуін ескеру коэффициенті.

Пісіруден бұрын шынықтырылған және жасытылған болатта құрылымдық өзгерістің төменгі температурасы іс

жүзінде алдыңғы жасыту температурасымен анықталады. Мысалы, егер металл пісіруден бұрын шынықтырылып, 500°C жасытылған болса, онда пісіру термиялық циклінде 500°C төмен қыздырылған аумақта, болат қасиетінде ешқандай өзгеріс болмайды. Аталған температурадан жоғары қыздырылған аумақта, құрылым және қасиет өзгеруі шынықтырылған болатты пісірудегіге ұқсас болып келеді.

Пісірілген жалғас термиялық әсер аумағында суытылу процесінде немесе толық салқындатылған соң біршама уақыт өткенде салқында сызаттану орын алады. Мұндай сызаттануға жол бермеу үшін шынығуға бейімді болаттарды пісіру технологиясын күрделендіруге, қиындатуға тура келеді. Пісірілген жалғастың салқында сызаттануға жол бермеу тәсілдерінің оң нәтиже беруі, бұйымды алдын ала толық немесе жергілікті қыздыру. Алдын ала қыздыру пісірілген жалғастың аустенит ыдырау температурасы аралығында суытылу жылдамдығын төмендетуі (баяулатады).

Алдын ала қыздыру температурасының шамасы болат сипаттамасына, қолданылатын пісіру тәсіліне және пісіру ережесіне тәуелді. Болаттың толық шынығуға бейімділігі неғұрлым жоғары болса, шынығуда қалыптасқан мартенситтің созымталдық қасиеті соғұрлым төмен болады. Сондықтан жік аумағында сызаттану ықтималдығы да жоғары. Мұндай болатты пісіруде алдын ала қыздыру температурасы да жоғары болуы шарт. Аустенит ыдырауы өтуіне сәйкес суыту жылдамдығын (4.2), (4.3) теңдеулері арқылы, оларға алдын ала қыздыру температурасы $T_0^{\circ}\text{C}$, мәнін қою арқылы есептеп шығаруға болады.

Болаттың шынығуға бейімділігін және шынығу қабілеттілігін (көлемдік толық шынығу) өсіретін негізгі элемент көміртек. Аустенит ыдырау жылдамдығын баяулататын легірлеуші элементтің әсерін олардың шамасын эксперименталдық зерттеулер нәтижесінде анықтадық, коэффициенттер арқылы көміртекке эквиваленттік шамаға келтіріп есептейді. Аталған коэффициент қолданып есептелген болат құрамындағы жалпы көміртек шамасы «эквиваленттік көміртек» деп аталады.

Эквиваленттік көміртекті есептеудің бірнеше варианты бар. Солардың біреуі төменде келтірілді.

$$C_3 = C\% + \frac{Mn\%}{6} + \frac{Cr\%}{5} + \frac{V\%}{5} + \frac{Mo\%}{4} + \frac{Ni\%}{15} + \frac{Cu\%}{13} + \frac{P\%}{2}. \quad (4.4)$$

Теңдеудің оң жағындағы бірінші мүше болат құрамындағы көміртектің % шамасы. Алымында әр элементтің болат құрамында % мөлшері. Бөлімінде көміртекке эквиваленттік коэффициенті. C_3 – болат құрамында көміртек эквиваленттік көрсеткіші. Мыс болат құрамында $Cu \geq 0,5$ % фосфор $P \geq 0,05$ % артық болғанда есептеледі.

Егер $C_3 > 0,45 \div 0,55$ % болса, онда металл қалыңдығын ескеріп, алдын ала қыздыру қолдану ұсынылады. Ресейде бірқатар төменлегіріленген беріктігі өсірілген эквиваленттік көміртек жоғары $C_3 \approx 0,7$ %-ға дейін болатты төменсутекті электродпен доғалы пісіру алдын ала қыздырусыз арнайы технологиялық тәсілдер қолданып пісіру (жік ұзындығын блокқа бөлу, көп қабатты жік салу; кері бағытты қабаттастырып жік салу, т.б.) жүргізіледі. Алдын ала қыздыру, қолдану сенімді нәтижелілігі жоғары тәсіл.

Шынығуға бейімділігі аса жоғары болаттарды электрқожды пісіруде алдын ала қыздыру қолданбай жүргізуге болады. Мұнда энергиямен пісіруді нәрлендіру көзінен бұйымға келтірілген жылулық қоры алдын ала қыздырусыз да жік және жікаумағы металының суытылу жылдамдығын жеткілікті дәрежеде төмендетеді.

Шойынды балқытып пісіруде термиялық әсер аумағы шынығуға бейімді болатты пісіругегіе принципті ұқсас. Термиялық әсер аумағы пісіру тәсілдерінде (салыстырмалы жеңіл балқитын түсті металдар пайдаланып пісіру – дәнекерлеу тәсілін айтпағанда) ұқсас, тек ендік мөлшері төрт айырмашылықты құралады. Бірінші – толық балқытылған, пісіруде ішінара балқытылу орын алған учаске. Бұл учаске шойын құрамында 3 % көміртек болғанда температуралық интервал $1240-1160$ °C аралығымен анықталады. Алдын ала қыздырмай пісіруде металдың ($\sim 3\%C$; $\sim 2,5\%Si$) суытылу жылдамдығы ақшойын қалыптасуына алып келеді. Бұл аумақта шойын құрылымы мен қасиетіне пісіру материалдарының

құрамы белгілі дәрежелі әсер етеді. Пісіру материалдары арқылы графиттендіруші элементтер (C, Si, Ni, т.б.) өндіру мен термиялық әсер аумағының бірінші учаскесінде графиттендіру процесін өрбітуге болады.

Екінші учаске қыздыру температурасы 1160-тан 800 °C дейінгі аралықпен шектеледі. Бұл учаскеде тез суытылған металл аустениті соңғы нәтижеде жоғары көміртекті мартенсит құрылым береді. Бұл құрылымның қаттылық көрсеткіші жоғары және сызаттануға өте бейімді болып келеді.

Үшінші учаске 810–790 °C аралығымен шектеледі, мұнда қайта кристалдану (қайта түйіршіктену) орын алады. Құрылымы екінші учаскеден төртінші учаскеге ауысуға сәйкес құрылымды болып келеді.

Төртінші учаскеде белгілі дәрежеде қосымша графиттену және карбидтердің сферасы тануы орын алады. Шойын қасиеті бастапқы учаскелермен салыстырғанда жақсы көрсеткішті болады.

Шойын құрамындағы графит қосындылардың пішіні сәйкес 4 топқа топтастырылды:

- 1) сұр шойын (графит жұқа тілімше пішінді);
- 2) жоғары беріктікті немесе магнийлі шойын (графит шар пішінді);
- 3) соғылмалы шойын (графит жапырақша пішінді);
- 4) ақ шойын (графит химиялық қосынды Fe_3C түрінде).

Жоғарыда аталған шойын түрлерінің пісіруге бейімділігі төмен. Әдетте суытылу жылдамдығы шамасында ақ шойын қалыптасады. Мұнда графит бос түрінде емес, темір мен химиялық қосынды Fe_3C цементит түрінде қалыптасады да шойынды ақ шойын деп аталады. Ақ шойынның қаттылығы жоғары, оны кескіш аспаптармен механикалық өңдеу өте қиын, іс жүзінде мүмкін емес. Ақ шойын морт, деформациялану қабілеті өте төмен пісірудегі термиялық циклде туындаған кернеу әсерінен сызаттану орын алады. Әдетте машинажасау өнеркәсібінде сұр шойын және модификацияланған графит шар пішінді болып қалыптасқан шойын кең қолданылады. Бұл шойынның беріктігі жоғары, құрамына магний қосылған. Осыған орай, шойынның бұл маркасын жоғары беріктікті немесе

магнийлі шойын деп атайды. Әдетте пісіру процесі сұршойын; жоғарыберіктікті шойындардан өндірілген тетік, бөлшек, бұйымдарды жөндеуде қолданылады. Шойынды пісірудегі негізгі күрделілік жік металы және термиялық әсер аумағында ақшойын қалыптасуына, мұны шойынның ақтануы деп атайды, жол бермеу.

Осы мақсатта шойынның суытылу жылдамдығын неғұрлым төмендету қажет. Сондықтан шойын бұйымды алдын ала жоғары температурада қыздыру және өте баяу суыту пісіру технологиясы қолданылушы еді. Мұнда ірі мөлшері бұйымды пісіруде толық суытылу ұзақтығы тәулік өлшемдес уақытқа баратын. Қазіргі уақытта шойын құрылымын оның құрамына жік металына арнайы графиттендіруші элементтер қосу арқылы сұршойын қалыптастыру тәсілі және жік металына түсті металдар қосу қолданылады. Сонымен қатар алдын ала жоғары температураға қыздыру және баяу жылдамдықпен суыту технологиясы да қолданылады. Бұл тәсіл шойында ыстық күйде пісіру деп аталады және шойынды пісірудің ең ертеден келе жатқан принципті негіздерін Ресейде Н.Г. Славянов анықтап, қолдануға енгізген.

Қолданылатын пісіру материалдарына орай, қазіргі уақытта шойынды пісіру негізгі екі топқа бөлінеді: 1) балқытылған металл (жік металын) шойын болып қалыптастыру; 2) жік металы (балқытылған металл), болат немесе құрамында түсті металдар (мыс, никель, т.б.) қосындысы жоғары темір негізді қорытпа. Бұл екі топтың әрқайсысы айырықша нышандарына сәйкес пісіру тәсілдеріне топтастырылады, олардың арасында: алдын ала жоғары температураға қыздыру (ыстық күйде пісіру); алдын ала шамалы қыздырумен пісіру (қыздыру температурасы 300–400 °C-тан жоғары емес); салқындай (алдын ала қыздырмай) пісіру. Пісіру тәсілдері қолдан пісіру және механикаландырылған пісіру тәсілдері болып та топтастырылады.

Жік металын шойын етіп қалыптастыру бұйымды алдын ала жоғары температураға қызыдырылған ыстық күйінде жүргізіледі. Алдын ала қыздыру температурасы 600–700 °C. Пісіру аяқталған соң бұйым өте баяу 50...100 °C/сағ артық емес жылдамдықпен суытылады. Электрдоғалы қолдан және газбен

пісіру тәсілдері қолданылады, электрод металы (газбен пісіруде электрод диаметрі үлкен (12...14) мм, ток шамасында жоғары (1200-1300) °C болып саналады. Пісіру ваннасының көлемі әдеттегіден мол, ваннадан газ және бейметалл қоспалардың шығарылу мүмкіндігі жақсы.

Сұр шойынның сызаттануға бейімділігі төмен. Сұр шойын қалыптастыру үшін пісіру ваннасында графиттенуге ықпал ететін және сызықты шөгу шамасын төмендететін элементтер (көміртек, кремний, никель, т.б.) жеткілікті болуы керек. Қосымша металдың суытылу жағдайы графиттену процесінің толық өтуіне оң ықпалды болуы шарт.

Пісірілген жалғастың сапасы, оның механикалық қасиеттері тек қана жік металы қасиеттеріне байланысты емес, жік аумағы металының құрылымдық айналуына да тәуелді. Құрылымдық айналыстарға әсер ететін негізгі факторлар негізгі металдың химиялық құрамы; жік аумағы қыздыру және суыту жылдамдығы; жік металының (балқытылып қаптастырылған металдың) химиялық құрамы.

Кристалдану шарттарын өзгерту арқылы құрылымдық құрамдардың майдалық дәрежесін (дисперсиялығын) реттеуге, яғни пайдалы бағытта және қажетті дәрежеде өзгертуге болады. Осы мақсатта пісіру ваннасына арнайы элементтер – модификаторлар қосумен металдың механикалық және технологиялық қасиеттерін жақсартуға болады. Шойынды модификациялаудағы (түрөзгертудегі) негізгі идея эвтектикалық айналу шартын графитті эвтектика қалыптасатын ету және графиттің тұлғасы мен таралуы онтайлы болуы керек. Толық балқытылмаған аумақта (қатты-сұйық металдан тұратын қос фазалы аумақ) құрылымдық айналыс ең айқын өтеді. Шойынды алдын ала қыздырмай пісіруде, суытылу жылдамдығы 5 °C/с жағдайында 300...500 °C аралығында қорытпалану шекарасында ледебурит және мартенсит қабатшалар қалыптасады. Ледебурит қабатшаларының орын алуына пісіру ваннасының химиялық құрамы әсер етеді. Құрамында никель немесе басқа графиттендіруші элементтер көміртек, кремний, т.б. бар пісіру электродтары мен қосымша сым қолдану ледебурит қабатшалардың мөлшерін кемітеді. Графиттендіруші элементтер

концентрациясы және пісіру ережесі оңтайлы болған жағдайда ледебурит қабатшалары мүлдем орын алмайды. Жік аумағында мартенсит қабатшаларының болуы және олардың мөлшері электрод (қосымша сым) құрамына байланысты емес. Мартенсит қабатшаларының қалыптасуы негізінен пісіру ережесімен, яғни аустенит тұрақтылығы ең төмен температуралық интервалда суытылу жылдамдығымен анықталады.

Жік аумағында ледебурит және мартенсит қалыптасуына қарсы ең нәтижелі алдын алу шарасы бұйымды алдын алу қыздыру қолдану болып табылады. Қазіргі уақытта жік металының (балқытылып қаптастырылған қабаттың) оңтайлы химиялық құрамын қамтамасыз етумен шойынды алдын ала қыздырмай немесе салыстырмалы төмен температураға қыздырып пісіру технологиясы бар. Осы мақсатта өндірілген пісіру материалдары (қаптамалы электрод, электрод сым, ұнтақты сым) бар. Нақтылы шойын маркасын, бұйым құрылымы ескеріліп анықталған пісіру ережелері бар.

Шойынды қосымша металмен төмен температуралы пісіру – дәнекерлеу тәсілі. Бұл тәсілмен пісіруде қосымша металл шойын сотан және флюс қолданылады. Мұнда тек қосымша сым (сотан) және флюс балқытылады, негізгі металл балқытылмайды. Пісіру – дәнекерлеу деп аталуы осыдан. Пісіруге дайындалған үстіңгі бет газ шілтермен 800-850 °С дейін қыздырылады. Температура индикаторы флюс болып табылады (флюс сұйық күйге көшеді) Қосымша металл – белгілі құрамды шойын балқытылады, бірақ белгілі көлемді пісіру ваннасы қалыптастырылмайды. Балқымалы металл пісіру орнына тамшыланып беріледі. Пісірудің бұл тәсілі механикалық өндеуден соң, (бұйымның үстіңгі бетінде анықталған майда ақауларды балқытып қаптастыру мен толтырумен) жөндеу мақсатында қолданылады. Олқылығы пісіру техникасының күрделілігі өнімділігі төмендеу. Ұтымдылығы өте ұзақ қыздырмай жүргізілуінде және тәсілдің нәтижелілігі жоғары.

Шойынды ұнтақты сыммен пісіру. Шойынды ұнтақ сыммен пісіру құйма бөлшектерде ақаулықтарды жөндеуде, әсіресе негізгі металмен балқытылып қаптастырылған металдың құрамдық біртектілігін қалыптастыруда өте оңтайлы. Мұндай

талап әсіресе химия өнеркәсібі машиналарында жиі қойылады. Сонымен қатар, жік металы құрамын өзгерту арқылы жік металында да ледебурит қалыптасуына жол бермеуге болады. Мысалы, 1250-1000 °C температура аралығында суытылу жылдамдығы 25 °C/c жағдайында жік металы құрамында 4,5–5 % C және 4-4,5 % Si болғанда қорытпалану шекарасында ледебурит қалыптасуына жол бермеуге болады. Пісірілген жалғаста мартенсит құрылымы қалыптаспауы үшін, жік аумағы металының суытылу жылдамдығы 3,5–4 °C/c төмендеу болуы жеткілікті. Балқытылған металл құрамының талапқа сәйкес қалыптасуын қамтамасыз ететін ұнтақты сымдар өндіріледі және пісіру процесін механизациялау шешілген. Көп жағдайларда ұнтақты сымдар пісіру аумағын қосымша оқшаулау тәсілдерін қолданбай жүргізуге мүмкіндік береді.

Ресейде ұнтақты сымдар қолданып ірі мөлшері шойын бұйымдарды алдын ала жоғары температураға қыздырып; төментемпературалы қыздыру (30-400 °C) қолданып және алдын ала қыздырмай пісіру технологиясы игерілген. Айтылған мақсатта ПП4-1, ПП4-2, ПП-3 маркалы ұнтақты сымдар өндіріліп қолданылады. Машина жасау, металлургия өнеркәсібінде құйма шойын бұйымның ақаулықтарын жөндеуде жергілікті және жалпы (толық) алдын ала қыздырып, ПП4-2 маркалы ұнтақты сыммен механизацияланған пісіру тәсілі жиі қолданылады. Жоғарыда көрсетілген ұнтақ сым үлкен мөлшері құйма ойықтарын, қалыңдығы жоғары тұғыр, турбина тұрқы, т.б. құймаларда кездесетін толтырылмаларды пісірумен толтыруда қолданылады. Шойын пісіруге арналған ұнтақ сымдар компоненттері ретінде арзан тапшылықты емес материалдар пайдаланады. Осыған орай және механизацияланған пісіру өнімділігі жоғары болып келетіндіктен, балқытылып қаптастырылған металл салыстырмалы төмен бағалы болып келеді.

4.4. Көпқабатты жікпен қалыптасқан жалғас құрылым ерекшеліктері

Жоғары қалыңдықты металды пісіруде, металл қалыңдығын бір ретті жікпен толық қамту технологиялық өте күрделі

болатындықтан, көпқабатты жік салуға тура келеді. Бұл жағдайда әр келесі балқытылған металл білікшесін салуда, алдыңғы жік қабаты және термиялық әсер аумағы металының термиялық цикліне қосымша жылулық әсер келтіріледі. Осы қосымша термиялық әсер салдарынан алдыңғы жік металы мен жік аумағы металында құрылымдық құбылыс орын алады және бұл құбылыс тепе-теңдік бағытында өтуге ынталы. Нәтижесінде металдың құрылымы мен қасиетті өзгереді, өзгеру дәрежесі әр келесі қабат салуда сәйкес термиялық әсермен анықталады (максималды қыздыру температурасы, суытылу жылдамдығы, т.б.). Мұнда әр келесі балқытылған металл білікшесі көлемінің қорытпалану шекарасынан қашықтығы пісіру тәсілі және метр ұзындыққа келетін энергияның мәні зор.

Қарапайымдатылған екі жақтан металл қалыңдығын толық қамтып, түйістіріліп пісірілген жалғаста жіктерді 1 және 2 қабат деп қарағанда, 2 қабаттың 1 қабат жік металы мен термиялық әсер аумағына қосымша термиялық әсері сұлбасы 4.3-суретте келтірілді. 1 жік металының 1 нүктесін, термиялық әсер аумағының 1' нүктесінде (4.3а-сурет) термиялық әсер 4.3 б-суретте температураның уақыт өтуінде өзгеруі 1 қисық сызықпен сипатталады. Пісіруге жататын металл және жік металы сындық температурасы A_{C_3} болат деп алайық.

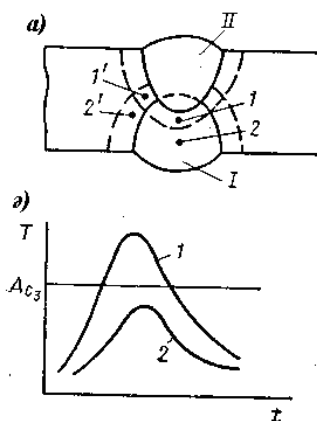
Температура A_{C_3} екі рет қыздырудағы цикл 1 бойынша

максималды температурадан қарастырылушы көлемде бірінші жік металы аустенит құрылымға ауысады да құрамына сәйкес құрылым қалыптасады. Егер шынығуға бейімді болса, онда 1 жік қабатының термиялық әсер аумағы 2 жік қабатын салуда температура A_{C_3} -тен жоғары қыздырылады да суытылуда

шынығады. Әдетте жік металы құрамында көміртек шамасы негізгі металдағыдан төмен болып келеді. Сондықтан 1 қисық сызыққа сәйкес қосымша термиялық әсер ережесі шынықтыру әкелмейді, нормализациялау типіне тән термиялық өңдеу өтеді. Жік температура A_{C_3} -тен жоғары қыздырылған аумақта майда

түйіршікті жақсартылған құрылым болып қалыптасады.

Бірінші жік металы және термиялық әсер аумағының көлемі, 2 және 2' нүктелермен белгіленген



4.3 а-сурет. Екі қабат жікпен пісіруде термиялық әсер сұлбасы
 а – қалыптасқан жік; I – бірінші салынған жік; II – екінші салынған жік; 1, 2 – бірінші жік көлеміндегі нүктелер;
 1', 2' – бірінші жік термиялық әсер аумағы;
 б – уақыт өтуінде температура өзгеруі;
 1 – бірінші жік металының 1 нүктесінде;
 2 – аталған нүктеде екінші жік қабаты жүргізілгенде

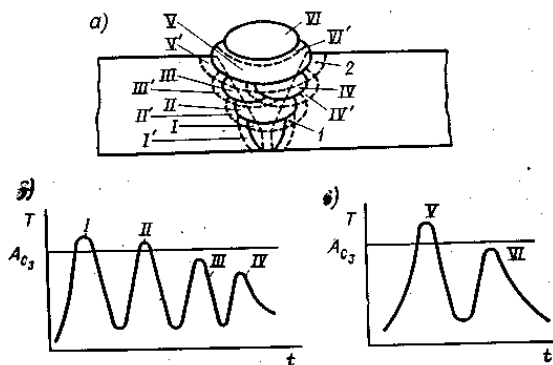
(4.3а-сурет) екінші жік қабатын салуда A_{C3} температурадан төмен температураға қыздырылады. Шағын аумаққа осындай термиялық әсер ету жасыту термоөңдеуге сәйкес. Жасыту екінші жік қабатының қорытпалану аумағынан қашықтаған сайын бәсеңдеуде болады.

Бірінші жік қабатының 4.3-суретте көрсетілген температуралық ережеде қыздырылған аумағында егер, жік металы шынықпаған болса, елеулі құрылымдық өзгеріс орын алмайды. Алайда құйма металдың созымталдығы біршама жақсартады. Сындық температурадан көп төмен температураға қыздыру аталғандай жік металының құрылымы мен қасиетіне әсер етпейді.

Металл жиектерінің аралығы көп қабатты жікпен толтырылғанда да әр келесі жік қабатының қосымша термиялық әсері жоғарыда келтірілген сұлбаға сәйкес орын алады.

Шынығуға бейімді болатты пісіруде ең күрделі жағдай бірінші жікті (мұны «түбір жік» деп атайды) жүргізуде орын алады. Мұнда A_{C_3} температурадан жоғары қыздырылған аумақ металы шынығады. Екінші жік қабаты жүргізілгенде бірінші жік қабаты тағы да A_{C_3} температурадан жоғары қыздырылады да екінші рет шынығады. Үшінші жік қабатын жүргізуде бірінші жік қабаты металы A_{C_3} температурадан төмен температураға қыздырылады да, оның құрылымы жасыту термоөңдеуіне тән болып қалыптасады. Бұл термиялық цикл 4.4 ә-суретте келтірілді. Ең үстіңгі жік қабаты жүргізуде A_3 -тен жоғары қыздырылған үстіңгі металл аумағы шынығады. Егер үстіңгі жік қабатының бетіне, металл жиектері аралығын толтыру, толық жік қалыптастыру мақсатында қажетті болмаса да, қосымша балқытылған металл білікше салынса, металда жалпы жылу қорының өсуіне орай, металдың суытылу жылдамдығы баяулайды, термиялық цикл температура жасыту температурасына сәйкес болады да, шыныққан құрылым орын алмайды. Жік аумағы металының құрылымын жоғарыда айтылған тәсілмен жақсарту *жұмсарту білікше салып* пісіру болып аталады (4.4 а-сурет).

Көп қабатты жік салуда жік металы құрылымының жақсарту дәрежесі неғұрлым толық болуы үшін әрі келесі жік қабаты жүргізілгенде, алдыңғы жік қабаты металы толыққа жуық (көлденең қимасын қарағанда) A_3 температурасынан жоғары қыздырылуы керек. Сондықтан әр кезекті жік пісіру ережесі мен алдыңғы жік қабаты көлденең қимасы ауданы арасында белгілі дәрежеде сәйкес болуы керек. Электрдоғалы балқымалы элетродпен пісіруде балқытылған электрод металы білікшесі көлденең қимасы және бұйымда орын алған температура өрісі пісіру ережесімен анықталады. Сондықтан кезекті екі жік жүргізу ережелерінің өзара сәйкес, метал құрылымы оңтайлы қалыптасуына оң ықпалды болуын табуға болады.



4.4-сурет. Көп қабатты жікпен пісіруде уақыт өтуіне температура өзгеруі

Жоғарыда келтірілген мысалдарға әр келесі жік қабаты алдыңғы жік толық салқындағанда (бөлме температурасына дейін) жүргізіледі деп есептеледі. Температураның әр циклде толық суытылуға жетуі мол ұзындықты жіктерді пісіруде орын алады. Қысқа жіктерді немесе ұзын жікті технологиялық қысқа учаскелерге бөліп пісіруде, алдыңғы жік және бұйым әлі ыстық күйінде, келесі балқытылған металл білікшесі салынады. Сонда келесі жік (білікше) қабаты алдын ала қыздырылған металл салынған болады. Пісіру ережесі бірдей болған жағдайда, бұйымды алдын ала қыздыру балқыту тереңдігінде, A_{C_3} температурадан жоғары қыздырылған аумақты да ұлғайтады. Мұндағы алдыңғы жікті келесі жік жылулық толқынымен қыздыру салқындауда жылу өрісінің әртүрлі тарамына келеді және алдыңғы жікті жүргізудегі метр ұзындыққа тән энергияға, жылу таралу шартына, жік учаскесінің ұзындығына тәуелді.

Егер алдыңғы жік металы температурасы салқындауда T_b шамасынан төмен болмауы талап етілсе, онда келесі жылу толқыны келтірерде жік ұзындығы $l_{жс}$ шамасын есептеп табуға болады. Мұндай есептеу төмендегі теңдеумен есептеледі.

$$l = 0,7 / K_1^2 K_2 q^2 / \left[\delta^2 \nu_n (T_e - T_o)^2 \right], \quad (4.5)$$

мұндағы T_0 – бұйымның бастапқы температурасы $^{\circ}\text{C}$, T_b – алдыңғы жік қабаты салынған соң, бұйымның шекті сытылу температурасы. Әдетте, жік аумағында сызаттануға қауіпті температурадан шамалы жоғары етіп алынады; K_1 – түзету коэффициенті, түйістірілген жалғас үшін $K_1=1,5$; таврлы жалғас үшін $K_1=0,8$; K_2 – доғаның жалындалу коэффициенті $0,5 \leq K_2 \leq 0,8$.

Жікті қысқа учаскелі етіп пісіру қолдан және жартылай автоматты пісіруде қолайлы.

4.5. Термиялық өндеудің пісірілген жалғас құрылымы мен қасиетіне әсері

Пісірілген жалғас құрылымы мен қасиетін жақсарту (жетілдіру) үшін дайын бұйымды термиялық өндеуден өткізу, мұны «қосымша термиялық өндеу» деп атайды.

Төменкөміртекті легіріленбеген болаттардан жасалған құрылымдар тек электрқожды тәсілмен ішінара газбен пісірілген жағдайда ғана қосымша термиялық өндеуден өткізіледі.

Электрқожды пісіруде термиялық цикл әсерімен жік аумағында температуралық және уақыт өлшемінде аса қыздырылу орын алады да, металл түйіршіктері елеулі өседі. Бұл әсер нәтижесінде ірі түйіршікті жік аумағы металының соққы тұтқырлығы негізгі металға тән көрсеткіштен еселеп төмендейді ($1,47 \text{ МДж/м}^2$ -тан $0,2 \text{ МДж/м}^2$ -қа дейін).

Нормалдау және босандату термоөндеуден өткізу арқылы металдың тұтқырлығы мен созымталдығын жетілдіруге, соққы тұтқырлығын ($0,8-1,0$) МДж/м^2 өсіруге болады. Бұйымның сыртшекті мөлшері ірі болғанда аталған термоөндеу жүргізу мүмкін емес жағдай болады. Кей жағдайда электрқожды пісірумен өндірілген бұйымға тек жоғары температуралы босандату термиялық өндеу қолданылады. Мұнда жік аумағы құрылымында елеулі өзгеріс өтпейді, бірақ белгілі дәрежеде ішкі құрылымдық кернеу төмендейді, жік аумағында металл каттылығы біркелікті жағдайда келеді.

Орта қалыңдықты металды газжалынымен пісіруде кейде жергілікті термоөндеу жүргізіледі, осы мақсатта газ шілтер

жалыны қолданылады. Нәтижесінде пісірілген жалғас металының құрылымы және қасиеті жетілдіріледі.

Электрдоғалы және түйіспелі электрлі пісіруде металл құрылымын жақсарту мақсатында қосымша термоөңдеу қолданылмайды.

Көміртекті (орташа және одан жоғары), әсіресе легіріленген болаттарды пісіруде жік металы және термиялық әсер аумағы құрылымы мен қасиетін жақсарту үшін қосымша термиялық өңдеу жиі қолданылады. Осы мақсатта әдетте жоғары жоғарытемпературалы жасыту қолданылады. Термоөңдеу нәтижесінде сорбит құрылым қалыптасады, жік металының механикалық қасиеттері дәрежеде жақсартылады.

Легіріленген болаттан пісіру тәсілімен құрылымдарды термиялық өңдеу, әдетте, екі мақсатты жүргізіледі – болат құрылымы мен қасиетін жақсарту және ішкі кернеуді жою. Құрылымның шыныққан аумағында құрылымын және қасиетін жақсарту үшін жоғары температуралы босандату термоөңдеуі қолданылады. Төменкөміртекті болаттардан пісірумен жасалған құрылымдарды да 650 °C-та жасыту (төмен температурада жұмсарту) термоөңдеуден өткізеді. Аталған температура осындай болаттардың σ_t шамасы төмен, (10-20) МН/м². Термиялық өңдеу ішкі кернеуді жойып немесе елеулі төмендетіп, құрылымның жұмыстық қабілетін жақсартады.

Хромникельді аустенитті құрылымды ыстықта берік болаттар серпімділігін жоғары температурада сақтайды. Осындай болаттан жасалған құрылымдарда ішкі кернеуді төмендету үшін термоөңдеу 750–800 °C-та жүргізіледі және ішкі кернеудің нәтижелі төмендеуіне қол жеткізіледі.

Ішкі кернеуді жою термоөңдеуінде өңдеу температурасында ұстау уақыт ұзындығы әдетте бұйымның қалыңдығына байланысты анықталады, бұйым неғұрлым қалың болса, жоғары температурада ұстау уақытында соғұрлым ұзақ болуы керек. Негізінде бұйымды қыздыру температурасында ұстау уақытының ұзындығы металдың реалаксиялық қасиетімен анықталады.

Болаттан өзге түсті металл және қорытпалардан пісірумен өндірілген бұйым, құрылымдар да термиялық өңдеуден өтеді.

β – титан қорытпалары жік аумағы металының қасиетін жақсарту үшін термиялық өңдеу қажет. Титан α – қорытпаларын кейде ішкі кернеуді жою мақсатында термоөңдейді. Әдетте мұндай термоөңдеу 550-600 °C-та жүргізіледі. Егер одан да жоғары температураға қыздыру қажет болса, ауадан окшаулаушы атмосфера қолдану керек. Алюминий-мырыш-магний қорытпалары оңай шынығады, бұларды өздігінен шынығушы қорытпалар деп атайды. Пісірілген жалғаста сызаттану орын алмауы үшін ~180 °C-та жақсарту термоөңдеу жүргізіледі. Нәтижесінде құрылым жақсаруымен қатар ішкі кернеу төмендейді.

Мыстан жасалған пісірілген жалғас қасиетін жақсарту үшін оларды ~ 600 °C-қа дейін жедел суыту қолданылады. Жезден пісірумен жасалған жалғасты 550 °C-қа дейін қыздыру және баяу жылдамдықты суыту қолданылады.

Кей жағдайларда термиялық өңдеу пісірілген жалғастың эксплуатациялық қасиеттерін жоғарылатуға алып келмейді. Мысалы, төменкөміртекті болаттан пісіру тәсілімен жасалған құрылымды термиялық өңдеу пісіру аумағында механикалық өңдеуден қалыптасқан бекемдеуді жояды, бірақ оның қажуға қарсылық қасиетін төмендетуі мүмкін.

5. МЕТАЛДЫҢ ПІСІРУГЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ БЕЙІМДІЛІГІ

5.1. Пісіруге технологиялық бейімділік және оны бағалау

Пісіру процесінің мәні және жетістіктері барлық металл мен қорытпалардан қанағаттанарлық сапалы пісірілген жалғас қалыптастырады. Метал, қорытпаның физикалық пісіруге бейімділігі іске асуы үшін қасиеттер жиынтығы – сұйық (балқытылған) және қатты күйде диффузия, сұйық және қатты ертінділер қалыптасуы, балқытылған негізгі металл мен қосымша үйлесімді бірлесіп кристалдануы, т.б. жайлы тіркесімді жағдайда орын алуы шарт. Алайда, жоғарыда айтылған қасиеттер жиынтығы нақтылы жағдайда сапалы және экономикалық тиімді, эксплуатациялау жоғары талаптарына сәйкес пісірілген құрылым өндіруге толық кепілдік бола алмайды.

Негізгі металдың пісіруде термиялық цикл әсеріне сезімталдығын және қолданылатын пісіру технологиясында қасиеттері, құрылымының эксплуатациялауда сенімділік талаптарын қанағаттандыратын қасиеттер жинағы, металдың пісіруге технологиялық бейімділігі болып аталады.

Металдың пісіруге технологиялық бейімділігі негізгі металл қасиеттерімен қатар балқытылып қосылатын (қосымша, электрод сым) металл қасиетіне, пісіру тәсілі мен ережесіне, пайдалынатын флюс, электрод қаптамасы, оқшаулаушы газ, пісірілетін торап құрылымы және бұйымды эксплуатациялау шарттарына тәуелді.

Жалпы мақсатты тағайындалған құрылымдарды пісірумен өндіруде кең қолданылатын төменкөміртекті болаттың пісіруге жақсы бейімділігі болып, негізгі металл беріктігіне пара-пар, сызаттанусыз, жік металы мен жік аумағы металының созымталдығы төмендемеген арнайы тәсілдер (алдын-ала қыздыру, т.б.) қолданбай, әдетті технологиямен пісірілген жалғас қалыптастыру табылады. Мұнда пісірілген жалғас аумақтары жұмыс температурасында морт күйге ауысуға қарсы негізгі металмен бірдей тұрақты болуы керек.

Коррозиялық жебірлі ортада жұмыс істейтін легірленген болаттан жасалған құрылымдарда, жоғарыда айтылған талаптарға қосымша, жік металы және термиялық әсер аумағы коррозияға қарсы жоғары төзімділікті болуы шарт. Белгілі маркалы болат әдетте пісіру технологиясымен барлық эксплуатациялау шарттарын толық қанағаттарын пісірілген жалғас қалыптастырса, онда болаттың пісіруге технологиялық бейімділігі жақсы болғаны.

Құрылымның жұмыс атқару шарттары неғұрлым күрделі болса, соғұрлым материалдың пісіруге технологиялық бейімділігін анықтаушы қасиет көрсеткіштер саны мол болады. Бұл жағдайда сапалы, эксплуатациялау талаптарына сәйкес пісірілген жалғас қалыптастыру үшін, пісіру технологиясын күрделендіруге тура келеді (жік металын легірлеу, алдын ала қыздыру, термиялық өңдеу, оқшаулаушы ортада, вакуумда пісіру, т.б.)

Демек, пісіруге бейімділігі жақсы немесе нашар металдардың айыршылығы, екіншісінен эксплуатациялау талаптарына сай қасиеттер жинағына ие пісірілген жалғас қалыптастыру үшін пісіру технологиясының күрделі болуы қажеттігінде.

Пісіру технологиясы аса күрделіленген жағдайда, кейде, берілген материалдан (болат маркасынан) бастартып, басқа материал қарастыруға тура келетін жағдайларда орын алады. Нақтылы бір болат маркасы белгілі бұйымды пісірумен өндіруге жарамды, бірақ екінші бір бұйым үшін жарамсыз болып шығады. Хроммолибденді ($\sim 0,3\%$ C; $\sim 0,2\%$ Cr; $\sim 0,2\%$ Mo) болатты пісіруде алдын ала 200–300 °C-қа қыздыру (бұйым қалыңдығына пісіру тәсілі мен ережесіне орай) және пісірілген бұйымды термоөңдеу қажет. Егер жоғары жүктемелі жағдайда жұмыс істейтін пісірілген құрылым тетік мөлшері салыстырмалы төмен болса, онда жоғарыда аталған болатты пайдалану тиімді және нәтижелі болады. Егер бұйымның шеткі мөлшері ірі болса (көпір құрылымы, кеме секциялары, т.б.), онда бұл болатты қолдану, оның механикалық қасиеттері жоғары болғанмен мүмкін емес.

Төменлегіріленген болат маркаларының (мысалы, $\sim 0,1\%$ C; $\sim 0,8\%$ Cr; $\sim 1,0\%$ Si; $\sim 0,7\%$ Ni; $\sim 0,5\%$ Cu) пісіруге

технологиялық бейімділігі жоғары. Бірақ бұл болатты жоғарыжүктемелі машина тораптарын пісірумен өндіруге пайдалану орынды емес. Себебі, құрылымның талап етілген беріктігін қамтамасыз ету үшін мөлшері мен салмағын өсіруге тура келеді. Сонымен қатар аталған болатты алдын ала қыздыру, соңынан термоөңдеу іс жүзінде мүмкін емес, ірі сырт мөлшерлі құрылымдарды пісіруде қолдану жөн.

Кей жағдайда құрылым ерекшелігіне орай, материал тіркесімділігі, құрылымда жіктің орналасуы, жұмыс атқару шарттарына сәйкес пісіру технологиясы өзгеше болып келуі мүмкін.

Жоғарыда айтылғандардан металл және қорытпаның пісіруге технологиялық бейімділігін анықтау тек қана материалдың қасиетін емес, сонымен қатар құрылымы, сыртмөлшері, тағайындалу мақсаты, жік металының орналасуымен жұмыс атқару шартын ескеру шарт. Яғни, м е т а л д ы ң п і с і р у г е б е й і м д і л і г і, м а т е р и а л д а р, қ ұ р ы л ы м ж әне п і с і р у т е х н о л о г и я с ы ы з а р а т ы ғ ы з б а й л а н ы с т ы қ а р а л у ы к е р е к.

Пісіруге бейімділік бірқатар қасиеттер жинағымен анықталады. Қандай да болмасын бір сынау тәсілі кешенді пісіруге бейімділік түсінігін сипаттай алмайды. Сондықтан пісіруге бейімділікті бағалауда бірнеше сынау тәсілдері қолданылады, бұлардың әрқайсысы құбылыстың нақты бір қырын анықтайды.

Пісіруге бейімділікті анықтау сынақ тәсілдері құрылымның тағайындаған мақсаты, металл қасиеті, т.б. негізгі факторларға байланысты тандалады. Сынаудың барлық түрлерін пісірудегі ықтималды ақаулықты анықтау мақсатына сәйкес топтастырылады.

Металдың пісіруге технологиялық бейімділігін анықтау сынағы *ыстықтай сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау*.

Пісірудегі термиялық цикл әсерімен жік аумағында құрылымдық құбылыстар орын алады да, нәтижесінде металл пластикалық қасиеті төмендеп, салқында сызаттану орын алады. *Пісіруге бейімділікке сынаудың екінші тобы жікаумағы*

металының салқында сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау.

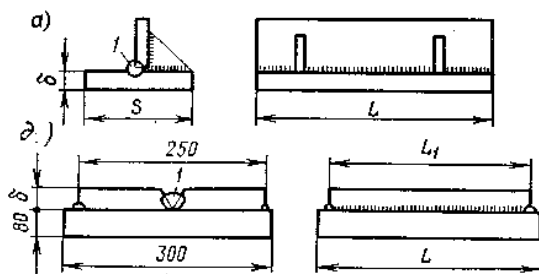
Жік және жікаумағы металында өтетін процестер металдың морт күйге ауысуға кедергілігін төмендетуі мүмкін. *Пісіруге бейімділікке сынау түрлерінің үшінші тобы негізгі металл, жік және жік аумағы металдың, пісірілген жалғасты толық алғанда морт күйге ауысуға қарсы тұрақтылығын анықтау.*

Пісіруге бейімділікке сынаудың төртінші түрі – жік металы, жік аумағы және тұтастай пісірілген жалғастың эксплуатациялық сипаттамасын анықтау. Мұнда әртүрлі температурада механикалық қасиеттері, коррозияға, үйкелістен тозуға қарсы тұрақтылығы және арнайы мақсатты қасиеттер көрсеткіштерін анықтау жүргізіледі.

Әр сынақ түрлері тобының арнайы жасалған әдіс-тәсілдері бар. Олардың арасынан материалдар қасиеттері, пісіру тәсілі, құрылымның тағайындалу мақсаты, пісірілген жалғастың жұмыс атқару шарттарын ескеріп, сынақ мақсатына ең тиімдісі таңдалып алынады.

Қазіргі уақытта металдың пісіруге бейімділігін бағалайтын әдебиеттерде келтірілген 200-ге жуық түрлері бар. Олардың арасында РФ-да кең қолданылатын бірнеше түрін мысал ретінде келтірдік.

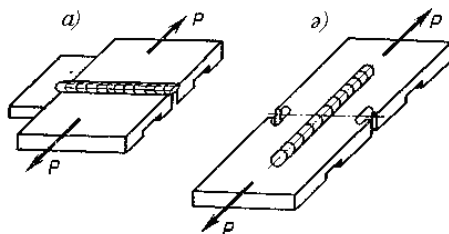
Жік металының ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау әдістемесі. Жік металының ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау үшін, арнайы технологиялық сынама (үлгі) – қатаңдатылған таврлы жалғасты бақылау бұрыштама жіктері салынады. Бақылау жігі қолданылған пісіру тәсіліне тән берілген болат маркасы мен металл қалыңдығына іс жүзінде қолданылатын оңтайлы пісіру ережесімен жүргізіледі (5.1 а-сурет). Түйістірілген жікті сынау қатаң негізге орнықтырылған (5.1 ә-сурет) үлгіні түйістіріп пісірумен жүргізіледі.



5.1-сурет. Жік металының ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығына сынама сұлбасы:

а – таврлы жалғас, бұрыштама жік; ә – түйістірілген жалғас, түйістірілген жік; 1 – бақылау жігі

Жік металында сызаттану орын алуын сырттай тексеру – қарау арқылы; күйретіп омырығын зерттеу; жіктен қиылып алынған микроыспа арқылы анықтайды. Бұл тәсіл жік металының сызаттануға қарсы тұрақтылығының тек сапалық сипаттамасын береді.



5.2-сурет. Жік металының ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығына MBTU ұсынған сынама сұлбасы:

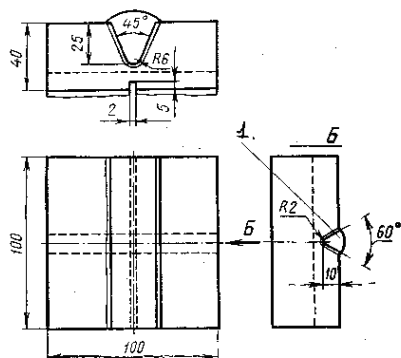
а – көлденең бағытты жікті; ә – ұзындықты бағытты жікті

Жік металының ыстықта сызаттануға қарсы мөлшерлік сипаттамасын беретін бірнеше әдістері бар. Солардың арасында Бауман атындағы MBTU ұсынған әдіс 5.2-суретте келтірілді.

Әдістің мәні – арнайы сынамалық көлденең (5.2 а-сурет) және ұзындық бағытты (5.2 ә-сурет) жікті пісіру кезінде тұрақты жылдамдықпен созушы күш әсерінде болады, яғни жікте созылу деформациясы орын алады. Жікте сызаттану орын алатын

деформациялану жылдамдығы, яғни сындық деформация жылдамдығы анықталады. Бірінші, сынамалық үлгіні пісіру орташа мәнді деп алынған созу жылдамдығында жүргізіледі. Егер жікте сызаттану болмаса, онда келесі үлгілерді деформациялау жылдамдығын өсіру бағытында сынайды; егер жікте сызаттану болса, онда келесі үлгілерді деформациялау жылдамдығын төмендету бағытында сынайды. Осылайша пісіруді берілген шартты жағдайда жүргізуге тән деформация жылдамдығының сындық шамасы анықталады. Жік металында ыстықта сызаттану орын алмайтын максималды деформациялау жылдамдығы А мм/мин технологиялық беріктік көрсеткіші болып алынады. А (мм/мин) шамасы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым технологиялық беріктік жоғары, яғни металдың ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығы жоғары.

Жік аумағы металының салқында сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау әдістемесі. Жік аумағы металының салқында сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау қатаңдық дәрежесі әртүрлі сынама үлгілерді пісіру немесе балқытып білікше қаптастыру және жік аумағын әртүрлі жылдамдықпен суыту арқылы жүргізіледі. Ресей ауырмашина жасау орталық ғылыми зерттеу институты қолданған сынама үлгі және пісірудегі шынайы жағдайға жуықтатып еліктеуленген сынама үлгілер сұлбасы төменде келтірілді (5.3-сурет).

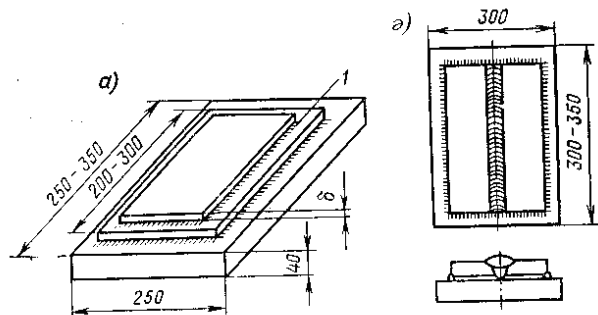


5.3-сурет. Жік аумағы металын салқында сызаттануға қарсы тұрақтылығына сынама үлгі сұлбасы (ЦНИИТМАШ үлгісі)

1- бақылау жік

Бұл сынауда үлгі мөлшері 100x100x40 мм етіп алынады. Алдымен үлгі қалыңдығын 10 мм тереңдікке бойлай, жиек аралық бұрышын 60° етіп ажыратып қияды. Осылай дайындалған жиек аралығын 4 қабат жік салып толтырады. Бұл жік бақылау жігі болып аталады. Жік үстіңгі бетіне фрезбен ені 2 мм тереңдігі 5 мм кертпе арнашық ойылады. Бақылау жігі берілген болат маркасы және қалыңдығына сәйкес іс жүзінде қолданылатын оңтайлы пісіру ережесімен салынады. Бақылау жігін жоғарыда айтылғандай фрезбен деформациялаған соң, тілме металдың бақылау және жігіне қарама-қарсы бетінен тереңдігі 20–25 мм жиектер аралық алшақтығы 45° арнашық ойылады да, ол 12 қабатқа дейін жік салынып толтырылады. Бұл жікті деформациялаушы жік деп атайды. Деформациялаушы жік бақылау жігіне перпендикуляр бағытта салынады. Деформациялаушы жіктің әр қабаты сумен суытылады. Деформациялаушы жіктің қабаты әртүрлі үлгі топтамаларынан алынған макроиспаларды зерттеумен бақылау жігіне салынған кертпе арна аумағында сызаттану орын алуы анықталады. Нәтиже 5 балды межемен бағаланады. Ең жоғарғы 5 балл деформациялаушы 12 қабат жік салғанда бақылау жігі аумағында сызаттану болмаған жағдайға сәйкес. Бұл сынамалық үлгі шынығуға бейімді және кейбір төменлегіріленген болаттардан қалыңдығы 30 мм-ден кем емес бұйымдарды пісіруде қолданылады.

Шынайы жағдайға жуықтатылып еліктелінген сынамалық үлгілердің сұлбасы 5.4-суретте келтірілді.



5.4-сурет. Жік аумағы металының салқында сызаттануға қарсы тұрақтылығын анықтау сұлбасы

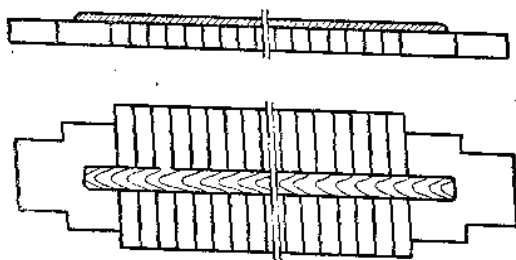
Сынамалық үлгілерді 1 м ұзындыққа келетін энергияның орташа мәні, максималды және минималды мәніне сәйкес ережемен 3 түрлі пісіреді. Кейде сынамалық үлгілерді алдын ала салқындатып пісіруді минуттік температураға жүргізеді. Сынамалық үлгілерді зерттеу 5–20 тәулік өткен соң жүргізіледі. Бұл шынайы жағдайда жуықтатылған және жік аумағында салқында сызаттануды неғұрлым толық айқындауға бағытталған әрекет. Сызаттарды анықтау үстіңгі қарау және үлгілерден киылып алынған макроыспаларды зерттеумен жүргізіледі.

Жоғарыда келтірілген салқында сызаттануды анықтау тікелей сынау тәсілдері болып аталады. Бұдан басқа болатын пісіруде сызаттануға бейімділігін эквивалентті көміртек шамасымен бағалау бар. Ол туралы және металдың морт күйге ауысу жайлы II тарауды қараңыз.

Зертханалық зерттеулерде болаттың пісіру тәсілдерімен құрылым өндіруге жарамдығын бағалау критерийі анықтауға сынау әдістемелерімен қатар, *болаттың пісірудегі термиялық циклге сезімталдығын сынау кешенді әдістемелері* қолданылады. Бұл әдістемелердің мақсаты қойылған белгілі талаптарды қанағаттандыратын қасиеттері бар жік аумағын қалыптастыратын пісіру ережесін таңдау. Сонымен қатар термиялық әсер аумағы қасиеттері мен пісіру ережесі арасындағы байланыстылықты ашу. Әдетте айтылған мақсатты зерттеулер кешенді болып келеді. Осындай кешенді зерттеу сынамалық үлгілері арасында кең қолданыс тапқандарының бірі РФҒА А.А. Байков атындағы Металлургия институтының ИМет сынамасы. Бұл әдістеме пісіру термиялық циклінің кез келген уақытында жік аумағы металының құрылымы және механикалық қасиетін анықтауда жүргізіледі. Осы мақсатта арнайы машинада электртогін өткізу арқылы сынамалық үлгілер қыздырылады да, тағайындалған термиялық циклге сәйкес әртүрлі жылдамдықпен суытылады. Термиялық циклдің берілген (кез келген) уақытында автоматты әрекетпен диаграммасымен сынама үлгінің уақыт лезде босатылып, сумен толтырылған шағын шанаққа құлатып түсіріледі де тез суытылады. Тез суыту нәтижесінде металл түйіршіктерінің термиялық цикл температурасына тән мөлшері өзгеріссіз

сақталады. Сынама үлгіні тез созып ұзу нақтылы температураға сәйкес (қыздыру немесе суыту кезеңінде) беріктік шегі және салыстырмалы ұзаруын анықтайды. Осындай әдістеме арқылы металдың механикалық қасиеті мен жік аумағының құрылымын термиялық цикл бойынша бағалауға болады. Сонымен қатар түйіршіктер өсуі және термиялық цикл жағдайында аустенит ыдырауын зерттеу жүргізіледі. Аталған зерттеулер нәтижесінде болаттың пісіру тәсілімен берілген құрылым жасауға жарамдығын бағалауға болады. Жүргізілген сынақтар жік аумағын оңтайлы суыту жылдамдығы және термиялық морт күйге ауысуға қарсы тұрақты құрылым қалыптасуын камтамасыз ететін пісіру ережесін анықтайды.

Балқытып салынған білікше түрлі сынама әдістемесі. Сынауға жататын болаттан жасалған тілмелердің үстіңгі бетіне әртүрлі ережемен балқытып білікше салынады. Ереже айырмашылығы метр ұзындыққа келетін энергия шамасымен ерекшеленді. Сынамалық үлгілер, балқытып білікше салу шарттары мемлекеттік стандартпен анықталған. Үлгілер сұлбасы 5.5-суретте келтірілді.



5.5-сурет. Салқында сызаттануға сынамалық үлгі сұлбасы

Әдетте сынауда 5–6 айырықша ережемен балқытып білікше салу қолданылады. Білікше салынатын тілмелер құрамалы, ені шамалы бірнеше тілмелер бір-бірімен тығыз жанасып, арнайы қыспақтаушы сайманмен жинақталады. Бұл сынамадан зерттеу үлгілерін жасауға қолайлы болып келеді. Балқытылған білікшелі тілмелер ауада суытылады. Содан соң балқытылып қаптастырылған қабат тілме бетімен тегіс етіліп

сүргілеу балдағында жонып алынады. Құрамдалған тілмелер слесарьлық қыспақтағыш арқылы бір-бірінен жеке тілмешелерге ажыратылады. Тілмешелерден зертханалық зерттеулер: статикалық ию, соғумен ию, қаттылығын өлшеу, металлографиялық зерттеу, т.б. арналған үлгілер жасалады.

Зерттеулер нәтижесінде пісіруде жік аумағын суыту жылдамдығының оңтайлы, металл қасиеттері қолайлы, морт күйге көшу және сызаттануға қарсы тұрақтылығы жоғары болып қалыптасатын ауқымы анықталады.

Жік металы, жік аумағы металы және пісірілген жалғастың эксплуатациялық сипаттамасын анықтау беріктік, иімділік, коррозияға қарсы төзімділік, үйкелістен тозуға қарсы төзімділік, т.б. қасиеттерін зерттеп, олардың нақтылы шамаларын білуге негізделеді.

Механикалық сынаулар арқылы беріктік шегі, ағымдалу шегі, салыстырмалы ұзарту үзілу кезеңіндегі, салыстырмалы тарылу (көлденең қимада) тұтқырлығы, т.б. механикалық қасиеттері анықталады.

Пісірген жалғастың жекеленген аумақтары қасиеттерін сипаттауда қаттылығын анықтау жиі қолданылады. Қаттылық көрсеткіші макроыспа үлгілерде Виккерс немесе Роквелл аспаптарында, микроқаттылық көрсеткіші микроыспаларда арнайы микроқатылық өлшеу аспаптарында анықталады.

Пісірілген жалғастың *коррозияға қарсы* төзімділігі агрессивті ортада жұмыс істеуде құрылымның эксплуатациялауда сенімділігін анықтайтын көрсеткіш. Коррозияны екі түрге бөліп қарастырады: жалпыламалы және кристаллит аралығында.

Жалпыламалы коррозия металдың сұйық және газ ортамен химиялық әсерлесу нәтижесінде орын алады. Жалпыламалы коррозия біркелкі тараған немесе пісірілген жалғастың кез келген учаскесінде шоғырлануы мүмкін. Жалпыламы коррозиядан келген пісірілген жалғастың бұзылуы, күйреуі ашық көріністі болады.

Кристаллит аралығындағы коррозия агрессивті ортаның (сұйық, газ) түйіршіктер шекаралығы арқылы металл ішкі көлеміне өтуінен орыналады. Коррозия жоғарыда айтылған жағдайда, кристаллиттер аралығында өрбіп, бұйымның ішкі

тұтастығын бұзады. Металды белгілі температура интервалына дейін қыздыру аталған процестің үдеуі бағытында әсер етеді. Кристаллит аралығындағы коррозияның сыртқы белгісі болмайды. Сондықтан арнайы сынау арқылы ғана айқындауға болады.

Жалпыламалы коррозияға қарсы төзімділікті бұйым массасының коррозия әсерінен кемуі арқылы, әр шаршы метрге 1 сағ мерзімде келетін грамм немесе металл қалыңдығының кемуі (мм бір жыл мерзімде) арқылы бағалайды. Жалпыламалы коррозия он балдық жүйемен бағаланады. 1 балл коррозия тереңдеуі 0,001 мм/жыл-дан төмен жағдайға сәйкес және пісірілген жалғастылу коррозияға қарсы тұрақтылығының кемелді көрінісі. 10 балл коррозияға шалдығу тереңдігі 10 мм/жыл-дан жоғары жағдайға сәйкес. Бұл пісірілген жалғастың коррозияға қарсы тұрақтылығы жоқ екенін көрсетеді.

Пісірілген жалғастың кристаллит аралығындағы коррозия қарсы тұрақтылығына сынау мемлекеттік стандартпен жүргізіледі. Бұл сынауда сынамалық үлгі агрессивті ортада қайнау температурасында белгілі уақыт аралығында ұсталады (қайнатылады). Содан соң үлгіні 90⁰-қа иеді. Июші сотан (2 үлгіде) жік металына және (2 үлгі) жік аумағына келтіріліп, ию жүргізіледі. Иілген үлгілердің сырт беті 8÷10 есе ұлғайтқыш арқылы тексеріледі. Жік немесе жік аумағы металының үстіңгі бетінде көлденең бағытта сызат болуы кристаллит аралық коррозияға шалдығудың айғағы.

5.2. Пісіруге бейімділікке байланысты пісіру түрін таңдау

Қазіргі уақытта пісіру өндірісінде қолданылатын пісіру тәсілдері мен техникасы мол. Оларды қолданып металл, қорытпа, кейбір бейметалл материалдан массасы тонналап өлшенетін ірі, аса ірі құрылдардан бастап, мөлшері миллиметр, микрон өлшемді тетіктер, бөлшектерді пісіру тәсілімен өндіруге болады.

Нақтылы жағдайда, техникалық мақсатқа сай пісіру тәсілін таңдау бірқатар факторларды ескеріп жүргізіледі. Бұлардың

арасында ең басты маңыздылары: металдың қасиеттері, құрылымдық металдың қалыңдығы, құрылымның мөлшері және пісіру өндірісінің экономикалық тиімділігі.

Пісіруде пайдалынатын металдың (материалдың қасиеті пісіру тәсілін таңдауда міндетті түрде ескеріледі) кейбір жағдайларда қолданылатын пісіру тәсілдері санын елеулі шектейді. Мысалы, төменкөміртекті, төменлегіріленген болаттарды пісіруде болат қасиетіне байланысты пісіру тәсілдерін қолдануға шектеу болмайды деп айтуға болады. Баяу балқитын химиялық белсенді металдардан құрылымдар өндіруде пісірілген жалғастың ең жоғары қасиет көрсеткіштері оларды вакуумда, мысалы, электронсәулелі пісіру тәсілінде қалыптасады. Себебі, вакуумда пісіруде жік металының газдарды сіңіру шамасы ең төмен. Тотықпайтын хромникельді болаттардан пісірумен жалғас қалыптастыруға шоғырланған жылулық беретін пісіру тәсілдеріне басымдылық. Себебі, жоғары шоғырланған қыздыруда жік металы мен жікаумағы металының жоғары температура аумағында болу уақыты қысқа. Сондықтан, металдың кристаллит аралық коррозияға бейімділік туындайтын температура аралығында болу уақыты өте қысқа болады да металдың кристаллит аралық коррозияға қарсы тұрақтылығы төмендемейді. Аталған болатты балқытып пісіруде тиімді пісіру түрлері электрдоғалы қолдан пісіру, электрдоғалы автоматты флюс қабаты астында пісіру, аргондоғалы пісіру болып табылады. Газбен пісіру түрін қолдану тиімсіз, себебі газбен пісіруде термиялық әсер аумағы электрдоғалы пісірудегіден елеулі кең (жылулық шоғырланды төмен), металдың қауыпты қыздыру температура аралығында болу уақыты ұзақ.

Титанды пісіру түрін таңдауда оның оттектен азотқа тектестігі жоғарғы екенін ескеру керек. Титанның үстіңгі беттегі үлдір тотығы 400-500 °C-қа дейін беріктігін сақтап металлдың төменгі беттерін (көлемін) тотығудан қорғайды. 600 °C-тан жоғарғы температурада титан тотығы металда ериді, осының салдарынан температура жоғарыланғанда, әсіресе 850 °C-тан бастап металл қалыңдығының төменгі қабаты тереңделіп тотығуы орын алады. Сондықтан титанды пісіруде ванна

металын және 400–500 °C-қа дейін суытылатын аумақты ауадан сенімді оқшаулайтын пісіру түрлерін ғана қолдану шарт.

Титанның оттекке тектестігі өте жоғары болғандықтан, пісіру материалдары құрамында оттек болмауы шарт. Титанды пісіруде қолданылатын флюс құрамында тотықтар болмауы, тіпті тотықсыздануы оңай емес Al_2O_3 типті қосындыларда болмауы керек. Титан өте жеңіл тотығады, сондықтан құрамында оттек мүлдем жоқ, оттексіз флюстер қолданылады. Бұл флюстер пісіру аумағын ауа газдарынан жеткілікті сенімді қорғайды, өздері ванна металына тотықтырумен әсер етпейді. Титанды пісіруге арналған оттексіз флюстер құрамы CaF_2 – $BaCl_2$ - NaF , т.б. тұздар қорытпасы болып келеді. Жоғарыда айтылғандардан көрініп тұрғандардың титанды пісіруде пісіру аумағында металдың тотығу және азоттануына бейімділік туындатпайтын тәсілдері қолдану шарт. Титанның қасиеттерінен туындайтын талаптарға сәйкес оны пісіруде қолданылуы мүмкін пісіру түрлері: инертті газдар ортасында, автоматты доғалы оттексіз флюстер қабаты астында немесе электрқожды, түйіспелі электрлі, және вакуумда пісіру.

Пісіру түрін анықтауда металдың қалыңдығы маңызды орын алады. Жұқа қалыңдықты табақ металдан жасалатын бұйымдарды пісіруде металл қалыңдығын толық балқыту және қанағаттанарлық тұлғалы жік қалыптастыру үшін жоғарғы қуатты шоғырланған жылу көзін пайдалану қажеттілікті емес. Керісінше «жұмсақ» қыздыру беретін, маневр жасауға икемді, жік ұзындық бірлігіне келетін энергияны дәл мөлшерлеуге мүмкіндік беретін жылулық көздерін қолдану қолайлы. Сондықтан материал қасиеті, құрылым габариті, пісірілген жалғасқа қойылатын талаптар және өндіріс ауқымын ескеріп, аргондоғалы, газбен, нүктелі және жікті түйіспелі пісіру түрлері қолданылады.

Өте жұқа шағын мөлшерлі тетік, бөлшектерді пісіруде аз шамалы энергияны жоғары дәлдікпен мөлшерлеп қолдану талап етіледі. Бұл жағдайларда конденсатор разряды тогімен, ультрадыбыспен, импульсті электрон сәулемен, кейде жоғары жиілікті токпен немесе вакуумда диффузиялық пісіру тәсілі қолданылады.

Орташа және жоғары қалыңдықты металды пісіруде жылу көзі жоғары қуатты металл жиектерін толық балқытып, қосымша металды көлемдік балқытқан болуы талап етіледі. Сондықтан металл қалыңдығы орташа және жоғары құрылымдарды пісіруде электрдоғалы қолдан пісіру, аса қалың (40–50 мм-ден артық) металдарды пісіруде электрқожды пісіру қолданылады.

Пісіру түрін таңдау құрылым габаритіне де байланысты, себебі әр құрылымды пісіру түріне тән технологиялық мүмкіндігі бар. Бірнеше жалғасты құрылымдарда әртүрлі пісіру тәсілінің қолданылуы да мүмкіндік. Бұлардың әрқайсысы пісірумен техникалық шарттарды толық қанағаттандыратын құрылым жасай алады. Бұл жағдайда нақтылы пісіру түрін және технологиялық процесс вариантын таңдау экономикалық тиімділігін анықтауға негізделеді. Нақтылы қаржы қарышталуы жинақталып, екі қаржылық көрсеткішпен беріледі: іргелі (капиталдық) қаржыландыру және эксплуатациялауға жұмсалған шығын. Іргелі (капиталды) қаржы пісіру жабдықтарының бағасы, құрастыру – пісіру саймандары, өндірістік ішкі көтеру-тасымалдау жабдықтары, өндіріс ғимараты, аяқталмаған өндірісті қаржыландыру, т.б. белгілі технологиялық процесті ендіру, игеру мен байланысты мезгілді қаржыландырудан тұрады. Эксплуатациялауда жұмсалған шығын – технологиялық процестің белгілі вариантымен бұйым өндірудегі шығын (пісіруге жататын және қолданатын материалдар бағасы, пісірушінің жалақысы, электрэнергиясы, амортизация, жабдықты жөндеу, т.б. шығындар).

Эксплуатациялауда жұмсалған шығын неғұрлым төмен және капиталдық (іргелі) қаржыландыруы неғұрлым аз пісіру түрі мен пісіру технологиясы варианты экономикалық тиімді болып табылады. Нақтылы технологиялық вариантта капиталдық қаржыландыру мол қажет болып, ал эксплуатациялау шығындары төмен болуы мүмкін. Бұл жағдайда экономикалық тиімді вариант болып, капиталды қаржыландыру шығыны эксплуатациялық төмен шығын үнемделген қаржымен неғұрлым қысқа мерзімде төлену қамтамасыз етілген вариант табылады. Мұнда тек тікелей пісіруге байланысты үнемділікті ғана емес,

қосалқы, бірақ нақтылы пісіру түріне байланысты, операциялардың да экономикалық тиімділігі есептелуі керек.

5.3. Өртүрлі жағдайларда пісіру материалдарын тандап алу негіздері

Жік металының химиялық құрамы механикалық, физика-химиялық қасиеттеріне өте елеулі әсер етеді. Сондықтан құрылымның эксплуатациялауда сенімділігін қамтамасыз ету үшін *пісіру материалдарын* дұрыс тандап алудың мәні зор. Пісіру материалдары деп пісіру процесінің оңтайлы өтуін және сапалы пісірілген жалғас қалыптасуын қамтамасыз ететін материалдар аталады. Электрдоғалы пісіруде пісіру материалдарына қаптамалы электрод, балқымайтын, балқымалы электродтар, флюс, газдар жатады.

Пісіру материалдарын таңдауда кеуексіз тығыз жік қалыптасу, пісірілген жалғастың технологиялық және эксплуатациялық беріктігі жоғары болуы, талап етілген жағдайда арнайы қасиеттері: ыстықта – берік, коррозияға қарсы және үйкелістен тозуға қарсы тұрақты болу шарттары негізге алынады.

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес, пісіру материалдарын таңдаудағы *бірінші шарт тығыз кеуексіз жік қалыптастыру*. Болатты пісіруде жікте кеуек орын алуына жол бермеу үшін ванна металына сутек пен азот сіңуін мейлінше шектеу; пісіру ваннасы кристалдану кезеңінде көміртектің тотығу реакциясын тежеу қажет. Азоттың пісіру ваннасына сіңуін шектеу үшін пісіру аумағын ауадан оқшаулау шарт.

Пісіру ваннасында сутек шамасын төмендету үшін сутекті ваннасына келтірілетін себептерді жою немесе максималды шектеу керек. Осы мақсатта электрод қаптамасы мен флюсты арнайы қыздырып кептіру, пісіру аумағында бетін және металл жиектерін дат, ауадан келген ылғал, органикалық ластардан тазарту және сутекті металда ерімейтін, жоғары температурада химиялық қосындыларға ауыстыру тәсілі қолданылады.

Көміртектің ванна металының кристалдану кезеңінде тотығу мүмкіндігін шектеу немесе толық жол бермеу үшін

ваннада тотықсыздандырушы элементтер болуын қамтамасыз ету керек. Бұл шаралар II және III тарауларда келтірілді.

Пісіру материалын таңдаудың *екінші шарты жік металының беріктікті болуы*, яғни жік металының ыстықта сызаттануға бейімді болмауы. Зерттеулер көрсеткендей, жік металының химиялық құрамы түйіршіктер аралық жұқа қабаттар құрамына, сәйкес жік металының ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығына шешуші мәнді әсер етеді. Болатта жеңіл балқитын эвтетика жұқа қабаттар қалыптастыратын элементтер, жік металында ыстықта сызаттану бейімділікті өсіреді. Осындай элементтер қатарына күкірт, көміртек, т.б. жатады. Марганец жік металының технологиялық беріктігін өсіреді, ол күкіртті баяу балқитын MnS химиялық қосындыға аударып, жеңіл балқитын жұқа қабаттарды болдырмайды. Болат жік металының ыстықта сызаттануына күкірт күшті әсер етеді. Балқытылған металл құрамында күкірт $0,035 \div 0,040$ %-ға дейін болғанда ыстықта сызаттану жиі орын алады.

Болатта көміртек шамасының өсуі күкірт әсерінен ыстыққа сызаттану қауіпін күшейте түседі. Көміртекті және төменлегіріленген құрылымдық болаттарды пісіруде құрамында көміртек 0,16 %-дан жоғары болса, ыстықта сызаттану күкірт шамасы төмен, марганец шамасы жеткілікті жоғары болғанда да орын алады. Бұл жайлы II тарауда айтылды.

Кремнийдің ыстықта сызаттануға бейімділікке әсері көміртек сипатты, бірақ көміртек әсерінен төмен дәрежелі.

Хром, вольфрам, молибден, ванадий, титан, т.б. кейбір элементтер жік металында болғанда, көміртек шамасы төмен болған жағдайда да ыстықта сызаттану береді.

Егерде белгілі бір химиялық элемент көміртектің аустенитте ерітінділеуін төмендетсе, онда ыстықта сызаттануға бейімділігін өсіреді. Көміртек ерітінділеуін төмендету дәрежесі неғұрлым жоғары болса, соғұрлым ыстықта сызаттануға бейімділікте өседі. Карбид қалыптастырушы элементтерді ыстықта сызаттануға бейімділік әсерінің төмендеу дәрежесінде ретті орналасуы: титан, ванадий, вольфрам, молибден, хром, марганец. Болат құрамында темірде шекті мөлшерлі еритін, балқу температурасы темірден төмен элементтерде жік

металының ыстықта сызаттануына ықпал етеді. Мысалы, осындай элементтер қатарына мыс жатады.

Пісіру материалын таңдаудың үшінші шартты жік металының талап етілетіндей эксплуатациялық беріктігі қамтамасыз етілуі. Пісірілген жалғаста негізгі металл мен жік металы бірге жұмыс атқарады. Бірақ негізгі металл мен жік металының механикалық қасиеттері толық сәйкес болмайды. Әдетте негізгі металл қыздырып илемделген болатқа тән құрылымды, ал жік металы құйма болат құрылымды. Құрамдары бірдей болған жағдайда да, негізгі металл мен жік металының механикалық қасиеттерінде (беріктік шегі, иімділігі) алшақтық орын алады. Жік металының технологиялық беріктігін (кеуектену, ыстықта сызаттану бейімділігін төмендету) қамтамасыз ету үшін жік металы құрамында көміртек шамасын төмендету қажет. Сондықтан балқытып пісіруде электродтық сым, қосымша металл сым құрамында көміртек шамасы төменкөміртекті болаттарға тән шамадан да кем етіп өндіріледі. Пісіру процесіне арналған болат сымдар арнайы мемлекеттік стандартпен, басқа мақсатты сымнан ерекше маркаланып өндіріледі. Бұл жағдай түсті металл, қорытпаларға да (мыс, алюминий, титан, т.б.) тән. Мысалы РФ пісіруге арналған болат сым құрамында $C \leq 0,08 \%$, ал Линкольн фирмасы пісіруде қолданылатын сым құрамында $C \leq 0,05 \%$ болып келеді. Құрамында көміртек шамасы төмендеген сайын, болаттың иімділік қасиеті жақсарып, беріктігі (беріктік шегі көрсеткіші) төмендейтіні белгілі. Сондықтан пісірілген жалғастың эксплуатациялауда беріктігі талапқа сәйкес болуы үшін, жік металының механикалық қасиеттері негізгі металға сәйкес дәрежеге келтіру керек.

Осы мақсатты іске асыруда пісіру материалдарының маңызы зор. Жік металы құрамын болат пісіру сым құрамына легірлеуші элементтер қосу, электрод қаптамасы, флюс арқылы легірлеу тәсілдері қолданылады. Мысалы, көміртекті пісіру сымымен керамикалық флюс қабаты астында автоматты пісіруде жік металы легірленген болат болып қалыптасады.

Пісірілген жалғастың эксплуатациялау қасиетін жоғары етіп қалыптастыру үшін пісіру материалдарын таңдау, жік

металының беріктік көрсеткіш жоғары болуымен қатар (жік металы беріктік шегі негізгі металл беріктік шегінен төмен емес), оның иімділік қасиеті жеткілікті дәрежеде жоғары болуын қамтамасыз ету.

Кейбір жағдайларда, мысалы, жоғары беріктікті орташалаегірленген болаттарды пісіруде, беріктігі негізгі металмен бірдей, иімділігі жеткілікті жоғары жік металын қалыптастыратын пісіру материалын таңдау мүмкін болмайды. Мұндай жағдайда жік металының беріктік шегі негізгі металдан төмендеу болса да, иімділік қасиеті жоғары жік қалыптастыратын пісіру материалын алу керек. Иімділікті жік негізгі металл жиектері аралығында «жұмсақ қабат» қасиеті мен негізгі металл қасиеттерінің өзара қатынысымен және «жұмсақ қабат» (жіктің) салыстырмалы қалыңдығымен анықталады. Бұл зерттеу жұмыстары нәтижелері негізінде жасалған тұжырымдама.

Пісірілген жалғасты созу кезінде иілімділігі жоғары жік металы – жұмсақ қабат; созу кернеуі, негізгі металдың аққыштық шегіне жетпей тұрып, иілемділік күйге келеді де жік металында иілемділік деформация шоғырланады. Жұмсақ қабаттың деформациялануына оның негізгі металмен түйіскен беті кедергілік тудырады, себебі негізгі металдық аққыштық шегі жоғары болғандықтан. «Жұмсақ қабаттың» (жік металының) осындай негізгі металл жиектері аралығында созымталдық деформациялануы үшін, жұмсақ қабат материалының еркін деформацияланудағы кернеу шамасынан артық кернеу талап етіледі, яғни жұмсақ қабаты беріктену көрсетеді. Жұмсақ қабат металының осылайша беріктенуі *түйіспелі беріктену* болып аталады. Жұқа қабаттың салыстырмалы қалыңдығы неғұрлым аз болса, соғұрлым түйіспелі беріктену шамасы жоғары болады. Жұмсақ қабат салыстырмалы қалыңдығы дегеніміз қабат енінің δ пісірілген металл қалыңдығына S қатынасы.

$$\delta = \frac{\delta}{S}, \quad (5.1)$$

мұндағы δ – жұқа қабаттың салыстырмалы қалыңдығы; δ – аталған қабат ені (жік ені); S – металл қалыңдығы.

δ мәні неғұрлым аз болса, соғұрлым жұмсақ қабат деформациясының тежелуі сезімді, соғұрлым түйіспелі беріктену әсері жоғары.

$\delta > 1,0$ аумақты пісірілген жалғас беріктік шегі жұмсақ қабат беріктік шегіне $\sigma_{\epsilon}^{\text{ж}}$ тең.

$$\sigma_{\epsilon}^{\text{ж}} = \sigma_{\epsilon} . \quad (5.2)$$

$0,1 < \delta < 1,0$ аумағында жалғастың беріктік шегі, ықшамды көлденең қималылықта, жұмсақ қабат металының беріктік шегінен артық.

Ықшамды қима деп жақтарының қатынасы бірге жуық қиманы айтады. Тілме металда $l/S < 5$, мұнда l пісірілетін пластиналар ені (жік ұзындығы).

$$\sigma_{\epsilon} = \sigma_T^{\text{м}} \left\{ 1 + \left[1 / \left(3\sqrt{3} \cdot \delta \right) \right] \right\} , \quad (5.3)$$

Тілмелерден пісірілген жалғас жұмсақ қабатты беріктік шегі келтірілген қатынаспен анықталады:

$$\sigma_{\epsilon} = 2 / \left(\sqrt{3} \right) \sigma_T^{\text{м}} \left\{ 1 + \left[1 / (4\delta) \right] \right\} , \quad (5.4)$$

мұндағы $\sigma_T^{\text{м}}$ – жұмсақ қабат металы ағымдалу шегі.

Сонымен пісіру материалдарын және жік енін сәйкес таңдау арқылы негізгі металмен пісірілген жалғас беріктігін бірдей етуге болады, жік металы жұмсақ болғанда, яғни жік металының беріктігі төмен, иімділік қасиеті жеткілікті дәрежеде жоғары болғанда.

Жік металының беріктік және иілімділік қасиеттері химиялық құрамы мен құрылымына тәуелді.

Төменкөміртекті болат жік металы құйма металл құрылымды, иілімділігі жоғары ферриттен және қатты карбид (цементит) аралас болып келеді. Көміртекті болатта феррит таза темірге жуық, құрамында көміртек 0,01 %-дан кем. Сондықтан ферриттің беріктігі төмен иілімділігі, созымталдығы жоғары. Цементиттің иілімділігі өте төмен нөлге жуық, қаттылығы жоғары. Карбид түйіршіктері кристаллиттердегі сырғу

жазықтарын қоршап, болаттың созымталдығын төмендетіп, беріктігін өсіреді. Карбид фазаның үлесті көлемі болат құрамында көміртек шамасына тәуелді. Сондықтан болат құрамына көміртек шамасының молаюы болаттың беріктігін өсіріп, иілімдігін төмендетеді. Сондықтан көміртекті және төмен легирленген болаттар пісіру жігінде көміртек шамасы төмен болуы шарт. Бұл шарт технологиялық беріктік талабымен үйлесімді.

Әдетте, құрылымдық болаттарды пісіруде жік құрамында көміртек 0,12 %-дан артық болмауына талапталынады.

Жік металының эксплуатациялау талаптарына сәйкес механикалық қасиеттерін легірлеу арқылы қалыптастырылады.

Легірлеу арқылы жік металының беріктігі өсіріліп, иілімділігі, соққы тұтқырлығы жеткілікті жоғары дәрежеде сақталады. Легірлеуші элементтердің болат қасиетіне әсері әрқалай. Марганец, кремний, никель, феррит беріктігін елеулі өсіреді, ал хром, молибден, вольфрамның феррит беріктігін өсіруі бәсеңдеу. Болатты вольфрам және молибденмен қосарлап легірлеу, соққы тұтқырлығын пәрменді төмендетеді. Кремний болаттың соққы тұтқырлығын 0,5 %-дан артық болғанда күрт төмендетеді. Марганец пен хром әрқайсысы 1 % ға, ал никель – 3 %-ға дейін болаттың соққы тұтқырлығын өсіреді.

Легірлеуші элементтерді таңдау, олардың болатқа қосу шамасын анықтау, пісіруде орын алатын суытылу жылдамдығына шұғыл шынығу және ыстықта сызаттану орын алмауы мұқият ескеріледі.

Көптеген зерттеушілердің жүргізген жұмыстарын жинақтап, жүйелеу нәтижесінде легірлеуші элементтердің пісірілген жалғас технологиялық беріктігі мен эксплуатациялаулық талаптарға сәйкестігіне әсері тұжырымдалған. Никель, хром, марганец, кремнийдің пісірілген жалғас механикалық қасиетіне тоқталу жөн, бұл элементтер көміртекті және төменлегіріленген құрылымдық болаттарда әдетті қолданылады.

Флюс қабаты астында автоматты пісіруде жік металына 1–2 %-ға дейін никель ендіру беріктікті өсіреді, иілімділік қасиеті сақталады, жік металының салқында морттануының температуралық шегін төмендетеді. Никель шамасы 2 %-дан

асқанда жік металының дендриттік біртектілікті еместігі шұғыл өседі, иілімділігі және соққы тұтқырлығы төмендейді. Хром жік металының илемділігін және соққы тұтқырлығын төмендетеді.

Марганецпен 1,2 %-ға дейін легірлеуде жік металының соққы тұтқырлығы өседі. Марганец шамасы 1,5 %-ға дейін жоғарылатылғанда жік металының беріктігі өседі, илемділігі жеткілікті жоғары сақталады; соққы тұтқырлығы жоғары болады. Марганец шамасы 1,5 %-дан жоғары көтерілсе соққы тұтқырлығы кенет төмендейді және бұл құбылыс әдетте бөлме температурасында да орын алады.

Жік металы құрамына 0,5 %-дан жоғары кремний қосуда, бөлме температурасында металдық соққы тұтқырлығын төмендетеді және жік металының морт күйге көшу температура шегін жоғарылатады.

Жоғарыда келтірілген деректерге сәйкес, төменкөміртекті төменлегірленген құрылымдық болаттарды пісіруде жалғастың технологиялық және эксплуатациялық беріктігінің жоғары болуы шарттарын қамтамасыз ету үшін, жік металы құрамында көміртек шамасы ($0,12 \div 0,14$ %), кремний 0,5 % (әдетте $0,1 \div 0,4$ %), марганец 0,15 %-ға дейін (әдетте $0,65 \div 1,2$ %) болуы оңтайлы.

Пісіру материалдарың таңдаудағы төртінші шарт жік металының кешенді арнайы қасиеттері болуы (мысалы, жоғары коррозияға қарсы тұрақтылық, ыстықтаберіктік, үйкелістен тозуға қарсы тұрақтылық, т.б.).

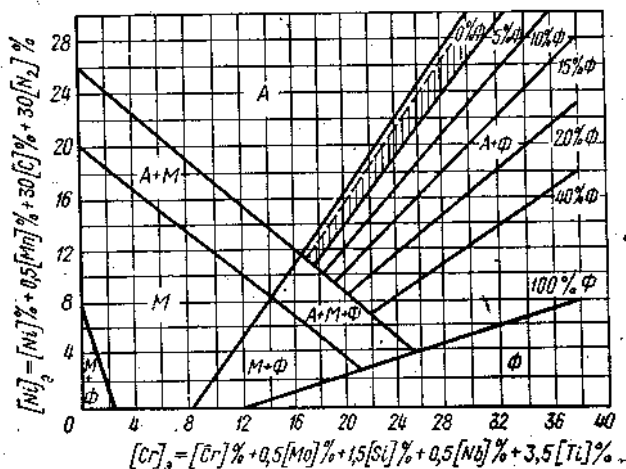
Бұл талаптар арнайы тағайындалған легірлеуші болаттарды пісіруде және бұйым, тетік үстіңгі бетіне айрықша қасиетті қабат балқытып қаптастыруда қойылады.

Хромникельді аустенит класты тоттанбайтын, қышқыл әсеріне төзімді, ыстықтаберіктікті болаттар құрамында 15–25 %-ға дейін Cr және 8–35 %-ға Ni, көміртек 0,14 %-ға дейін болып келеді. Аталған элементтерге қосымша Mo, V, Ti, Nb элементтер шағын мөлшерде қосылады.

Жоғары легірленген болатты пісіруде және арнайы қасиетті қабат балқытып қаптастыруда, жік металы құрамы көбінесе жіктің технологиялық жоғары беріктігін қамтамасыз ету (ыстықта және салқында сызаттануға қарсы тұрақтылығы

жоғары) талаптарын қанағаттандыруы керек. Мысалы, хромникельді болаттарды пісіруде олардың ыстықта беріктік және коррозияға қарсы тұрақтылығын сақтау үшін, жік металының құрамы негізгі металл құрамымен бірдей болуы керек. Алайда, хромникельді аустенитті жік металының ыстықта сызаттануға бейімділігі жоғары болып келеді. Аталған аустенитті класты болаттардың ыстықта сызаттануға қарсы тұрақтылығы өсірудің радикалды әдістерінің бірі – жік металы құрылымын екі фазалы аустенит-ферритті етіп қалыптастыру. Мұндай құрылымдық күй феррит қалыптастырушы элементтер (Cr, Mo, Si, Ti, Al, Nb, W, V) және аустениттендіруші (Ni, Co, C, N, Cu, Mn, B) элементердің болат құрамында белгілі қатынасты мөлшерлі болуына байланысты. Аустениттендіруші элементтерді эмпирикалық коэффициент арқылы эквивалентті никельге $[Ni]_e$, феррит қалыптастырушы элементтерді эквиваленті хромға келтіріп $[Cr]_e$, диаграмма құрастырылады. Диаграмма координаттарына эквивалентті $[Ni]_e$ және $[Cr]_e$ кірген барлық элементтерді көрсетеді. Нәтижесінде, жоғары легірленген аустенитті болаттың бір фазалы және екі фазалы аустенит – ферритті құрылымдық аумақтары құрамына байланысты көрсетіледі. Осындай диаграмма Шеффлер диаграммасы болып аталады (5.6-сурет).

Шеффлер диаграммасы жоғары легірленген аустенитті болаттың легірлеуші құрамына сәйкес құрылымын жуықтатып бағалауға мүмкіндік береді. Бұдан да жоғары дәлдікпен бағалау үшін тұрақты химиялық қосындыларды (мысалы, TC, Cr_2B_2 , т.б.) қатты ерітіндіден шығару керек. Іс жүзінде орын алатын сұрақтарға Шеффлер диаграммасы жеткілікті қанағаттанарлық дәрежеде жауап береді.



5.6-сурет. Жоғары легіріленген хром-никельді болаттың құрылымдық диаграммасы

Пісірілген жалғасты ұзақ мерзім жоғарылатылған температурада, эксплуатациялау жағдайында құрылымда феррит үлесі ($\sim 2 \div 5\%$) аралығында болуы шарт. Бұл шара ыстықта сызаттануға жол бермеу және жылулық әсерімен болаттың ескіріп, морт күйге ауысуын тосқауылдау үшін қажет. Сондықтан хромникельді ыстықта берік болат үшін таңдалған пісіру материалының жарамдылығын жік металы құрылымындағы феррит шамасын анықтап, бағалау керек. Жік металындағы феррит шамасын оңтайлы өлшемге балкытылған металл құрамын реттеу арқылы, яғни пісіру материалында әртүрлі легірлеуші элементтер мөлшерін реттеу арқылы келтіруге болады.

Егер толық аустенитті ыстықта берік болат құрылымында феррит болуы жарамсыз болса, онда жік металында ыстықта сызаттану бейімділікті төмендету карбид құрылымын қалыптастыру қолданылады.

Әртүрлі тетік, бөлшектер үстіңгі бетіне арнайы қасиетті балқытып қаптастырған қабат қалыптастыруды бұйымды эксплуатациялау шарттарына сәйкес жүргізіледі. Бұл жағдайда көміртек шамасын, ыстықта, салқында сызаттануға бейімділік

беретін элементтер шамасын шеттеу, реттеу мүмкін болмайды. Сондықтан үйкелістен тозуға қарсы төзімді болат, қорытпаларды балқытып қаптастыруда сызаттануға жол бермеудің негізгі әдістемесі бұйымды алдын ала қыздыру.

5.4. Әртүрлі құрылымдар үшін ұтымды пісіру ережесін таңдау негіздері

Белгіленген мөлшерлі, тұлғалы, сапалы пісіру жігі қалыптасуын қамтамасыз ететін пісіру процесінің негізгі факторлар жинағы *п і с і р у е р е ж е с і* болып аталады. Электрдоғалы пісіруде айтылған сипаттамалар қатарына пісіру тогы, доға кернеуі, электрод диаметрі, пісірілетін металл жиектерін бойлай электрод қозғалысының жылдамдығы (пісіру жылдамдығы), ток тегі, полярлығы, т.б. жатады. Электрқожды пісіруде – пісіру тогі, пісіру ваннасы кернеуі, ванна металының көтерілу жылдамдығы (пісіру жылдамдығы), қож ваннаның тереңдігі, т.б. Түйіспелі электрлі пісіруде – пісіру тогы (нақтылы қосылыстардың сатысында машина қуаты), пісіру уақыты, электродтарға келтірілген қысым (нүктелі және жікті пісіруде), шөгілдіруші қысым және орнықтыру ұзындығы, (түйістіріп пісіруде), газбен пісіруде – жалын қуаты, жалын құрылымы, қосымша сым диаметрі және оның қарышталуы, пісіру жылдамдығы.

Пісіру ережесі құрамына енгізілген жеке фактор пісіру ережесінің параметрі деп аталады. Сонымен, пісіру ережесі дегеніміз, ереже параметрлерінің жинағы.

Пісірілген жік және жалғас сапалылығына және құрылымының эксплуатациялау жағдайына байланысты талаптар қойылады. Пісіру ережесі жік пен жалғастың қойылған талаптарға толық сәйкес қалыптасуын қамтамасыз етуі шарт, яғни құрылымды пісіру технологиясы, пісіру ережесі нақтылы шарттарға сәйкес болуы керек және осы шарттарға байланысты таңдалады.

Пісіру ережесін таңдаудың бірінші шарты «мөлшері мен тұлғасы оңтайлы, технологиялық беріктігі жоғары және эксплуатациялық талаптарды қанағаттандыратын жік қалыптастыру», яғни жіктің жақсы қалыптасуын қамтамасыз ету.

Осы мақсатта іске асыру пісіру процесінде металдың жылуфизикалық қасиеттері ескерілуі керек. Себебі қалыптасуы, оның тұлғасы мен мөлшері, әсіресе балқытып пісіруде балку температурасы $T_{\text{бл}}$ изотермасымен анықталады. Аталған изотерма пісіру ережесіне, металдың жылуөткізгіштігі, балку температурасы, көлемдік жылусыйымдылығы және температура өткізгіштігіне тәуелді. II тарауда жік қалыптасу сипаттамаларының көрсеткіштері берілген. Солардың арасында қазір назар аударатындары салыстырмалы балқыту тереңдігі h/b немесе бұған кері шама – балқыту тұлғасы коэффициенті $\Psi_{\text{бл}} = \epsilon/h$ (h – балқыту тереңдігі, ϵ – жік ені). Балқытып қалыптастырылған қабат келбеті білікше тұлғасы коэффициентімен $\Psi_{\text{бл}} = \epsilon/h$ және білікше жік толтыру коэффициентімен сипатталады. $\mu = F_H/(vc)$ (c – білікше биіктігі, F_H – балқытып қаптастырылған металл көлденең қимасының ауданы).

Жік қалыптасуын сипаттаушы тағы бір көрсеткіш – ванна тұлғасы коэффициенті $\phi = L/\epsilon$ (L – пісіру ваннасы ұзындығы).

Пісіру ваннасының кристалдану жағдайы құбылады, егер ванна тұлғасы коэффициенті және балқыту тұлғасы коэффициенті өзгерсе, балқыту тұлғасы коэффициенті шамасы өссе, және ванна тұлғасы коэффициенті шамасы төмендесе, ваннаның кристалдану жағдайы жақсарады, ыстықта сызаттануға бейімділігі төмендейді. Дегенмен $\Psi_{\text{бл}}$ шамасы аса өссе, ϕ шамасы кемісе, жік аса енді және балку тереңдігі аз болып қалыптасады. Сондықтан $\Psi_{\text{бл}}$ және ϕ шамалары белгілі шекті аралықтан шықпауы керек.

Ванна тұлғасы коэффициенті ϕ шамасының тұрақты болуы (2.6) теңдеуден $\phi = A\sqrt{q \cdot V_n}$ көрінеді және $q \cdot V_n$ көбейтіндісінің тұрақтылығымен анықталады. Сондықтан, пісіру ваннасының геометриялық ұқсастығын сақтау арқылы, кристалданудың оңтайлы жағдайы бірқалыпты болуы үшін, $q \cdot V_n$ көбейтіндісінің тұрақтылығын сақтау, егер доғаның қуаты өсірілсе, пісіру жылдамдығын төмендету қажет.

Тезжылжымалы нүктелі жылу көзінің әсерінде

$$T_{\text{max}} = 2q / (\pi \epsilon c \gamma V r_x^2). \quad (5.5)$$

Бұл теңдеуден балқу температурасы $T_{\text{бл}}$ изотермиясына дейінгі қашықтықтың квадраты r_x^2 тең

$$r_x^2 = 2q / (\pi e c \gamma V T_{\text{бл}}). \quad (5.6)$$

Радиусы r жарты шеңбердің ауданы балқытылып пісіру аумағы болады, яғни

$$F_{\text{бл}} = \pi r_x^2 / 2 = (\pi/2) [2q (\pi e c \gamma V T_{\text{бл}})] = q / (e c \gamma T_{\text{бл}} V) \quad (5.7)$$

мұндағы q – жылы қуаты; e – натурал логарифм негізі; c – металл жылусыйымдылығы; γ – металл тығыздығы; $T_{\text{бл}}$ – балқу температурасы; V – пісіру жылдамдығы.

Пісіру ережесін есептеуде масса бірлік өлшеміне қатынасты энергияның үлесті қарышталуын ескеретін коэффициент $K_{\text{о.м.}}$ енгізу ыңғайлы. Коэффициент $K_{\text{о.м.}}$ 1 гр балқытылған негізгі металға қарышталған энергия мөлшерін (кал/г) көрсетеді.

$$K_{\text{о.м.}} = q / (F_{\text{бл}} \cdot \gamma \cdot V), \quad (5.8)$$

осыдан

$$F_{\text{бл}} = q / (K_{\text{о.м.}} \cdot \gamma \cdot V), \quad (5.9)$$

шығады.

Негізгі металды балқытуға қарышталған жылулық үлесі термиялық п.э.к.-мен η_n сипатталады, ол негізгі металды балқытуға уақыт бірлігінде кеткен жылулықтың пісірудегі жылулық көзінің нәтижелі жылулығына қатынасына тең

$$\eta_n = F_{\text{бл}} \cdot V \cdot \gamma \cdot h_{m_{\text{бл}}} / q, \quad (5.10)$$

$h_{m_{\text{бл}}}$ – балқытылған металдың балқу температурасындағы үлесті энтальпия, кал/г (төменкөміртекті болат үшін $h_{m_{\text{бл}}} = 325$ кал/г немесе 198,5 кДж/кг).

(5.8) және (5.10) теңдеулерін бірге шешу нәтижесінде

$$K_{\text{о.м.}} = h_{m_{\text{бл}}} / \eta_n, \quad (5.11)$$

шығарылады.

Доғаның жылулық қуатының және пісіру жылдамдығының термиялық п.э.к төмендетеді және балқытуға қарышталатын энергияны өсіреді.

$$\text{Балқыту тереңдігі} \quad h = r_{x(T_{пл.})} \quad (5.12) \quad \text{тендігімен}$$

анықталады:

$$q = 4\pi\lambda T_{\text{бл.}} \varphi h. \quad (5.12)$$

(5.12) теңдігінен көрінетіндей, доғаның жылу қуаты балқыту тереңдігіне пропорционалды алынуы керек. Доға қуаты белгілі анықталған болса, онда доға тогы мен кернеу шамасы төмендегі теңдеуден анықталады

$$q = 0,24 I_n U_g \eta_n. \quad (5.13)$$

Ток пен кернеу шамаларының өзара қатынасы балқыту тұлғасы коэффициентінің оңтайлы мәнін қамтамасыз ететіндей алынады.

Электр доғалы пісіруде және балқытып қабат қаптастыруда балқыту тұлғасы коэффициенті кең ауқымды шекті $0,8 < \Psi_{\text{бл.}} < 20$, бірақ оңтайлы мәні шектеулі. Жіктің $\Psi_{\text{бл.}} < 1$ болғанда, ыстықта сызаттануға бейімділігі өседі; $\Psi_{\text{бл.}} > 5$ болса, жік тым енді балку тереңдігі аз болады. Бұл жағдайда доғаның жылулық қуатын тиімді пайдаланылуы төмен және құрылымның деформациялануы жоғары болады. Сонда аталған коэффициенттің оңтайлы мәні $0,8 < \Psi_{\text{бл.}} < 4$.

Коэффициент $\Psi_{\text{бл.}}$ шамасына пісіру ережесінің параметрлері түгелдей дерлік әсер етеді. *Пісіру тогын* өсіру балку тереңдігін елеулі өсіреді, ал жік ені мөлшеріне аз әсер етеді. Сондықтан пісіру тогының өсуі, $\Psi_{\text{бл.}}$ коэффициентінің азаюына алып келеді. *Пісіру жылдамдығын* өсіру балку тереңдігіне аз әсер етеді, жік енін елеулі азайтады, яғни $\Psi_{\text{бл.}}$ азайтады. *Доға кернеуінің* өсуі балку тереңдігін шамалы ғана өзгертеді, демек $\Psi_{\text{бл.}}$ өседі. *Электрод диаметрін* үлкейту балку тереңдігін азайтуға алып келеді, жік енін ұлғайтады, демек $\Psi_{\text{бл.}}$ мәні өседі.

Пісіру ережесі параметрлерін әртүрлі өзгерту арқылы балқыту тұлғалық коэффициентін оңтайлы шамаға келтіруге болады.

Пісірілген жалғастың жұмыс атқару қабілетіне жіктің пішіні де (тұлғасы) әсер етеді. Егер жік биік жіңішке (ені тар) болса, онда жік үстіңгі бетінің негізгі металмен ұштасу жатақ болмайды да, осы жерде кернеу шоғырлануы орын алады. Сәйкес жүктемелік жағдайда қажудан сызаттану мүмкін. Сондықтан пісіру ережесі жік металы (балқытылған металл) негізгі металмен жатық түйіндесуін қамтамасыз етуі қажет, яғни пісірілген жалғастың геометриялық біртекті еместігі минималды болуы керек.

Жік үстіңгі білікшесі «білікше тұлғалық коэффициенті $\Psi_{\text{біл}}$ және білікше жік толық толықтырылу коэффициентімен μ_0 сипатталады.

Бұл коэффициенттерді есептеу үшін балқытылған металдың ауданын $F_{\text{б}}$, жік енін b және жік білікшесі биік тегін c білу керек. Жік енін балқыту тұлғасы коэффициенті арқылы $b = \Psi_{\text{біл}} \cdot h$ шығаруға болады. Білікше жік толықтыру коэффициенті өзгерістері ықшамды, қанағаттарлық қалыптасқан жікте әдетте $\mu_0 = (0,67 \div 0,75)$, көбінесе $\mu_0 \approx 0,73$ шамасында болады. Практикалық мақсатта $\mu = 0,73$ дәлдігі жеткілікті болып келеді. Сонда білікше биіктігі төменде келтірілген формула мен анықталады

$$c = F_H / (0,73b). \quad (5.14)$$

Балқытылған металдың көлденең қимасының ауданын F_H уақыт бірлігінде балқытылып қаптастырылған металл массасынан (z/c) шығаруға болады

$$m_{\text{б}} = \gamma \cdot V_n \cdot F_n. \quad (5.15)$$

Арнайы өлшеуіш үлгімен жік білікшесінің биіктігін C өлшеп анықтауға болады. Онда F_H (5.14) теңдігімен есептеледі.

Легірленген болаттарды пісіруде жік металында да, термиялық әсер аумағында да құрылымдық құбылыстар орын алады. Сондықтан легірленген болаттарды пісіруде жік тұлғасы мен мөлшерін дұрыс қалыптастыратын пісіру ережесін таңдау қажетті, бірақ жеткіліксіз шарт.

Легіріленген болаттарды пісіруде ереже тек жіктің дұрыс қалыптасуын қамтамасыз етумен шектелмей, сонымен қатар жік аумағы металының қасиеттерін, бірінші кезекті илемділігін төмендетпеуі шарт. Сондықтан тиімді пісіру ережесін таңдаудың екінші шарты – *«пісіру термиялық циклі жік металы мен термиялық әсер аумағының қасиеттерін оңтайлы қалыптастыруды қамтамасыз етуі»*.

Пісіру процесінде термиялық циклдің болат құрамымен құрамына әсері толығырақ IV тарауда қаралды. Қысқартып айтқанда, төменлегіріленген құрылымдық болаттар (құрамында көміртек шамасы төмен немесе аз шамалы өсірілген), сондай-ақ орташалегіріленген, жоғарылегіріленген құрылымдық болаттар термиялық цикл әсерінен шынығуға бейімді. Метр ұзындыққа келетін энергия шамасына байланысты жік аумағында болат шынығуы шұғыл өтіп, металдың қаттылығы өсіп, илемділігі төмендеуге (метрлік энергияның аз шамасында), немесе кристаллит түйіршіктердің өсіп, нәтижесінде металл илемділігінің төмендеуіне (метрлік энергия шамасы аса мол болғанда) алып келеді. Аталған екі жағдайда орын алғанда да жік аумағында сызаттану мүмкін. Сондықтан жоғарыда көрсетілген болаттарда жік аумағының қасиеттері оңтайлы қалыптасатын суытылу жылдамдығы шекті мәндерін анықтау қажет. Ол үшін жоғарыда келтірілген білікше салу және ИМЕТ сынау үлгілерін қолданған нәтижелі болады.

Пісіру ережесімен суыту жылдамдығы арасындағы байланыстылық формулаларда берілген. Егер пісіру ережесі жік аумағының суықтылу жылдамдығын жоғары шекті мәнінен артық етсе, онда шынығу салдарынан жік аумағының илемділігі күрт төмендейді; пісіру ережесі жік аумағының суытылу жылдамдығын төменгі шекті мәнінен де төмендетсе, түйіршіктердің аса өсуінен металдың илемділігі мен тұтқырлығы төмендейді.

Егер болат шынығуға шұғыл бейімділікті болса, онда суытылу жылдамдығы қандай болса да (іс жүзінде орындалатын мәндерінде) жік аумағы құрылымы мартенсит болады. Бұл жағдайда суытылу жылдамдығын баяулату да мартенсит қалыптасуын тежей алмайды, түйіршіктердің елеулі өсуіне алып

келіп, металл илемділік қасиетін елеулі төмендетеді. Осындай болаттарды пісіруде жік аумағының шынығуына жол бермеу үшін алдын ала жоғары қыздыруда пайдалы болмайды, керісінше, жік аумағы металының қасиеттері, әсіресе соққы тұтқырлығы төмендейді. Сондықтан мүмкіндікті суыту жылдамдығы шамасы ішінара шынығу орын алса да сызаттану болмайтын болуы керек. Бұл жағдайда жік аумағының қасиеттерін жетілдіру үшін пісіруден соң термиялық өңдеу қажет.

Сонымен, легирленген құрылымдық болаттарды пісіруде эксперимент немесе есептеу арқылы жік қалыптасуы шартына сәйкес пісіру ережесін таңдау қажет, жік аумағының нақтылы суытылуы жылулығын анықтау және оны болат маркасына тән суытылудың шекті мәндерімен салыстыру қажет. Егер суытылу жылдамдығы мүмкінді суыту жылдамдығының шекті жоғары мәнінен артық болса, онда бұйымды алдын ала қыздыру қолдану керек.

Аустенитті хромникельді болатты пісіруде кристаллит аралық коррозиядан сақтану үшін пісіру ережесін таңдауда, жік металы мен жік аумағының қауіпті температура аралығында ($680\div780^{\circ}\text{C}$) болу уақыты минамалды болуын қамтамсыз ету керек.

Аустенитті хромникельді болаттарды пісіруде қажеттілікті:

1) Жік қалыптасуы шарттары бойынша пісіру ережесін таңдау. Бұл болаттардың үлесті электрқарсылығы жоғары. Сондықтан аустенитті электродтарда ток тығыздығы төменкөміртекті электродтардағыдан төмен етіліп алынады;

2) Нақтылы суытылуы жылдамдығын және жік металымен жік аумағының қауіпті температуралар аралығында болу уақытын анықтау.

Бұл уақытты сынды уақытпен, яғни кристаллит аралық коррозияға бейімділік беретін минималды уақыт мөлшерімен салыстыру. Жік металымен жік аумағының қауіпті температура аралығында болу уақыты төменде келтірілген теңдеумен анықталады

$$t_{o.m.} = (780 - 680) / \omega_o, \quad (5.16)$$

мұндағы ω_o – 780-680 °C аралығында суытылу жылдамдығының орташа мәні.

Лезде суытылу жылдамдықтарын $T=780$ °C ($\omega_{cy.780^0}$), $T=680$ °C ($\omega_{cy.680^0}$) (2.20), (2.21), (2.22) формулалары арқылы анықтауға болады.

Орташа суытылу жылдамдығы тең

$$\omega_o = \left(\omega_{cy.780^0} + \omega_{cy.680^0} \right) / 2. \quad (5.17)$$

Кристаллит аралық коррозияға қарсы тұрақтылық болуы үшін төменде келтірілген теңіздік сақталуы керек

$$t_{ch} > Kt_{01} + K_1 \sum_1^n t_{on}, \quad (5.18)$$

t_{ch} – сындық уақыт, t_{01} – нақтылы зерттелуші жік қабатының қауыпты температуралар аралығында болу уақыты;

$\sum_1^n t_{on}$ – нақтылы зерттелуші жік қабатының қауіпті температура

аралығында болу уақыттарының қосындысы, барлық термиялық циклдер әсерімен (көп қабатты жік салуда); K және K_1 есептеумен алынған шамаларды өлшеумен алынған шамалармен салыстырып шығарылған түзету коэффициенттері $K=2,1$; $K_1=1,74$.

Жоғарыда келтірілген негіздеулерден көрінетіндей, барлық жағдайда пісіру ережесін таңдау жақсы қалыптасқан (геометриялық біртектіліксіздігі ең төмен және кристалдану жағдайлары оңтайлы) жік салу шарттары және жік металы мен жік аумағы оңтайлы қасиетті болуын қамтамасыз ететін термиялық циклді таңдау болып табылады.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. *Фролов В.В., Винокуров В.А., Волченко В.Н., Парахин В.А., Арутюнова И.А.* Теоретические основы сварки. – М: Высш. шк., 1970.
2. *Багрянский К.В., Добротина З.А., Хренов К.К.* Теория сварочных процессов. – Киев: В.Ш., 1976.
3. *Петров Г.Л., Тумарев А.С.* Теория сварочных процессов. – М.: Высш. шк., 1977.
4. Теория сварочных процессов. Под ред. *Фролова В.В.* – М.: Высш.шк., 1988.
5. *Лашко Н.Ф., Лашко С.В.* Некоторые проблемы свариваемости металлов. – М.: Машгиз, 1963.
6. *Нысанбай Ғ.* Металдарды пісіру және кесу. – Алматы: ҚазҰТУ, 2001.
7. *Нысанбай Ғ.* Плазменное напыление порошковых материалов. – Алматы: КазНИИНТИ, 1987.
8. *Нысанбай Ғ.* Металдарды газбен пісіру және кесу. Алматы: ҚазҰТУ, 2011.
9. *Есмұханов Ж.М. және т.б.* Қазақша-орысша, орысша-қазақша терминологиялық сөздік. Машинажасау. т.7. – Алматы: Рауан. 2000.
10. *Түсіпбеков М.Р. және т.б.* Қазақ тілі терминдерінің салалық ғылыми түсіндірме сөздігі. Машинажасау. – Алматы: Мектеп, 2007.
11. *Түсіпбеков М.Р., Қусаинов А.Қ.* Русско-казахско-английский политехнический словарь. – Алматы, 2010.
12. *Нысанбай Ғ.* Металдарды пісіру процесінің теориясы. I Физикалық негіздері. Алматы: ҚазҰТУ, 2012.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ.....	3
1. Физикалық химия негіздері.....	5
1.1. Жалпы түсініктер және термодинамиканың бірінші заңы.....	5
1.2. Термодинамика екінші заңы.....	13
1.3. Сипаттамалық функциялар және термодинамикалық потенциалдар.....	18
1.4. Химиялық реакцияның қайтымдығы және химиялық реакцияның тепе-теңдігі.....	24
2. Пісіру ваннасында металдың кристалдануы және жік металы қалыптасуы.....	40
2.1. Пісіру ваннасы және жік металы қалыптасуы.....	40
2.2. Кристалдану процесінің негізгі заңдылықтары.....	51
2.3. Пісіру ваннасында металл кристалдану ерекшеліктері....	56
2.4. Жоғары температурада жік металының деформациялануы.....	61
2.5. Жік металында кеуек және бейметалл қоспалар қалыптасуы.....	88
3. Балқытып пісіруде металлургиялық процестер.....	94
3.1. Пісірудегі металлургиялық процестер жалпы сипаттамасы.....	94
3.2. Пісіру ваннасының тотығу және тотықсыздануы.....	97
3.3. Ваннада металдың сутек және азотпен әсерлесуі.....	100
3.4. Пісіруде металды легірлеу.....	105
3.5. Пісіру ваннасын ауадан оқшаулау тәсілдері.....	118
3.6. Флюс қабатының астында автоматты пісіру.....	123
3.7. Газжалынымен пісіруде металлургиялық процестер..	128
3.8. Жоғары белсенділікті металдарды пісіру.....	131
4. Термодерформациялық циклдің пісірілген жалғас құрылымы мен қасиетіне әсері.....	136
4.1. Балқытып пісіруде термиялық цикл сипаттамасы....	136
4.2. Төменкөміртекті болатты пісіруде термиялық әсер аумағы.....	140
4.3. Шынығуға бейімді болат және шойынды пісіруде термиялық әсер аумағының құрылымы және қасиеті.	144
	197

4.4. Көпқабатты жікпен қалыптасқан жалғас құрылым ерекшеліктері.....	157
4.5. Термиялық өңдеудің пісірілген жалғас құрылымы мен қасиетіне әсері.....	162
5. Металдың пісіруге технологиялық бейімділігі.....	165
5.1. Пісіруге технологиялық бейімділік және оны бағалау.....	165
5.2. Пісіруге бейімділікке байланысты пісіру түрін таңдау.....	175
5.3. Әртүрлі жағдайларда пісіру материалдарын таңдап алу негіздері.....	179
5.4. Әртүрлі құрылымдар үшін пісіру ережесін таңдау негіздері.....	188
БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ.....	196

Оқулық басылым

Ғабдұлла Нысанбай

ПІСІРУ ПРОЦЕСІНІҢ ТЕОРИЯСЫ
II МЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР

Оқу құралы

РБ бастығы

Редакторы

Компьютерде беттеген

З.А. Ғұбайдулина

Т. Жақсыбаева

А.Б. Аришова

Басуға қол қойылды 23.04.2013 ж.

Таралымы 300 дана. Пішімі 60x84 1/16. №1 баспаханалық қағаз.

Көлемі 12,4 есепті б.т. Шартты б.т. 11,6. Тапсырыс № 64.

Бағасы келісімді.

Қ.И. Сәтбаев атындағы

Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы

Ақпараттық-баспа орталығы,

Алматы қаласы, Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-504-8



9