

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

К. Қ. Мамырбаева

АРНАЙЫ МАТЕРИАЛДАРДЫ АЛУ НЕГІЗДЕРІ

«Металлургия» мамандығына арналған оқу құралы

Университеттің Оқу-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2017

ӘОЖ 669 (075)

ББК 34.39 я73

М 18

Пікір жазған:

Тлеугабылов С. М., техн. ғыл. док., Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ профессоры;

Бердіқұлова Ф., РМК Мемлекеттік тапсырыс бойынша «Ғылыми-зерттеу жұмыстары» бөлімінің жетекші ғылыми қызметкері, техн. ғыл. канд.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2017 жылғы басылым жоспары бойынша басылды.

Мамырбаева К. Қ.

М18 Арнайы материалдарды алу негіздері: Оқу құралы / *К. Қ. Мамырбаева.*

– Алматы: ҚазҰТЗУ, 2017. – 139 б. Сурет 26. Кесте 19. Библиогр. – 6 атау.

ISBN 978-601-323-063-4

«Арнайы материалдарды алу негіздері» оқу құралында ұнтақты металлургия технологиясымен алынатын арнайы материалдарды алу негіздері, соның ішінде ұнтақты металдарды алудың механикалық және физика-химиялық әдістері, металл ұнтақтарының химиялық, физикалық және технологиялық қасиеттері, ұнтақтарды престеу (қалыптау) және жентектеу процестері, ұнтақты металдар негізінде кеуекті, фрикциялық, антифрикциялық, электротехникалық, конструкциялық, жоғарытемпературалық, қатты, аса қатты және композициялық материалдарды алу негіздері қарастырылған.

Оқу құралы «Металлургия» мамандығының студенттеріне, металлургия саласына мамандандырылатын инженерлерге арналған.

ISBN 978-601-323-063-4

© Мамырбаева К.Қ., 2017

© ҚазҰТЗУ, 2017

КІРІСПЕ

Қазіргі кездегі техникадағы үлкен жетістіктердің көп бөлігі ұнтақты металлургия технологиясымен алынған арнайы материалдармен іске асады және көптеген дамыған елдердің заманауи өндірістік технологияларын дамытудағы басты бағыттарының бірі – ұнтақты металлургия саласын дамыту болып табылады.

Ұнтақты металлургия – металдық ұнтақтарды және металдық ұнтақтар негізіндегі бұйымдарды немесе металдық емес ұнтақтармен қоспаларды алудың өндірісін қамтитын ғылым мен техниканың саласы.

Ұнтақты металлургия әдісімен басқа әдістермен алынбайтын, арнайы материалдардың сан алуан түрлері, атап шыққанда кеуекті, конструкциялық материалдар, фрикциялық және антифрикциялық материалдар, беріктігі өте жоғары жентектелген болат пен балқымалар, сүзгіштер мен кеуектілігі жоғары заттар, электртүйісу материалдары, жоғары температуралық, аса қатты қорытпалар мен материалдар, композициялық, т.б. материалдар алынады.

Іс жүзінде өндірістің кез келген саласында ұнтақты металлургия әдісімен алынған арнайы материалдар қолданылады.

Ұнтақты металлургияның негізгі артықшылықтарына:

- дайындалатын заттардың механикалық өңдеу шығынының төмен болуы; алынатын заттардың пішіні мен өлшемдерінің дәл болуы, зат бетінің сапасының жоғары болуы;

- энергия және ресурстарды үнемдеуші технологиялардың қолданылуы; өнімді жасау технологиясының тізбегіндегі операциялар санының аз болуы; бастапқы заттардың 97 % қолданылуы; жентектеу сатысының өзінде көптеген жинау операцияларының орындалуы;

- металл және металл емес компоненттерді қосу арқылы көпкомпонентті ерекше қасиеттері бар заттарды алу мүмкіндігі;

- дәстүрлі технологиялармен салыстырғанда экономикалық тиімділігі, техникалық және пайдаланушылық қасиеттері жоғары заттардың алынуы;

- күрделі пішінді заттарды жасау мүмкіндігі жатады.

Дегенмен, ұнтақты металлургияның артықшылықтары мен кемшіліктерін тұрақты болатын жеке фактор ретінде қарастырмау қажет: олар ұнтақты металлургияның, сондай-ақ өндірістің басқа салаларының күйі мен даму деңгейіне байланысты. Техниканың дамуына қарай ұнтақты металлургия бір саладан ығыстырылып және керісінше, басқа салаларда қамтып алуы да мүмкін. Мысалға доғалы, электронды-сәулелік, плазмалық балқыту және электр импульстік қыздыру әдістерінің дамуы бұрын болмаған температураларды алуға мүмкіндік берді, осының салдарынан қиын балқитын металдарды алуда ұнтақты металлургияның меншікті үлесі біраз төмендеді.

Ал жаңа ерекше қасиеттерге ие болатын композициялық материалдарды алуда ұнтақты металлургия әдісімен салыстыруға болатын бір де бір әдіс жоқ. Сонымен қатар, соңғы кезде табылған ұнтақтарды жоғары температурада жан-жақты қысу әдісі кеуексіз, үлкен өлшемді ірі ұнтақты заттарды алуды жеңілдетті.

Қазіргі кезде ұнтақты металлургияның жыл сайынғы өсімі 5 % құрап отыр.

Ұнтақты металлургиямен жартылай фабрикаттар мен заттарды қалыптау, престоу, жентектеу сатыларымен алу шыны, полимерлер, керамика мен металдарды алуда қолданылады. Соңғы кезде қалыптау, престоу, жентектеу сатылары көптеген металдар мен материалдар негізінде жасалатын арнайы материалдардың өндірісінде кеңінен таралуда, технологиялық процестерде, материалдардың түрлерінде көптеген жетістіктер де болып жатыр.

Ұнтақты металлургия әдісімен алынатын материалдарды қолданылу облыстарына қарай бірнеше топтарға бөледі:

- триботехникалық материалдар (антифрикциялық, фрикциялық, нығыздаушы);
- аспаптық материалдар (қатты қорытпалар, аса қатты материалдар, жылдам кесетін болат);
- конструкциялық материалдар (машина жасауда қолданылатын, ыстыққа төзімді, композициялық, коррозиялық тұрақты);
- электротехника және атом өнеркәсібінде, радиотехникада, электроникада, машина жасауда, металлургия және химия өнеркәсібінде және т.с.с. қолданылатын арнайы физикалық қасиеттері бар материалдар (арнайы электрлік, магнитті қасиеттері бар, атомдық техникаға арналған, сүзгіштер мен кеуекті заттар, т.б.).

1. МЕТАЛДЫҚ ҰНТАҚТАРДЫ АЛУ ӘДІСТЕРІ

1.1. Металдық ұнтақтарды алу әдістері

Металдық ұнтақтарды алу – ұнтақты металлургияның негізгі технологиялық операциялардың біріншісі болып табылады. Ұнтақтың құрамы, құрылымы, т.б. қасиеттері алу жолына, сонымен қатар металдардың табиғатына байланыста болады. Ұнтақтардың қасиеттерінің бәрі ұнтақты алу жолына тікелей тәуелді.

Металдық ұнтақтарды алу әдістері жалпы екі үлкен топқа бөлінеді:

- 1) механикалық әдістер;
- 2) физика-химиялық әдістер.

Кейбір жағдайларда алынатын ұнтақтардың сипаттамаларын жақсарту үшін екі әдіс бірге қолданылады.

1.1.1. Ұнтақтарды алудың механикалық әдістері

Ұнтақты металлургияда тығыз материалдарды механикалық әдістерімен ұсату кең тараған. Бұл әдіспен іс жүзінде кез келген металл мен қорытпаны ұсатуға болады. *Ұсату* деп сырттан жасалатын әрекеттермен, яғни ішкі ілінісу күштерінен асып өтетін күштерді қолдану арқылы материалдың бастапқы өлшемдерін азайтуды айтады. Бөлшектеу, ұнтақтау немесе үйкелістіру арқылы ұсату – қатты денелерді ұнтақты күйге айналдырудың ескі әдістері болып табылады. Қатты денелерді бөлшектеу кезіндегі жұмсалатын энергия серпімді және созылмалы деформацияға, жылудың бөлінуіне және жаңа беттердің түзілуіне жұмсалады. Қатты денелерді деформациялау процесі жоғары дисперсті күйде оттегіге белсенді болатын металл ұнтақтарын алуға тиімді. Мысалы, магнийдің ұнтағын алу үшін бетіне тырнағыш таспасы болатын, айналатын металдық барабан – «кратц машинаны» қолданады, сонымен бірге магнийдің ұнтағын арнайы конструкциялы фрезерлік станоктарда нығыздалған магнийді өңдеу арқылы алады. Ұсақ жоңқа екі – тік және горизонтальді фрезбен түсіру – технологиялық айналымның негізгі операциясы болып есептеледі. Фрезерлеуден кейінгі алынған ұнтақты шарлы диірмендерде қосымша өңдеуді керек етпейді.

Металдық ұнтақтарды алудың негізгі өндірістік әдісі ретінде оксидтерді қатты тотықсыздандырғыштар менгаздармен тотықсыздандыру әдістері қолданылады. Сұйық металдарды ауа, газ және центрге тартқыш, соққылық күштер көмегімен тозандатып, әрі қарай төмен температурада тотықсыздандыру, су ерітінділері немесе балқытылған жүйені электролиздеу, нүктелік көздерді диффузиялық жолмен қанықтыру, элементтерден синтездеу, химиялық процесс әдістеріне карбонильдердің диссоциациясы, буландыру және конденсациялау жатады. Металдарды өз оксидінен тотықсыздандырып алу – металдық ұнтақтарды алудың кең таралған әдісі. Осы әдіспен темір, мыс, никель, вольфрам және басқа да металл ұнтақтары, сонымен бірге болат ұнтақтары, металдық қорытпалардың ұнтақтары (легіріленген және тот баспайтын болат, нихром, инвар, т.б.) өндіріледі. Оксидтерді тотықсыздандыру әдісі қолданылатын тотықсыздандырғыштар және шихтаның агрегаттық түрі; оны тотықсыздау ауданына енгізу әдісі бойынша жіктеледі.

Сыртқы күштердің әсерінен заттың әлсіз жерлерінде тұйық немесе беттерде басталатын өте ұсақ жарықтар пайда болады. Қирату кезінде деформацияланатын денедегі бағыт кейбір шекті мәндерден асып кетеді, серпімді деформация қирату деформациясына ауысып ұсақтану жүреді. Ұсақтауға кеткен жұмыс екі энергияның қосындысы болып табылады:

$$A=E_k+E_d, \quad (1)$$

мұндағы $E_k=\delta \nabla S$; $E_d=K \nabla V$; мұнда E_k – қатты дененің қирауы кезінде жаңа бөлу беттерінің түзілуіне жұмсалатын энергия; δ – меншікті беттік энергия; ∇S – ұсату кезіндегі беттің айналымы; E_d – деформация энергиясы; K – қатты дененің көлем бірлігінің серпімді деформациясының жұмысы; ∇V – деформацияланатын дененің көлемі.

Механикалық әдістерге қатты металды кесіп өңдеу, қатты металды ұсақтап, үгітіп, ұсақтау, балқымаларды тозандату және грануляциялау жатады.

Механикалық ұсақтау операциясы көбінде қоспалар дайындау операциясымен біріктіріледі. Ұнтақтарды механикалық жолмен алу әдістерінің ішінде көп тарағандары:

1) ұсақ жаңқалар немесе тозаң үгітінділер алу үшін металдарды кесумен өңдеу жолы;

2) металдарды шарлы, балғалы, құйынды, т.б. диірмендер түрлерінде ұсақтау;

3) ультрадыбыспен ұсақтау (диспергирлеу).

Металдарды кесумен өңдеу. Арнайы ұсақ жоңқа немесе үгітінділерді алу, олардан бұйымдар жасау тиімді емес, сондықтан іс жүзінде бұл өңдеу әдісі өте аз қолданылады.

Айналмалы шарлы диірмендерде ұсату. Бөлшектеу, ұнтақтау немесе үйкелестіру арқылы ұсату материалды ұнтаққа айналдырудың жеке әдісі немесе басқа әдістерге қосымша операциялар ретінде пайдаланады.

Шарлы диірмендерде ұсақтау. Шарлы диірмендер өте ұсақ ұнтақтарды алуға арналған өте қарапайым аппарат. Ол цилиндр тәрізді металдық барабан, оның ішіне ұсақталатын материал мен болаттан немесе қатты қорытпадан жасалған ұсақтаушы шарлар салынады.

Барабанды айналдырған кезде шарлар барабанның айналу бағыты бойынша барабанның қабырғаларымен жоғары, бір биіктікке көтеріледі. Шарлар центрден тепкіш күштің және шарлардың бір-бірімен барабанның қабырғаларына үйкелу күштерінің әсерінен көтеріледі. Көтерілу биіктігі барабанның айналу жылдамдығына тәуелді. Қисаю бұрышына жеткен кезде шарлар құлайды немесе материалды бөлшектей отырып төмен құлайды.

Шарлы диірмендерді жобалағанда оның габаритін, барабанның айналу жылдамдығын, шарлардың өлшемін, шардың массасын, төгілетін, ұсақталатын материалдың массасын, диірменнің өнімділігін және тартпаның қуаттылығын есептейді. Барабанның габаритін есептеу үшін тек қана оның ұзындығы мен диаметрінің рационалды өлшемдерін анықтайды. Оптималды диаметр ретінде 250 мм алынады. Барабанның диаметрін көбейту ұсақтау қарқындылығына әсерін тигізеді.

Барабанның диаметрі D мен оның ұзындығының L арасындағы қатынас материалдың ұсақталуына әсерін тигізеді.

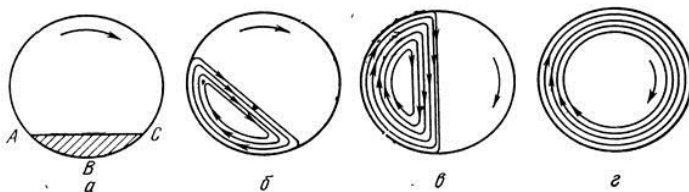
Егер $D:L > 3:5$ болса, шарлардың ұсақтағыш әсері көп болады. Бұл жағдай қатты және сынғыш материалдарды ұсақтау үшін тиімді болып табылады. Ал, $D:L < 3$ қатынасы, яғни үйкеліс әсерлер созылмалы материалдарды ұсақтау үшін пайдаланылады.

Барабанның көлемі келесі формуламен есептеледі:

$$v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L, \quad (2)$$

мұндағы: D – барабанның ішкі диаметрі, м; L – барабанның жұмысшы ұзындығы, м.

Барабанның айналу жылдамдығына байланысты ұсақталатын денелер үшін бірнеше жұмыс жасау режимдерін келтіруге болады (1-сурет): a және b режимдерінде шарлардың ұсақтау әсері болады. Барабанның айналу жылдамдығын көбейткен сайын центрден тепкіш күштің өсуіне және шарлардың көтерілу бұрыштарының ұлғаюына байланысты шарлар жоғары биіктіктен ұсақтау, бөлшектеу әсерімен, үлкен жылдамдықпен құлайды.



1.1-сурет. Диірменнің барабанында шарлардың қозғалу сұлбасы:
 a – сырғанату режимі; $б$ – домалату режимі; $в$ – қарқынды ұсату режимі; $г$ – $n_{ш}$ кезіндегі шекті режим

Барабанның айналуы көбейген сайын центрден тепкіш күш те соншама өседі, соның нәтижесінде шарлар диірменмен бірге айналып, материал тіпті ұсақталмайды. Мұны заттың аумалы күйдегі шекті (критикалық) жылдамдығы деп атайды (1, $г$ -сурет).

$$n_{\sigma} = \frac{42,4}{\sqrt{D}}, \quad (3)$$

мұндағы: D – барабанның ішкі диаметрі, м.

Домалату режимінде материалға үздіксіз әсер еткенде, ол өте жақсы ұсақталады. Мұндай режимге $n = 0,6$ п.ш. тең болғанда жетуге болады.

Шарлардың өлшемдері. Шарлардың өлшемдерін таңдағанда материалдың күйін (сынғыштығын немесе созылғыштығын), кесектердің орташа өлшемдері, жұмыстың режимі (домалату, соққылау) есепке алынады. Соққылау режимінде майда шарлар қолданылған жағдайда, сынғыш материалдар ұсақталмайды. Ал өте үлкен шарларды қолданған кезде олардың ұсақталатын материалмен жабысу беті аз болады. Шарлардың өлшемін азайту нәтижесінде ұсақтау қарқындылығы олардың әрқайсысының әсері материал бөлшектерінің жарықшақтары мен бұзылуларын дамытуға жеткілікті болғанша өсе береді.

Осы себептен, белгілі бір материал үшін белгілі бір өлшемдегі шарлар таңдап алынады. Шарлардың диаметрі 5–10 мм болғанда жақсы нәтижелер алынады. Бұл жағдайда 18–20 мм диаметрлі шарлармен ұсақтаумен салыстырғанда ұнтақтау уақыты екі есеге азаяды.

Шарлардың массасы мен салынатын материалдың массасы. Диірмен барабанының 0,4–0,45 көлем бөлігі шарлармен толтырылуы қажет. Осыдан көп көлем шарлармен тотырылса көлбеу осьтің маңайында шарлармен тотырылған жылжымайтын аудан пайда болады, яғни олар домалату режиміне қатыспайды.

Ұнтақтау кезінде салынатын материалдардың мөлшері ұсақтау басталғаннан кейінгі оның көлемі ұсақталатын денелердің аралығындағы бос көлемнен аспайтындай болуы қажет. Ұсақтағыш денелердің массаларының ұсақталатын материалдардың массаларына қатынастары әдетте 2–3 тең, ал қарқынды ұсақтау үшін ол қатынас 5–10 тең болуы керек. Осыдан, салынатын шарлардың көлемі барабан көлемінің 10–20 % құрауы керек.

Диірменнің өнімділігі оның көлеміне тәуелді және ол шамамен мына формула бойынша есептеледі:

$$Q = kVD^{0,6}_{\text{ішкі}}, \quad (4)$$

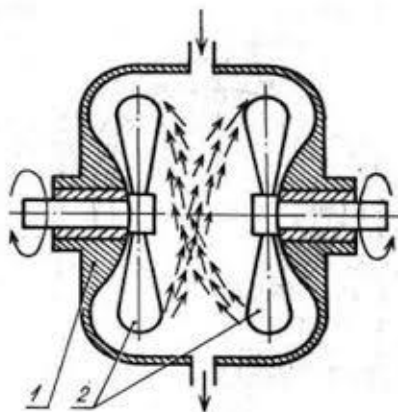
мұндағы k – ұсақтау дәрежесіне тәуелді коэффициент;
 V – диірменнің көлемі, м^3 ; D – диірменнің ішкі диаметрі, м .

Ұсақтау процесінің қарқындылығын арттыру үшін, әсіресе сынғыш материалдарды ұсақтаған кезде, ылғалдап ұнтақтауды қолданады, яғни ұнтақтау сұйық ортада жүргізіледі. Сұйық шаңның түзілуіне және бөлшектердің қайтадан бір-біріне жабысуына кедергі жасайды. Бұдан басқа, сұйық микрокеуектер мен микрожарықтарға кіріп, бөлшектерге үлкен айырғыш әсерін тигізіп, материалдың ұсақталуына өз септігін тигізеді.

Диірменді толтыруға арналған сұйықтық ретінде спирт, ацетон, сұйық майлар мен суды қолданады. Оларға коррозияға қарсы қоспалар қосылады. Сұйықтарға беттік активті заттарды қосқан тиімді. Сұйық шарлардың беткі деңгейін жабуға қажет, әдетте 1 кг ұсақтаушы шарларға 0,15–0,25 л сұйық алынады.

Іс жүзінде көптеген жағдайларда кезеңмен толтырылатын және кезеңмен ұсақталған материал шығарылып тұратын шарлы диірмендер пайдаланылады. Диірменді айналдыруды тікелей электрқозғалтқышпен немесе барабанды фракциялық беті бар айналдырушы валкалардың үстіне орнату арқылы жүргізеді.

Құйынды диірмендерде ұсақтау. Мұндай диірмендерде (1.2-сурет) қаққа айналғыш металдарды ұсақтау үшін ұсақталатын материалдардың бөлшектерінің бір-бірімен соқтығысуы пайдаланылады. Соқтығысу кезінде пайда болатын негізгі соққылық және үйкеліс күштері материалды ұсақтауға жағдай жасалады. Бұл жағдайда ұнтақтың шарлы диірмендегідей жұмыстық денелердің бөлшектерімен және диірменнің қабырғасымен ластануы жойылады, мұздай диірменнің қабырғасына бөлшектенбеген, қақталған материалдың жабысып қалатын құбылыстары жойылады. Құйынды диірмендерде ұсақтау нәтижесінде өте ұсақ, пирофорлы ұнтақтар алынады (мысалы, темірдің ұнтағы). Бұл диірменге қарағанда ағындық диірмендердің өнімділігі мен тиімділігі зор, себебі ондағы жұмыс камерасына тесіктерден берілетін қысылған газ (ауа немесе азот, т.б.) ағынымен немесе жоғары дыбыс жылдамдығымен қатты қыздырылған бу арқылы ұсақталатын бөлшектерге берілетін энергия есебінен материалдың өте нәзік ұсақталуы қамтамасыз етіледі. Камераның ішіндегі ұсақталған бөлшектер, өлшемдері 1–5 мкм-ге жеткенше, көп ретті соқтығысуға ұшырайды. Жұмыс камерасына берілетін газ ағынының күші бөлшектердің инерциялық күшінен асқанда, ағын металдың ұнтақтарын жұмыс камерасынан жіктегіштерге әкетеді.



1.2-сурет. Құйынды диірменнің сұлбасы

Балқымаларды тозаңдату. Бұл әдіс металдық ұнтақтарды балқытылған металды немесе қорытпаны қысылған газ, сұйық ағынымен немесе механикалық жолмен, ультрадыбыспен тозаңдатуға негізделген. Балқыманың ағынын сұйық ортаға төгу арқылы да (мысалы, су ортасына) ұнтақтар алынады. Технологиялық тізбектің негізгі бөлігі – сұйық балқыма ағатын форсунка.

Балқыманы тозаңдату әдістері шығындалатын энергияның түрі бойынша (индукциялық, жанама, электрдоғалы, электронды, лазерлі, плазмалық, т.б.), тозаңдату кезінде балқымаға әсер ететін күш бойынша (механикалық әсер ету, газ энергиясы және су ағыны энергиясы, гравитациялық күштер, ортадан тепкіш, ультрадыбыс және т.б.), тозаңдату жасалатын және жүргізілетін ортаның түрі бойынша (тотықсыздандырушы, тотықтырушы, инертті және қандай да болмасын берілген орта, вакуумдық) бірнеше түрлерге бөлінеді.

Қазіргі кезде ұнтақтарды тозаңдату әдісімен алу тек қана темір, болат және темір негізіндегі басқа да қорытпалардың ұнтақтарын алу үшін ғана емес, сондай-ақ алюминий, мыс, мырыш, қорғасын, қиын балқытын металдар (титан, вольфрам, т.б.) және осы металдар негізіндегі қорытпалардың ұнтақтарын алу үшін де қолданылады.

Тозандату әдісі көп компонентті қорытпалардың ұнтақтарын алу кезінде өте тиімді. Бұл әдіс алынатын бөлшектердің химиялық құрамының тұтастай біркелкі болуын, тиімді құрылыс пен құрылымның қалыптасуын қамтамасыз етеді және ол балқыманың тозандату алдында қатты қыздырылуына байланысты. Бұл процесс қатты бөлшектердің құрылымының түгелдей бұзылуына себеп болып, қарқынды араласу және пайда болған бөлшектердің өте жоғары жылдамдықпен кристалдану нәтижесінде (секундына 100 және ондаған жүз градус жылдамдығымен суу кезінде) құрылымы атомдық деңгейде біртекті болатын бөлшектердің түзілуіне әкеледі.

Тозандату үшін металл алдын ала электр пешінде балқытылады. Энергиятасымалдағыштар ретінде негізінен газдар (ауа, азот, аргон, гелий, көмірқышқыл газы) немесе су қолданылады. Балқыманы тозандату (әртүрлі энергиятасымалдағыштармен) әдістері әртүрлі ұнтақтарды өте үлкен көлемде өндіру үшін қолданылады.

Балқыманың қасиетіне қарай және ұнтаққа қойылатын талаптарға қарай тозандатуды ауамен, азотпен, аргонмен, гелиймен, тотығудан қорғау үшін – инертті газбен жүргізеді.

Ауамен тозандату – ұнтақтарды алудың өте тиімді әдісі. Тозандатудың негізгі параметрлері: газ ағынының қысымы мен температурасы, балқыманың температурасы. Тозаң ағынын суытатын орта ретінде су, газ, органикалық қышқыл қолданылуы мүмкін.

Тозандатудың әртүрлі жағдайларында шарлы, тамшы тәріздес, т.б. пішінді ұнтақтар алуға болады. Алынған бөлшектердің өлшемі 1 мм-ден оның жүздеген бөлігіне дейін жетеді.

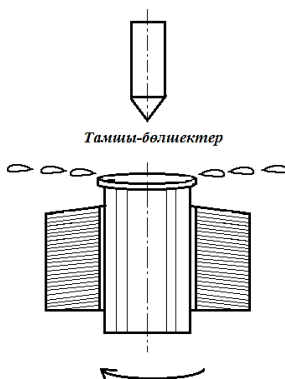
Практикада балқыма ағынына газ энергиятасымалдағышты берудің (балқымаға газды бағыттау) үш түрлі сұлбасы қолданылады:

- газдың ағыны балқымаға бір осьпен беріледі;
- газдың ағыны балқыма ағынына белгілі бір бұрышпен беріледі (негізінен 20-дан 60°-қа дейінгі бұрышпен газды бағыттау кеңінен таралған);
- газдың ағыны балқыма ағынына тік бұрышпен беріледі.

Соңғы жылдары энергиятасымалдағыш ретінде су қолданылады. Балқымаға бағытталатын су ағынының жылдамдығы 15–25 МПа қысым кезінде 100–150 м/с жетеді. Судың жылдамдығы форсунканың конструкциясына байланысты 500 мм-ге дейін сақталады. Бұл балқыманы тозаңдатудың ең тиімді сұлбасын таңдап алуға мүмкіндік береді. Суды балқымаға бір немесе бірнеше жақтан беруге де болады.

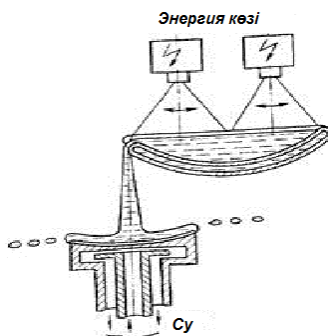
Практикада энергиятасымалдағыш 5–15-тен 60–70° градус аралығындағы бұрышпен, коаксильді ағындармен беріледі. Көптеген жағдайларда металл балқымаларын тозаңдату сопло, сақиналы-саңылаулы немесе жазық саңылаулы форсункалар қолданылады.

Ортадан тепкіш күштің көмегімен тозаңдату балқыманы тозаңдатудың негізгі түрлерінің бірі болып табылады. Айналмалы электрод әдісі бойынша балқыма пайда болған сәтте (1.4-сурет; электрлік доға, электронды сәуле, плазма немесе энергияның басқа да көздері) тозаңдату іске асады. Жылдамдығы 2000–20000 айн/мин шығындалатын электродтың шетінде пайда болатын, қалыңдығы 10–30 мкм балқыма қабықшасы ортадан тепкіш күштің әсерінен шетке қарай жылжып, өлшемі 100–200 мкм тамшы-бөлшектер түрінде тозаңдана бастайды (шығындалатын электродтың диаметрі мен айналу жылдамдығын көбейту тамшы-бөлшектердің өлшемінің азаюына себеп болады). Тамшыларды кристалдандыру шамамен 104 °C/сек суыту жылдамдығымен инертті газ атмосферасында жүргізіледі.



1.4-сурет. Балқыманы ортадан тепкіш күштің әсерімен тозаңдату сұлбасы

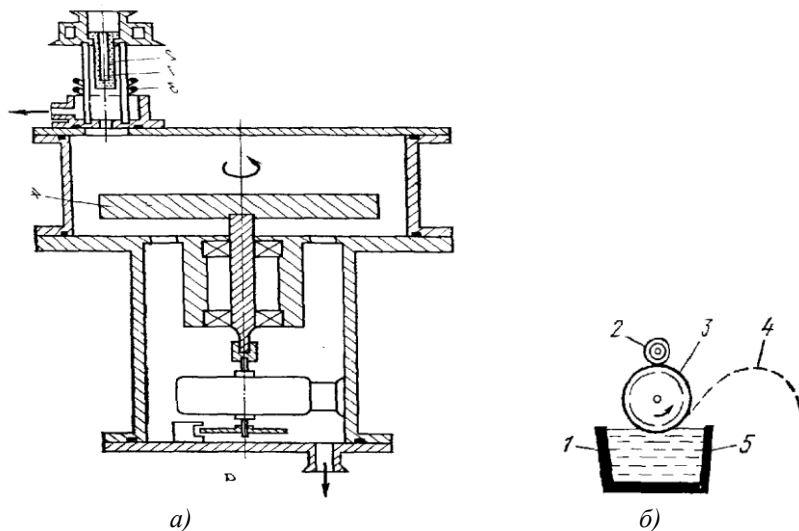
Тозандатудың басқа сұлбалары бойынша (1.5-сурет) металл балқымасы металды тозандату аймағынан тыс, бөлек, автономды алынады. Содан кейін балқыманың ағынын 24000 айн/мин жылдамдығымен айналатын дискке құяды. Оның шет жағында сұйық металдың жұқа қабықшасы түзіліп, одан негізінен өлшемі <100 мкм тамшы-бөлшектер пайда болады (дискіден жұлынады). Бұл тамшы-бөлшектер инертті газ атмосферасында $105-106$ °C/сек жылдамдығымен кристалдандырылады.



1.5-сурет. Сұйық металды автономды беру арқылы тозандату сұлбасы

Соңғы жылдары бөлшектерді өте жоғары жылдамдықпен суыту жүргізілетін тозандату әдістері дамуда. Бұл әдістерде суыту жылдамдығы – $107-108$ °C/с, тамшылардың ұшу бағытына $15-45^\circ$ бұрышымен суыту экраны орнатылады. Тамшылар осы экранға соқтығысып, оның бетінде қозғалыста болады және пластина бөлшектері түрінде жайлап кристалданады.

Вакуумда немесе инертті газда аса тез суытуға арналған қондырғыда (6, а-сурет,) балқыма тамшысы (1) құбырлы индукциялық пештің (3) ішінде орнатылған графитті тигілдегі тесіктен (2) аргонмен үрлеп шығарылады және олар қанат тәрізді мыстан жасалған кристаллизаторға (4) түседі. Бұл суытқыш 104 айн/мин жылдамдығымен айналдырылады (тамшының қарсы ұшу жылдамдығы және кристаллизатордың жылдамдығы бірігіп 500 м/с дейін жетеді).



1.6-сурет. Тозаңдатылған және аса тез суытылған ұнтақтарды алу сұлбасы

Екінші әдіс бойынша (1.6, б-суреттегі) жылу өткізгіштігі жоғары материалдан жасалған диск металл балқымасы құйылған көлемге вертикалды орнатылады. Ол жоғары жылдамдықпен (2000–5000 айн/мин) айналдырылады. Диск балқымамен жанасқан кезде металдың қалың емес қабаты пайда болып, дискімен ол ілесе шығып, қатады, содан кейін ол дискіден ажырап ұшып кетеді. Суыту жылдамдығы – $106\text{--}108\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$, осы жылдамдық балқыманың аса жоғары жылдамдықпен қатуын қамтамасыз етеді.

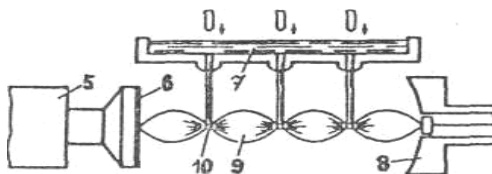
Кез келген жағдайда осындай әдістер, яғни кристалдандыру температурасы $106\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ жоғары жағдай құрылымы аморфты, арнайы қасиеттері бар ұнтақтарды алуға мүмкіндік береді. Мұндай ұнтақтардан техниканың көптеген салаларына қажетті ерекше материалдарды алуға болады.

Ультрадыбыспен тозаңдату. Балқыманы негізінен газ ортасында ультрадыбыстық капиллярлық толқындар немесе тұрақты толқындар көмегімен тозаңдатуға болады. Ультрадыбыстық капиллярлық толқындарды пайдаланғанда, балқыманы тербелетін резонатордың үстіне береді. Тербелістің

белгілі бір жиілігінде балқыма бетінде капиллярлы толқындардың тұрақты оюы пайда болады. Тербелістердің үлкен амплитудасында ісінген жерлердегі балқыма бетінен ұсақ тамшылар бөлініп шығады, олар суыған соң ұнтақ бөлшектерін құрайтын болады.

Газда толқындар қозған кезде толқын көзі мен шағылыстырғыш арасындағы дыбыс толқындарының интерференциясынан тұратын толқын пайда болады (1.7-сурет). Егер балқыма ағыны осы тұрақты толқынмен қиылысатын болса, онда газдағы ультрадыбыстық толқын балқыма ағынын деморфациялап, ұсақ тамшыларға бөлшектейді.

Ультрадыбыспен тозандатуды негізінен жеңіл балқитын металдар мен қорытпалардың ұнтақтарын алу үшін қолданады. Осы әдістің бір түрінде балқыманың ағыны немесе тамшысы ультрадыбыстық жиілікпен тербелетін және қызып тұрған бетке беріледі, содан ол бетте қалыңдығы шамамен 2 мм қаптама түрінде жайылады да, өлшемі бірнеше микрометр бөлшектерге тозанданады.



1.7-сурет. Толқындар көмегімен ультрадыбыспен тозандату:

5 – ультрадыбыстық генератор; 6 – беруші элемент; 7 – балқыма;
8 – шағылдырғыш; 9 – тұратын толқын; 10 – тұратын толқынның тармағы

1.1.2. Металдық ұнтақтарды алудың физика-химиялық әдістері

Металдық ұнтақтарды алудың физика-химиялық әдістеріне металдық қосылыстарды көміртегімен, газдармен немесе металмен тотықсыздандыру, сулы ерітінділерде металл иондарын қатты, сұйық, газтәрізді тотықсыздандырғыштармен, электр тоғымен металға дейін тотықсыздандыру, металл қосылыстарын ыдырату жатады. Қиын балқитын металл

қосылыстары (карбидтер, нитридтер, силицидтер, т.б.) қатты, сұйық, газ фазаларының қатысында металдар және олардың оксидтері, сонымен бірге металл еместер немесе олардың қосылыстары қатысатын әртүрлі химиялық реакциялардың көмегімен алынады.

Металдық қосылыстарды көміртегімен және газдармен тотықсыздандыру. Металдық қосылыстарды қатты немесе газ тәрізді заттармен тотықсыздандыру ұнтақтарды алудың маңызды тобын құрайды. Қатты фазада тотықсыздандыру жағдайларында ұнтақты қоспалардан тазарту кез келген жағдайда өте қиын. Сондықтан тотықсыздандыру процесінің алдында бастапқы материалдарды дайындап алу қажет немесе қоспалардан тазалау үшін бөлуді механикалық, химиялық және магниттік әдістермен жүргізу қажет. Қымбат металдарды өте мұқият, арнайы әдістермен, мысалы тұндыру немесе сублимация процестері арқылы тазартады. Кен немесе прокаттық күйдегі металл ұнтақтары алдыңғыға қарағанда оңай дайындалады, яғни металдарды оксидтерден тазарту үшін магниттік жолмен байыту жеткілікті болады.

Металл оксидтерін тотықсыздандыру процесі әдетте 800 °C жоғары температурада, реакцияның тепе-теңдігі CO газының түзілу жағына қарай ығысқан жағдайда жүреді, сол кезде жүретін реакция келесідей жазылады:



және осы реакциямен қатар келесідей жанама реакциялар жүреді:



Бос энергияның мәні химиялық реакцияның тепе-теңдік тұрақтысына, яғни K_p -ға тәуелді:

$$\Delta G = -RT \ln K_p. \quad (8)$$

Аса таза металл ұнтақтары төмен температурада қайнайтын металл хлоридтері мен фторидтерін сутегімен тотықсыздандыру арқылы алынады, ол келесі реакция бойынша жазылады:



мұндағы Γ – хлор немесе фтор. Мұндай реакциямен *вольфрам, молибден, рений, ниобий* немесе *танталдың* ұнтақтары алынады.

Осылайша, көміртегінің монооксидін (СО газын) пайдалана отырып (10 және 11 реакциялар бойынша алынатын), оксидтерден тек асыл емес металдарды ғана тотықсыздандырып алады.



Қазіргі кезде темір ұнтағының жартысынан көбін темір кеніндегі немесе прокатты қақ түріндегі темір оксидін қатты (кокс, күйе) немесе газтәрізді (сутегі, табиғи газ) тотықсызданғыштармен тотықсыздандырып алады. Қатты көміртегіні пайдаланғанда қатты фазадағы реакцияның бірінші сатысынан кейінгі шешуші саты – тотықсыздану газ фазасында жүзеге асады.



Осы реакциямен қатар жанама реакциялар, темірдің көміртектенуі, яғни Fe_3C қосылысының түзілуі және т.б. реакциялар жүреді, бірақ олардың тотықсыздандыру процесіне тигізетін әсері көп емес.

Темір оксидтерін сутегімен және көміртегінің монооксидімен тотықсыздандыру процестерінің температураға тәуелділіктерінің айырмашылықтары өте үлкен. Магнетиттің (Fe_3O_4) СО газының көмегімен 650 °С төмен температурада тотықсыздануы маңызды емес, өйткені бұл жағдайларда

айтарлықтай өзгерістер болмайды. Одан басқа, жүйенің тепе-теңдігі температураға тәуелді болғандықтан, көміртегінің монооксидінің түзілуі қалыпты қысымда, $t > 700^\circ\text{C}$ жағдайында көбірек жүреді, осыдан металл оксидтерін көміртегімен тотықсыздандыру процесін тек қана жоғары температурада жүргізген тиімді болады.

Белгілі уақыт ішінде қажетті қасиеттерге ие болатын ұнтақтарды алуға келесідей факторлар өз әсерін тигізеді:

- тотықсыздандырғыштың жанама реакцияларға қатысуы;
- қатты заттардың таралуы немесе шихтаға енгізілген газтәрізді тотықсыздағыштардың мөлшері;
- шихтаның кеуектілігі мен негізінен шихта бөлшектерінің өлшемдері, пішіні және беттерінің күйлерімен анықталатын тотықсыздағыштың өтімділігі.

Сонымен бірге, тотықсыздандыру процесіне агломераттардың түзілуі, салынған ұнтақтардың қалыңдығы, шихтаның жинақталу тығыздығы және оларды салу жылдамдығы, эндотермиялық реакция үшін жылуды беру және тотықсыздандыру процесінің температура-уақыттық тәуелділіктері сияқты параметрлер өте күшті әсерін тигізеді.

Металлотермиялық әдіс. Металлотермиялық әдіс металл оксидтерін немесе галогенидтерін металмен тотықсыздандырып металл ұнтақтарын алуға негізделген. Бұл әдісті келесідей шартты реакциямен көрсетуге болады:



MeX – металдың оксиді немесе галогениді;

Me' – тотықсыздандырушы металл;

Me – металл ұнтағы;

$\text{Me}'\text{X}$ – тотықсыздандырғыш металмен түзілген қосылыс.

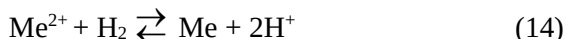
Металлотермиялық әдіспен негізінен химиялық элементтердің периодтық жүйесіндегі IVa–Va топ металдарының ұнтақтары алынады.

Гидрометаллургиялық тотықсыздандыру. Сулы ерітінділерде металл иондарын қатты, сұйық, газтәрізді

тотықсыздандырғыштармен, электр тоғымен металға дейін тотықсыздандырып, ұнтақ күйінде бөліп алуға болады. Өндірістік жағдайларда электролизден басқа металл тұздарының ерітінділерін тек газбен (сутегі, құрамында сутегі бар ыдыраған газдармен, көміртегінің монооксидімен) тотықсыздандыру әдісін қолданады. Бұл әдіспен негізінен мыс, никель және кобальт ұнтақтары алынады.

Гидрометаллургиялық тотықсыздандыру әдісі құрамы жағынан бай кендердің сарқылуына байланысты бастапқы материал ретінде кедей және кешенді кендерден, сонымен бірге калдықтардан металдарды бөліп алу үшін қолданылады.

Әдетте, химиялық өңдеу нәтижесінде бай кендерді шаймалау, тазалау және концентрациялау арқылы металдардың сулы ерітінділерін алып, оған тотықсыздандырғыш газдарды жібереді. Кешенді емес ерітінділерде екі валентті мыс, никель, кобальт иондарының сутегімен тотықсыздандырылуы төмендегі реакция бойынша жүреді:



Реакцияның тепе-теңдік тұрақтысы келесідей анықталады:

$$K_p = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{Me}^{2+}]p_{\text{H}_2}} \quad (15)$$

мұндағы H^+ және Me^{2+} – сутегі және металл иондарының концентрациялары, ал p_{H_2} – сутегінің парциалды қысымы. Бұл реакцияның еркін энергиясы тепе-теңдік тұрақтысымен (K_p) де, электрохимиялық потенциалмен (ε_{Me}) де табылады және осы шамалардың өзгеруі бойынша берілген жүйедегі реакция бағытын анықтауға болады. Электрохимиялық потенциал (ε_{Me}) элементтердің кернеулік қатарындағы металдың және сутегінің орналасу ретімен анықталады.

Осыған орай,

$$\varepsilon_h = \varepsilon_h^0 - 0,058pH - 0,058lgr_{H_2}, \quad (16)$$

мұндағы ε_h^0 – нормалды потенциал, сутекті потенциал рН мәніне (сутегі иондарының концентрациясы) және парциалды қысымға p_{H_2} байланысты. Потенциал металл иондарының концентрациясының аз ғана өзгерісіне (1000 есе) қарамай аз ғана ығысады; осыған байланысты реакцияның жүруіне және еріген металдардың тұнуына жақсы жағдайлар пайда болады. Өте қышқыл ерітінділерде сутегімен тек қана күміс және мыс иондарын тотықсыздандыруға болады; қалайы, никель, кобальт және кадмий иондарын тотықсыздандыру үшін $pH \geq 5$ тұз ерітінділері қажет. Сулы ерітіндінің рН тұрақты мәндерінде потенциалдары жақын ($\varepsilon_{Ni}^0 = -0,23$ V; $\varepsilon_{Co}^0 = -0,27$ V) металдарды сұрыптап тотықсыздандыруға да болады.

Ұнтақтарды алудың арнайы әдістері. Химиялық жолмен алынған дисперсті металдық қосылыстардың және олардан алынатын металдық ұнтақтардың қасиеттері жай әдістермен алынған ұнтақтарға қарағанда ерекше болады. Мысалы, гидрометаллургиялық жолмен бөлшектерінің пішіні және өлшемі, күйі бойынша әртүрлі металдық ұнтақтар беретін металдардың карбонаттарын алуға болады. Қысымсыз тұндырылған металдық қосылыстар және олардан алынатын ұнтақтардың түрі де әртүрлі болады.

Изоморфты кристалданатын тұздарды тұндыру кезінде бірнеше катиондардың түрлерін алуға болады. Металдық тұздардан ұнтақтарды алу үшін тозандата отырып, кептіруді (тұздарды термиялық ыдыратуды аздап қолдана отырып) немесе оларды мұздатып қатыруды қолдануға болады. Қорыта келгенде, металлорганикалық кешенді қосылыстарды ыдырату үшін сұйық фазадағы реакцияларды қолдана отырып, тұнбалардың жаңа түрлері мен тұндыру әдістерін ұсынуға болады.

Газфазалы реакциялар. Металдық қосылыстардан металдық ұнтақтарды өндіру үшін оларды берілген жағдайда қыздырып, газтәрізді күйге ауыстыратын әдіс соңғы кезде қызығушылық танытуда. Бұл әдіс бойынша нәзік, ұсақ, жақсы

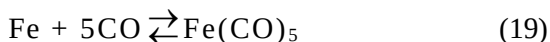
жентектелетін, арнайы мақсаттағы металдардың немесе металдық қосылыстардың ұнтақтарын алуға болады. Металдық қосылыстарды ыдырату реакциялары төмендегідей жүреді:



немесе



Тазалығы өте жоғары никель және темір ұнтақтары өндірісінде карбонильді әдістің (18) мәні өте зор. Кейбір металдар үшін, мысалы марганец, ванадий хром және вольфрам ұшқыш карбонильді қосылыстарды түзгенімен бұл әдісті қолдануға болмайды. Темір мен никельдің карбонильді қосылыстарының түзілуі мен ыдырауы сәйкесінше төмендегі реакциялар бойынша жүреді:



және сәйкесінше:



Бұл реакциялардың тепе-теңдік константалары температура мен қысымға қатты тәуелді. Карбонильді қосылыстың түзілуі үшін ұнтағы алынатын арзан металл шиізаттары арқылы (кен, металл қалдықтары, кеуекті темір, никель түйіршіктері және файнштейн) көміртегінің монооксидін 200–250 °C температурасы мен жоғары қысыммен (7–30 МПа) жібереді. Бастапқы шиізаттағы металды ластаушы қоспалар (күкірт, кремний, мыс, фосфор) карбонильдерді түзбейді және реакцияға қатыспайды. Реакцияның газтәрізді өнімдері қысымның әсерінен конденсацияланып жиналады. Қажет болған жағдайда оларды карбонильдерді ыдыратуға дейін тазалауға, сүзуге және дистилляциялауға болады (темір карбонилинің қайнау температурасы 103 °C, никель карбонилиніңкі – 43 °C).

Карбонильдерді ыдырату – *эндотермиялық реакция*. Оны металдық реакторларда төмен температураларда, мысалы никель үшін 200 °С және темір үшін 250 °С температураларында жүргізеді. Төмен (0,1–0,4 МПа) және жоғары (никель карбонилі 25 МПа қысымында ыдырайды) жұмыс қысымдары қолданылады. Темір карбонилін алдымен қыздырылатын буландырғыштарда қысым көмегімен газ тәрізді күйге өткізеді, содан кейін реакторларда ыдыратады. Қабылдағышқа темірмен бірге түсетін көміртегінің монооксидін айналымға жібереді. Темір катализатор болатын жанама реакцияларды (CO_2 , Fe_3C и FeO өнімдері түзілетін) қабылдағышқа газтәрізді карбонильмен аммиакты газды жіберіп шектеп отырады. Осылай алынған темір ұнтағында тек қана көміртегі $\sim 0,7\%$, аммиакты газды қолданбағанда көміртегінің үлесі 1–1,2 %-дан аз болмайды. Алынатын ұнтақтың өлшемі мен пішіні реакциялық аймақтағы температура мен карбонильдің концентрациясына тәуелді болады; осы параметрлер жоғарылаған сайын ұнтақтың өлшемі мен тығыздығы төмендеп, сфералы бөлшектер түзілу бейімділігі артады. Сутегі атмосферасында соңғы күйдіру сатысы ұнтақтағы оттегі мен көміртегінің үлесін, сонымен бірге бөлшектердің қаттылығын (~ 850 HV) төмендетеді. Газ фазасынан кристалданғанда кристалдық торы қатты қисайған, жоғары қаттылықты беретін нәзік (бөлшектердің орташа өлшемі $\sim 0,01$ мкм) құрылым пайда болады.

Қиын балқитын металдардың және олардың қосылыстарының өте ерекше ұнтақтарын металдың газтәрізді қосылыстарын реакция температурасын дер кезде қабылдайтын температура аймағында ыдырату арқылы алуға болады. Реакцияға қажетті температураны галогенді газ немесе плазма көмегімен сутегіні жандыру арқылы алуға. Газ ағыны реакция өнімдерінің жұмыс кеңістігіне тез бөлінбейтін және тез суытылатын жылдамдықпен алып шығады. Осы жолмен өлшемі 0,1 мкм-ге дейін монокристалды ұнтақтарды алуға болады. Бөлшектердің өлшеміне, олардың тазалығына және жанғыштығына реакция компоненттерін таңдай отырып, әсер етуге болады. Плазманы қолдану арқылы оттегісіз өнімдер алып қана қоймай, тотықтар ұнтақтарын да өндіруге болады.

Қиын балқитын қосылыстардың – металл карбидтерінің, нитридтерінің, силицидтерінің және т.с.с ұнтақтарын алу. Металл карбидтерінің, нитридтерінің, силицидтерінің және т.с.с ұнтақтары қатты, сұйық, газ фазалары қатысында металдар және олардың оксидтері, сонымен бірге металл еместер немесе олардың қосылыстары қатысатын химиялық реакциялардың көмегімен алынады. Бастапқы материалдарға және оларды өңдеу әдістеріне қарай тығыз, ірі кристалды, немесе аз жентектелген нәзік кристалды бөлшектер өндіріледі. Әрі қарай өңдеу үшін көбінде реакция өнімдерін механикалық ұсату, егер қатты жанама өнімдер түзілетін болса, онда рафинирлеу әдістерін қолданады.

Карбидтерді алу. Металдардың карбидтерін негізінен металл ұнтақтары немесе олардың оксидтерін көміртекпендіру арқылы алады.

Қорғаныс газына көмірсутегілерді енгізу карбидтердің түзілуін тездетеді. Жаңа қондырғыларда карбидтеуді өтпелі пештерде, сутегі атмосферасында көміртекті түтікшелермен немесе жиілігі орташа периодты вакуумды индукциялы пештерде үлкен графитті тигілдерде жүргізеді.

Күрделі карбидтерді көбінде сәйкес карбидтердің қоспасынан, сонымен бірге олардың металдарын немесе оксидтерін күйе қоспасымен 1700–2000 °С және 1500–1700 °С температураларында өңдеу арқылы алады. Жоғары температураның қолданылуына қарамастан карбидтердің ұнтақтарын алу әдісінің тиімділігі жоғары, себебі бұл әдіспен сапасы жоғары өнім алынады.

Нитридтерді алу. Элементтердің периодты жүйесіндегі IVa, Va және кейбір VIa топтарындағы металдардың нитридтері қызығушылық танытады. Титан, цирконий, гафний, ванадий, ниобий немесе танталдың нитридтерін металдар немесе олардың қосылыстарын азот (немесе аммиак) және күйенің қоспасын 1200–1400 °С температурасында әрекеттестіру арқылы алады. Тотықты-көміртекті қоспаны азот немесе аммиак қатысында күйдіру арқылы алынған нитридтер арзан болғанымен, металдарды азоттау жолымен алынғандарға қарағанда құрамында қоспасы көп болады.

Боридтерді алу. Металдар мен олардың гидридтерін бормен біріктіре жентектегенде боридтер пайда болады. Сонымен бірге, құрамындағы борды беретін қатты қосылыстар мен металдарды әрекеттестіруге негізделген әдіс жиі қолданылады.

Силицидтерді алу. Басқа қиын балқытын металдарды алу әдістері сияқты бұл әдісте келесідей ұнтақтарды алу жолдары бар:

- компоненттерді балқыту немесе жентектеу арқылы синтездеу:



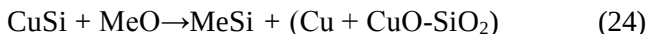
- көміртегінің қатысуымен металл оксидтері мен олардың қосылыстарының реакцияласуы, мысалы



- металл оксидтері мен металл еместерді металлотермиялық тотықсыздануы:



- мыс-силицидті әдіс:



Электролиз. Электр тоғы тотықсыздағыш болып табылатын металдық тұз ерітінділерін электролиздеу арқылы жуықша 60 түрлі металдың ұнтақтары алынады. Көптеген металдар балқымалардың электролизі арқылы; металдардың жуықша 20 түрі сулы ерітінділерден тұндыру арқылы алынады.

Балқымадан электролиттік тұндыру тантал ұнтағын алуда өте маңызды, ал сулы ерітінділердің электролизі арқылы мыс, темір және никель ұнтақтары алынады.

Балқымадағы немесе ерітіндідегі тепе-теңдік кезінде:



тепе-теңдік потенциалы Нернст теңдеуімен анықталады:

$$\varepsilon_{\text{Me}} = \varepsilon_{\text{Me}}^{\circ} + [RT/(zF)] \ln C_{\text{Me}}^{z+} \quad (26)$$

мұндағы R – газ тұрақтысы, F – Фарадей саны.

ε_{Me} – шамасы металдың стандартты потенциалына $\varepsilon_{\text{Me}}^{\circ}$ және металдың валенттілігіне z_1 , сонымен бірге электролиттегі оның иондарының концентрациясына C_{Me}^{z+} тәуелді. Электролиттен металды тұндыру үшін бұл потенциал ε_{Me} теріс мәнді болу керек. Ол электролиз процесінде сырттан ток беру арқылы жүзеге асады.

Қарапайым жағдайда электролиз процесі екі электродтың, яғни анод пен катодтың көмегімен жүргізіледі. Ерітіндіде (электролитте) иондары болатын металдан құйылған анодты пайдаланады. Тұрақты ток көмегімен иондар анодтан катодқа тасымалданып, соның бетінде тұнады. Ток тығыздығымен қоса өсетін поляризация құбылысы металдың еруіне және металдың электродта тұнуына кедергі болады. Ол тұздың электролизіне қажетті потенциалды азайтады, яғни қосымша э.к.к. керек, себебі іс жүзінде тұнған масса электрохимиялық эквивалентпен анықталатын теориялық массада аз болады.

Сапасы жоғары өнімді алу үшін қышқылдығы жеткілікті металдық тұздар мен арнайы қоспалар (присадкалар) қолданылады. Катодтарды болаттан, түсті металдардан, алюминийден, қиын балқытын металдар немесе графиттен жасауға болады. Катодтың бетіндегі тұнбаны оңай түсіру үшін иілгіш катодтарды қолданған тиімді. Сонымен бірге, катод ретінде соңында тұнбамен бірге өңделетін металдық сүзгіштер немесе престелген ұнтақтар қолданылады. Ерімейтін анодтар үшін графитті қолданады. Катодтың қалдығын (сынық, қалдықтарды) ерімейтін қораптарға жинайды.

2. МЕТАЛДЫҚ ҰНТАҚТАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ

2.1. Металдық ұнтақтардың химиялық қасиеттері

Ұнтақтардан материалдар немесе бұйымдар жасау алдында олардың құрамындағы негізгі материалдың, ұнтақтың негізгі компоненттерінің, қорытпаның немесе металл қосылыстарының, қоспалардың, әртүрлі механикалық ластағыштардың және газдардың үлестерін анықтап алу қажет. Ұнтақтың химиялық құрамы негізінен олардың өндіру әдісіне және бастапқы материалдардың тазалық дәрежесіне тәуелді. Химиялық талдауды көбінде құймалы металдар мен қорытпалардың құрамын анықтауға арналған мемлекеттік стандарттардың (МЕСТ) талаптары бойынша жүргізіледі. Ұнтақтағы негізгі металдың немесе қорытпаның негізгі компоненттерінің қосындысы 99 %-дан жоғары болуы керек, яғни көптеген ұнтақты материалдарды жасауға осындай құрамды бастапқы өнім жарамды болады. Қасиеттері ерекше болатын бұйымдар өндірісінде, мысалы, магнитті заттар үшін тазалығы өте жоғары ұнтақтар қолданылады.

Ұнтақтағы қоспалардың шекті үлесі олардың дайын бұйымдағы рұқсат етілген үлесімен анықталады. Бірақ тотықсыздандырғыштың қатысында сәйкес металдың белсенді атомдарын түзетін, ұнтақтардың жалпы жентектелуін жақсартатын темір, никель, вольфрам және басқа металдардың оксидтеріне шектеу қойылмайды. Сондықтан металдық ұнтақтарда осындай ксидтердің үлесі көбірек болуы (1/10) мүмкін, ал оттегінің үлесі 0,2–1,5 % аспауы тиіс. Ұнтақта қиын тотықсызданатын хром, марганец, кремний, титан, алюминий және басқа да оксидтердің болмағаны жақсы, себебі олар әрі қарай ұнтақтардың престелуін және алынатын дайындамалардың жентектелуін қиындатады. Металдық ұнтақтарда, олардың үлкен беттерінде адсорбцияланған, өңдеу процесінде немесе әрі қарай өңдеу кезінде бөлшектердің ішіне енген оттегі, сутегі, азот, т.б. газдардың біршама үлесі болады. Қыздыру кезінде ұнтақтағы газтәрізді қоспалар ластағышдың және кейбір жағдайларда ұнтақтардан дайындама жасау кезінде престоу жағдайларын жақсарту мақсатымен қосылатын майлағыштардың ыдырауынан пайда болады. Ұнтақ бөлшектерінің бетінде

қанықпаған күш өрістерінің әсерінен газ қабықшалары өздігінен түзіледі. Ұнтақтың бөлшектері ұсақ болған сайын газ көп адсорбцияланады. Сонымен қатар, бөлшектердің ішіне газдар әртүрлі жолмен түседі. Химиялық қосылыстарды тотықсыздандырғанда тотықсыздандырушы газдарының бір бөлігі мен реакцияның газтәрізді өнімдері сыртқа ұшып үлгірмей қалады немесе олар еріген күйде, болмаса көбік түрінде ұнтақтардың құрамында қалып қояды. Электролиттік жолмен алынған ұнтақтардың құрамында сулы ерітінділерді электролиздеу кезінде катодта тұндырылатын металмен қоса бөлінетін сутегі ұнтақ құрамында қалып қояды. Карбонильді ұнтақтарда еріген оттегі және көміртегінің оксидтері, тозаңдату әдісімен алынған бөлшектердің ішіне механикалық жолмен ендірілген газдар болады. Еріген газдардың мөлшері көп болғанда ұнтақтардың, пресс-қалыптардағы дайындамалардың сынғыштығы артады, жентектеу кезіндегі газдың көп бөлінуі бұйымның қасиеттерін қалыптастыратын процестерге кері әсерін тигізуі де мүмкін. Сондықтан, ұнтақтарды, әсіресе дисперстілігі жоғары ұнтақтарды газдың тиімді бөлінуін қамтамасыз ететін вакуумдық ортада өндеген дұрыс.

Ұнтақтағы газдың үлесін ұнтақтарды қыздыруға және балқытуға, вакуумда тазалауға негізделген күрделі әдістермен анықтайды. Ұнтақтардың ылғалдылығын (ылғал үлесін 0,1 % дейін) электрлік кептіргіш пеште үлгінің массасы тұрақты болғанша қыздыру арқылы анықтайды. Ылғал үлесі ($x\%$) $x = ((m_2 - m_3)/m_1) \cdot 100\%$ формуласы бойынша анықталады, мұндағы m_1 – ұнтақ массасы; m_2 , m_3 – қыздыруға дейінгі және кейінгі ұнтағы бар стаканның массалары.

Ұнтақтардың маңызды қасиеттерінің қатарына олардың *жалынданғыштығы, өртенгіштігі, жарылғыштығы, улылығы* жатады.

Ұнтақтың жалынданғыштығы. Ұнтақтың жалынданғыштығы – ұнтақтың салыстырмалы жоғары емес температурада қоршаған атмосферамен жанасқанда жалындануына және кейбір кезде жарылуына әкелетін ұнтақтың өздігінен жануға бейімділік қасиеті. Ол металдың тазалығына және химиялық табиғатына, ұнтақ бөлшектерінің ірілігі мен пішініне, бөлшек беттерінің күйіне тәуелді болады. Оксидті қабықша жалынданғыштықты төмендетеді, ал беттің кедір-бұдырлығы –

көбейтеді. Жинақты, тұтас (құймалы) күйінде кейбір металдар ғана өртенгіш келеді және салыстырмалы төмен температураларда кейбір металдар (мысалы, магний, титан, гафний, т.б.) өртенуі мүмкін. Жалындану тотығу кезінде ғана жүрмей, сонымен бірге металдық ұнтақ пен азот немесе көміртекті газдармен әрекеттескенде, яғни карбидтер мен нитридтердің түзілуі кезінде, т.б. экзотермиялық реакциялар нәтижесінде пайда болады. Бұл процестің негізгі себебі – ұнтақтардың оттегімен (ауамен) әрекеттесуі. Кейбір металл ұнтақтары (салыстырмалы төмен температураларда) ауамен жанасқан кезде бір мезетте жалындана бастайды. Егер басталған реакцияны тоқтататын факторлар жоқ болса, мысалы, бөлшектердің бетінде металдың қоршаған ортамен тікелей жанасуына кедергі болатын оксидтің нығыз, қорғаушы қабығы түзілмесе, онда тұрақты жану басталады.

Кейбір кезде экзотермиялық реакциядан көп энергия бөлінетін болса жалындану үшін сыртқы жылу көзі керек емес. Ұнтақтың жалынданғыштығы оның еркін төгілмелі күйде, яғни *аэрогель түрінде* немесе қоршаған ортада аспалы-көтеріңкі күйде, яғни *аэрозоль түрінде* болуына байланысты. Аэрозоль үшін өздігінен қызу, түтіндену, өздігінен жалындану және жалындану, сонымен бірге жалындану энергиясын анықтау қажет.

Өздігінен қызу температурасы, $t^{\circ}_{\text{ө.қ.}}$ – бөтен жылулық импульс арқылы (қызған газ ортасының немесе қызған дененің әсері арқылы) басталған, қоршаған ортамен әсерлескенде ұнтақта пайда болатын экзотермиялық реакцияның ең төменгі температурасы.

Түтіндену температурасы, $t^{\circ}_{\text{т.т.}}$ – өздігінен қызу нәтижесінде пайда болатын, ұнтақтардың бықсып, түтінденуі, яғни жалынсыз жарқырауы басталатын ең төменгі температура. Оның өзгерісі қыздырғыш қондырғыда орнатылған ұнтақтың түтіндену кезін көзбен тіркеуге негізделген.

Өздігінен жалындану температурасы, $t^{\circ}_{\text{ө.ж.}}$ – өз еркімен жалынның пайда болуымен аяқталатын ұнтақтағы экзотермиялық процестің жылдамдығы күрт өсетін ең төменгі температура. Осы температура ретінде пешке салынған ұнтақ қабатының жалындануы басталатын пештің ең төменгі температурасын алады.

Жалындану температурасы, $t_{ж}^{\circ}$ – бөтен жылу көзінен экзотермиялық реакцияның басталуы әсерінен және өздігінен жалынданумен бітетін ұнтақтағы температура кенеттен жоғарылайтын ұнтақтың ең төменгі температурасы. Оны анықтау үшін ұнтақтың қабатына жылытылған денені жанастырады. Егер осы кезде ұнтақ жалынданса, онда дененің сол температурасын *минималды жалындану температурасы* деп атайды (жанастыру уақыты аз болса жанасу аймағында ұнтақ температурасын анықтау техникалық жағынан өте қиын).

Жалындану энергиясы – жалындануға жеткілікті болатын ұнтаққа берілген энергия шамасы. Жуықша оны ұнтақтың жалындану температурасын және оны оған дейін қыздыру уақытын біле отырып, жылулық тепе-теңдік формуласы бойынша есептейді. Жалындануды анықтайтын сынақтар шок шығаратын қондырғылар көмегімен жүргізілгенде жалындану энергиясы ұнтақты жалындандыратын разрядтардың минималды энергиясына сәйкес болады.

Бөлшектердің өлшемі азайған сайын жалындану температурасы төмендеп, жоғары дисперсті ұнтақ *пирофорлы*, яғни бөлмелік температурада өздігінен жалындану қасиетіне ие болады. Бөлшектерінің пішіні дұрыс емес, кедір-бұдырлы ұнтақ дөңгелек пішінді ұнтақтарға қарағанда оңай және тез жалынданады. Қоршаған атмосфераның құрамы өздігінен жалындануға әсерін тигізеді, себебі ол термодинамикалық эффекттерінің шамасын, тотығу кинетикасын және түзілген оксидтік қабықтың қасиеттерін анықтайды.

Ұнтақ тәрізді массаны біртұтас, жентектелген материалға дейін өңдеу көптеген параметрлермен сипатталады. Бастапқы ұнтақтың қасиеттері неғұрлым толық және бәрі белгілі болса, соғұрлым өндіру технологиясы дұрыс құрастырылып, алынған өнімдердің қасиеттері қажетті мәндерден аз ауытқитын болады.

Ұнтақтың тағы бір ерекшелігі олардың *улы* болуы. Тұтас, құймалы күйінде көптеген металдар зиянсыз болғанымен, ұнтақ күйіндегі металдардың барлығы әртүрлі дәрежеде улы болады. Осыдан оларды қолданғанда жұмыс қауіпсіздігін сақтайтын көмекші құралдарды (респиратор, қорғаушы көзілдірік, қолғап) қолдану қажет.

Жентектеу процестерін қасиеттері белгілі болатын ұнтақтарды таңдау арқылы реттеуге болады. Осы мақсатта алдын ала ұнтақтың жеке бөлшектерінің, сонымен бірге олардың жиынтықтарының қасиеттерін сипаттайтын сынақтардың және зерттеудің әртүрлі әдістері қолданылуы қажет.

Ұнтақтың жарылғыштығы. Ұнтақтың оттегімен жоғары жылдамдықпен әсерлесуі жарылғыш толқынның пайда болып, өте қатты жылдамдықпен таралатын энергияның кенеттен бөлінуіне әкеледі, яғни *жарылыс* болады. Жарылғыштық негізінен металдық ұнтақтың дисперстілігіне, оның тотығу дәрежесіне, газ фазадағы оттегінің үлесіне тәуелді. Негізінен ірілігі $\leq 150\text{--}200$ мкм аспалы күйдегі ұнтақтар жарылғыш келеді. Өте ұсақ бөлшекті металдардың жарылғыштық температурасы төмен болады. Ұнтақ бөлшектерінің меншікті беттері ұлғайған сайын (ұнтақтың активтілігінің өсуімен) олар оңай жарылады. Бөлшектердің тотығу дәрежесі де жарылғыштыққа қатты әсер етеді, жаңа дайындалған ұнтақтар өте қауіпті, жарылғыш болып келеді.

2.2. Металдық ұнтақтардың физикалық қасиеттері

Металдық ұнтақтардың физикалық қасиеттеріне ұнтақтардың *гранулометриялық құрамы, меншікті беті, тығыздығы, микроқаттылығы* жатады. Осы қасиеттердің барлығы арнайы материалдарды алу кезінде маңызды рөлді атқарады.

Әртүрлі әдістермен алынған ұнтақтар бөлшектерінің өлшемі микрон үлесінен 0,5 мм-ге дейінгі аралықта болады. Тотықсыздандыру және электролизбен алынған ұнтақ бөлшектердің өлшемі осыдан да үлкен аралықта жатады.

Ұнтақ бөлшектерінің өлшемі оның басқа да қасиеттерімен қоса қажетті қасиеттерді алуда маңыздылығы зор. Ол престоу кезіндегі меншікті қысым мен жентектеу кезіндегі шөгудің дәрежелерін және жентектелген бұйымдардың механикалық қасиеттерін анықтайды.

Жентектелгеннен кейін берілген кеуектілікті сақтайтын берік престоуға алу үшін өлшемдері белгілі бөлшектер алынады.

Іс жүзінде бөлшектердің өлшемі бірдей болатын металдық ұнтақтар ешқашан кездеспейді. Ірілігі әртүрлі бөлшек фракцияларының салыстырмалы мөлшері ұнтақтың *гранулометриялық құрамы* деп аталады. Әдетте

гранулометриялық құрам кесте түрінде немесе түйіршіктік қисық графигі түрінде өрнектеледі. Ұнтақты металлургияда қолданылатын металдық ұнтақтар шартты түрде 2.1-кестеде келтірілген топтарға бөлінеді:

2.1-кесте

Ұнтақтардың санаттары

Ұнтақтардың санаты	Бөлшектердің өлшемі, мкм	Ұнтақтардың санаты	Бөлшектердің өлшемі, мкм
Ірі	150-500	өте ұсақ	0,5-10
Орташа	40-150	ультраұсақ	<0,5
Ұсақ	10-40		

Бөлшектердің ірілігіне қарай гранулометриялық құрамды анықтауда *электік, микроскопиялық, седиментациялық* және басқа да әртүрлі талдау әдістері қолданылады.

Бөлшектердің пішіні ұнтақтың технологиялық қасиеттеріне және олар арқылы ұнтақтан дайындалған үлгінің қасиеттерінің біркелкілігіне, беріктігіне және тығыздығына маңызды әсер етеді. Аса берік металдардан дендритті пішіндегі бөлшектер алынады, өйткені бұл жағдайда бөлшектерді алуға ілінісу күштерімен қатар таза механикалық себептер де өз әсерін тигізеді. Ұнтақты алу әдістеріне қарай ұнтақ бөлшектерінің пішіндерінің әртүрлі болуы 2.2-кестеде келтірілген.

2.2-кесте

Ұнтақ бөлшектерінің пішіндері

№	Бөлшектің пішіні	Ұнтақты алу тәсілі
1.	Сфералық	балқыманы тозаңдату (дисперстілеу), карбонильді, буланудыру-конденсациялау
2.	Кеуекті	қатты оксидтерді тотықсыздандыру
3.	Дендритті	электролиз
4.	Сынық тәрізді	қатты материалдарды шарлы айналмалы диірменде ұнтақтау
5.	Табақшалы	қатты материалдарды құйынды диірменде ұнтақтау
6.	Тамшы түрінде	балқыманы тозаңдату

Бөлшек беттерінің бұдырлығы олардағы артық энергия қорын ұлғайтып, келесі престоу, жентектеу кезінде ұнтақты бұйымдардың қасиеттерін күшейтеді.

Бөлшектердің пішінін бағалау үшін пішіннің екі факторын анықтайды:

- 1) бөлшектің тең ості еместілік факторы

$$\Phi_r = I_{\max} / I_{\min} \quad (27)$$

- 2) бөлшек беттігінің дамушылық факторы Φ_d – бөлшектің бақыланатын периметр P квадратының оның орын алатын ауданына S қатынасы:

$$\Phi_d = P^2 / S \quad (28)$$

Електік талдау. Електік талдау аса қарапайым және ол ірі, орташа ұнтақтардың гранулометриялық құрамын анықтауда кеңінен таралған. Електік талдау тесіктерінің өлшемі әртүрлі болатын електер жиынтығынан тұратын арнайы аспаптың көмегімен жүргізіледі. Електердің жинағы жоғарыдан төмен қарай тесіктерінің өлшемі азаятын ретпен жинақталады; електердің жиынтығы тұтас түпті табандықпен аяқталады.

Негізінен практикада бірнеше електік шкалалар қолданылады.

АҚШ-та өздерінің тор шкаласын, Тейлор стандартын қолданады. Елек негізі ретінде жарықтағы тесіктерінің өлшемі 0,074 мм болатын елек қабылданған. Бұл жүйеде модулі $\sqrt{2} = 1,414$ болатын електердің негізгі қатары және модулі $^4\sqrt{2} = 1,189$ болатын қосымша електердің қатары бар (*модуль* деп жиынтықта қатар, бірінен кейін бірі келетін екі елек тесіктерінің өлшемдерінің тұрақты қатынасын атайды). Кез келген електің өлшемі 0,074 мм-ге еселі болып келеді. Мысалы, негізгі аса ірі електен кейінгінің өлшемі $0,074 \times \sqrt{2} = 0,104$ құрайды, келесісі - $0,104 \times \sqrt{2} = 0,147$ мм, т.с.с. Електердің қосымша қатарының тесіктерінің өлшемін есептеу үшін $^4\sqrt{2}$ модулін пайдаланады.

Тесіктердің өлшеміне тең кез келген елек сымының диаметрін мына формуламен анықтайды:

$$a = \frac{25.4}{2m} \quad (29)$$

мұндағы m – електің бір сызықты дюймындағы (25,4 мм) сәйкес тесіктердің саны (меш). Мысалы, 200 меш елек үшін тесіктердің өлшемі келесідей анықталады:

$$a = \frac{25.4}{2 \cdot 200} = 0,0635 \text{ мм} = 63,5 \text{ мкм} \quad (30)$$

Тордың кез келген шкаласы үшін тесіктердің өлшемдері a (мм), сымның диаметрі d (мм), меш саны m және квадрат тесікті тордың нақты қимасы S_c , % (тор тесіктерінің салыстырмалы ауданы) аралықтарындағы тәуелділік төмендегідей өрнектеледі:

$$m = \frac{25.4}{a + d}; S_c = 0,155 (25,4 - m d)^2; S_c = [a^2 / (a + d)^2] 100 \quad (31)$$

Електік талдау кезінде елеу ұзақтығы 15–30 минутты, ұнтақтың массасы – 100 г болуы тиіс. Електік талдау нәтижелерін белгілі үлгімен жазады. Елеу кезінде електе қалған ұнтақ үлесін оң фракция (+), ал електен өткенді – минус фракция (-) деп атайды. Мысалы, 0,100-електе қалған, бірақ ең ірі 0,125 елек арқылы өткен ұнтақ фракциясы келесідей жазылады: 0,125+0,100 немесе – 125+100 мкм. Әр фракцияның салыстырмалы үлесін 0,1 % дәлдікке дейін келесі формула бойынша есептейді:

$$X = \frac{G_x}{G} \cdot 100 \% \quad (32)$$

мұндағы G_x – берілген ұнтақ фракциясының массасы, г;

G – сыналатын үлгінің жалпы массасы, г.

Ал < 0,1 % фракция мөлшерін «іздер» деп белгілейді. Әрбір ұнтақ үшін електік талдауды екі рет жүргізеді.

Ұнтақтың диспестілігін және толық сипаттамасын гранулометриялық құрамның графиктік сұлбасы береді. Мұндай графиктің (көлденең) өсіне әрбір фракция бөлшектерінің орташа өлшемі $d_{орт}$ салынады. $d_{орт}$ қысқартылған түрде оң және теріс електер тесіктерінің орташа арифметикалық өлшемдері ретінде анықталады. Осылайша, мысалы, 125+100 мкм фракциясы бөлшектерінің орташа өлшемі

$$d_{орт} = \frac{125 + 100}{2} = 112,5 \text{ мкм} \quad (33)$$

Графиктің тік (вертикалды) өсіне фракция бөлшектерінің салыстырмалы мөлшері салынады.

Өзінің қарапайымдылығы мен орындалу тездігіне байланысты електік талдау ұнтақты металлургияда түйіршілікті бақылайтын негізгі әдіс болып табылады. Бұл әдістің маңызды кемшілігі – тордағы тесіктердің минималды өлшемінің 40 мкм болуы, яғни ұсақ ұнтақтар електік талдауға түспейді. Одан басқа, бөлшектердің пішіндері електік талдау нәтижелеріне қателер де енгізуі мүмкін: табақ тәрізді бөлшектер үлкен өлшемді ұяшықтар елегінде бөгіліп қалады, ал ине түріндегі бөлшектер олардың ұзындығынан қысқа тесіктері бар електің тесігі арқылы өтіп кетеді.

Микроскопиялық әдіс. Пішіні сфералы және полиэдрлі, 1-ден бастап 100 мкм-ге дейінгі бөлшектердің өлшемдерін анықтау үшін микроскопиялық әдіс қолданылады. Бұл әдіс бойынша дайындалған препараттағы ұнтақ бөлшектерінің пішіні жекеше анықталып, өлшемдері бірдей болатын ұнтақтың пайыздық үлесі есептеледі. Ұнтақ бөлшектерінің өлшемдері 1 мкм-ден аз болғанда – *электронды микроскоп* қолданылады.

Микроскопиялық әдісте бөлшектердің өлшемдерін анықтаудың сенімді нәтижелері бөлшектердің көптеген мөлшерін (бірнеше жүздеген) зерттеген кезде ғана алынуы мүмкін. Осы теріс тең болатын бөлшектер жағдайында бөлшектің бір өлшемі анықталады, ал ұзын бөлшектер жағдайында – олардың ұзындығы мен ені өлшенеді. Микроскопиялық әдіс өте ұзақ және еңбек сыйымдылығы үлкен әдіс. Микроскопиялық талдау әдісінде бөлшектердің өлшемін алу және санау көзбен немесе автоматты түрде жүргізіледі.

Седиментациялық талдау. Седиментациялық талдау тұтқыр ортада олардың өлшеміне қарай ұнтақ бөлшектерінің тұнбаға түсу жылдамдықтарының әртүрлі болуына негізделген әдіс. Бұл әдіспен негізінен ұсақ ұнтақтардың гранулометриялық құрамы анықталады. Жылдамдықты өлшей отырып, Стокс заңы бойынша тұнбаға түсетін бөлшектердің радиусы анықталады:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta\nu}{2(\gamma_y - \gamma_c)q}} \quad (34)$$

мұндағы r – бөлшектің радиусы, см; ν – сұйық ортадағы бөлшектің тұну жылдамдығы, см/сек.; γ_y – ұнтақ материалының тығыздығы, г/см³; γ_c – сұйық ортаның тығыздығы, г/см³; q – ауырлық күштің үдеуі, см²/сек; η – сұйық ортаның тұтқырлығы, г/см·сек.

Берілген ұнтақ және сұйық орта үшін γ_y және γ_c шамалары тұрақты болып табылады, басқаша айтқанда

$$\sqrt{\frac{9\eta}{2(\gamma - \gamma_c)q}} = \text{const} = K \quad (35)$$

Бұл мәнді жоғарыдағы теңдеуге қойып, $r = K\sqrt{\nu}$ аламыз. Стационарлық қозғалыста $\nu = \text{const} = \frac{H}{\tau}$, мұндағы H – құлау биіктігі, τ – уақыт, яғни теңдеудің ақырғы түрі

$$r = K\sqrt{\frac{H}{\tau}} \quad (36)$$

Стокс теңдеуі өлшемі 1–100 мкм ұнтақтарға ғана қолданылады, өйткені ірілігі көбірек ұнтаққа ортада пайда болатын инерциялық күші әсерін тигізе бастайды, бұл кезде Стокс теңдеуі есепке алынбайды, ал өлшемі 1 мкм-нан кем

бөлшектер тұнбаға өте жәй түседі және іс жүзінде идентификацияланбайды. Седиментациялық талдаудың іс жүзінде қолданылу тәсілдері де көп. Микроскопиялық әдіспен седиментациялық және електік талдаумен алынған түйіршілікті (дисперстілікті) талдау нәтижелерін график арқылы бейнелеу бірнеше тәсілдермен іске асырылуы мүмкін. Бұл үшін бастапқы мәліметтер ретінде ұнтақтың зерттелген үлгісінде әртүрлі фракциялардың мөлшерін анықтау нәтижелері алынады. Графиктік бейнелеуде абсцисса өсінде пайыздық мөлшер салынады.

Меншікті бет. Ұнтақ бөлшектерінің пішіні мен өлшемі *меншікті бет* шамасын анықтайды, яғни бөлшектер аралығындағы жанасу бетінің сапалы және санды өзгерістерінен тұратын, жентектеу кезіндегі процестерді активтендіретін, меншікті беттік энергияның шамасын анықтайды.

Ұнтақ түріндегі денелердің меншікті беттігі дегеніміз көлем немесе масса өлшем бірлігіндегі ұнтақтың барлық бөлшектерінің беттерінің қосындысы. Металл ұнтақтарының меншікті бетінің шамасы $0,01 \text{ м}^2/\text{г}$ -нан $15\text{--}20 \text{ м}^2/\text{г}$ дейін болады. Меншікті бет шамасы тек бөлшектердің өлшемі мен пішініне ғана емес, сонымен қатар ұнтақтардың алыну жағдайларына, беттердің даму дәрежесіне де тәуелді. Бөлшектердің өлшемі аз және пішіні күрделі болған сайын, беттің бұдырлығы жоғарылаған сайын олардың меншікті беттерінің шамасы да артады. Ұнтақтың осындай маңызды сипаттамасы престоу және жентектеу операцияларында ұнтақты материалдың күйін анықтайды. Ұнтақтардың меншікті бетін анықтау үшін көбінде олардың газды адсорбциялауын және газөткізгіштігін өлшеуге негізделген әдістер қолданылады.

Аса дәл талдау әдісі болып, негізінде қатты денелердің бетінде адсорбцияланатын заттардың молекулалары мономолекулярлы қабатпен орналасады деген алдын ала болжау жатқан адсорбциялық әдістер есептеледі. Адсорбциялық әдістердің арасында төменгі температуралардағы азот буларының адсорбциясы және бөлме температурасындағы метанол буларының адсорбциясы аса кеңінен қолданылады. Әдістің маңызы: зерттелетін ұнтақ өлшендісін ($10\text{--}20 \text{ г}$) тұйықталған сыйымдылыққа салып, $10^{-3}\text{--}10^{-4} \text{ мм}$ сынап

бағанасында вакуумда газсыздандырып, одан кейін сыйымдылыққа азот немесе метанол буларын жіберуге негізделген. Сынапты манометрмен белгіленген газ қысымы біраз уақыттан кейін бөлшектердің бетінде газ буының адсорбциясы нәтижесінде төмендейді. Ұнтақтың меншікті бет шамасын адсорбцияға дейінгі және адсорбциядан кейінгі азот немесе метанол қысымдарының айырмасы бойынша есептейді.

Меншікті бетті анықтауда ерітінділер мен бояғыштардың (мысалы, метиленді көк) адсорбциясы дәлдігі төмен әдістерге жатады. Бояғыштар жағдайында адсорбцияланған заттардың мөлшері жарым-жартылай немесе толығымен түссізденген ерітіндінің түсін өлшеумен, яғни колориметрлік әдіспен анықталады. Адсорбциялық әдістерде зерттелетін ұнтақтың көлемі (см³) немесе массасы (г) өлшем бірлігіне енгізілген, адсорбцияланған заттың мөлшері (мг) ұнтақтың меншікті бетіне тікелей пропорционалды.

Адсорбциялық әдістермен меншікті бетті анықтау ұзақ уақытқа созылады және салыстырмалы түрде күрделі болып табылады.

Ұнтақтардың меншікті бетін ұнтақ қабаты арқылы газ немесе сұйықтың сүзілу жылдамдығы бойынша анықтау аса тез, бірақ дәлдігі төмен әдіс болып саналады. Әдіс ұнтақ материалы арқылы газдың немесе сұйықтың сүзілуі кезінде сүзу коэффициентінің ұнтақ бөлшектерінің өлшемдеріне, сүзуші қабаттың кеуектілігіне және ортаның тұтқырлығына тәуелді болуына негізделген. Белгіленген кеуекті материал қабаты арқылы сүзу ортасының жылдамдығы сүзуші квадратқа кері пропорционал.

Меншікті бетті анықтауда В.В. Товаров аспабы кеңінен таралған, ол басқа қондырғылармен салыстырғанда аса қарапайым болып табылады. Бұл аспапта өлшенген ұнтақ өлшендісі перфорирленген түпті кюветаға салынады. Ұнтақ қабаты арқылы гидравликалық аспиратордың көмегімен ауа сорылады, оның мөлшері аспиратордан ағып шығатын су көлемі бойынша өлшенеді. Ұнтақ арқылы ауаның сорылуы кезіндегі қысымның күрт төмендеуі манометрмен өлшенеді, ал меншікті бет төмендегі өрнекпен анықталады:

$$S = -\frac{1H(1-\theta)}{\gamma \theta} \sqrt{\frac{(1-\theta)AP}{q\eta H}} \quad (37)$$

мұндағы θ – ұнтақ қабатының салыстырмалы тығыздығы, бірлік үлесі;

A – кюветаның көлденең қимасы, см²;

p – манометрдің көрсеткіші, см;

γ – ұнтақтың үймелік массасы, г/см³;

q – ауаның көлемдік жылдамдығы, см³/сек;

η – тәжірибе температурасындағы ауаның тұтқырлығы, г/см·сек;

H – кюветадағы ұнтақ қабатының биіктігі, см.

Тығыздық. Ұнтақ тығыздығын анықтаудың *пикнометрлік әдісі* кеңінен қолданылады. Металдық ұнтақтардың пикнометрлік (шынайы) тығыздығы олардың ішкі кеуектілігіне, кристалдық тордың ақаулығына, ұнтақтағы оксидтердің мөлшеріне тәуелді және ол ұнтақ материалының кристалдық тор параметрлерін анықтау кезіндегі рентгенографиялық мәліметтер негізінде есептелген тығыздық шамасынан өзгеше болады. Пикнометрлік тығыздықты анықтау кезінде ұнтақ үлгісі белгілі көлемдегі (10, 25, 50 мл) өлшеуіш шыны ыдысқа, яғни тазартылып, мұқият кептірілген және алдын ала өлшенген *пикнометрге* салынады. Пикнометрдің үштен екі көлемі ұнтақпен толтырылып өлшенеді, одан кейін қалған көлемді пикнометрлік сұйықпен (бензилді спирт, керосин) толтырады. Мұндай сұйықтар ұнтақпен жақсы жұғысып, оған химиялық инертті болуы керек. Сонымен қатар сұйықтың тығыздығы тұрақты, бу серпімділігінің мәні, тұтқырлығы, беттік керілісі (тартылысқа) және молекулаларының өлшемі минималды болуы қажет.

Сұйық және ұнтақпен толтырылған пикнометр қайта өлшеніп, пикнометрлік тығыздық γ мына формуламен анықталады:

$$\gamma_k = \frac{P_2 - P_1}{V - \frac{P_3 - P_2}{\gamma_C}} \quad (38)$$

мұндағы P_1 – пикнометрдің массасы, г; P_2 – ұнтағы бар пикнометрдің массасы, г; P_3 – ұнтағы және сұйықтығы бар пикнометрдің массасы, г; V – пикнометрдің көлемі, см³; γ – сұйықтықтың пикнометрлік тығыздығы, г/см³.

Анықтаудың дәлдігін жоғарылату үшін, ондағы ұнтақтар мен сұйықты вакуумдауға мүмкіндік беретін, вакуумдық пикнометрлер қолданылады. Кейде зерттелетін ұнтақты кеуектілігі 20–30 % кесекшелер түрінде престеп, 10–2 мм сын. бағанасында вакуумда 30–40 минут бойы вакуумдайды, кейін тығыздығы белгілі жұғысатын сұйық құйылады. Осыдан кейін кесекшелер ауада және суда өлшенеді.

Пикнометрлік тығыздық келесі формуламен есептеледі:

$$\gamma_k = \frac{P_1}{\frac{P_2 - P_3}{\gamma_c} - \frac{P_2 - P_1}{\gamma_c}} \quad (39)$$

мұндағы P_1 және P_2 – сұйықтық жұғыспаған және сұйықтық жұғысқан кесекшелердің массасы, г; γ_c – судың тығыздығы, г/см³.

Тотықсыздандандыру арқылы алынған ұнтақтарда тығыздықтың теориялық мәннен аса көп ауытқуы байқалады, бұл ұнтақта тотықсызданбаған оксидтердің қалып қоюымен, тотықсыздану жағдайларында пайда болатын микрокеуектер мен жолақтардың артық мөлшерінің болуына байланысты.

Ұнтақтардағы оксидтердің артық мөлшері пикнометрлік тығыздық шамасын төмендетеді. Осыған байланысты металдық ұнтақтың әр партиясының пикнометрлік тығыздығын өлшеу қажет, себебі ұнтақтардың әр партиясын алуда технологиялық режимнің өзгерісі және оларды ұзақ сақтау оттегі мөлшерінің өзгеруіне әкеледі.

Микроқаттылық. Эртүрлі металдардың деформациялануы олардың кристалдық торының құрылымына қарай эртүрлі болады. Одан бөлек, бір металдың өзі, өз кезегінде ұнтағының алыну әдісіне, алдын ала өңделуіне қарай эртүрлі құрылымға ие болуы да мүмкін.

Ұнтақ бөлшектерінің қаттылығы олардың деформацияланғыштығын бағалауға жанама мүмкіндік береді. Бұл қасиет, сондай-ақ металдық ұнтақтардың технологиялық қасиеттерін бағалауда, негізінен олардың престелгіштігін бағалау үшін маңызды болып табылады. Ұнтақтың пластикалылығы көп дәрежеде ұнтақты материалдың престелу кезіндегі тығыздалу мүмкіндігін, престемелердің беріктігін, престоу жабдығының қажетті қуатын, прессқалыптарды пайдалану уақытын ұзарту мүмкіндігін анықтайды. Ұнтақтың пластикалылығын өлшеудің қолайлы шамасы ретінде сол ұнтақ бөлшектерінің микроқаттылығын өлшеу болып табылады. Оны ұнтақ бөлшектерінен брикет жасап, оның ыспаланған бетіне аздаған жүктеменің (0,5–200 г) әсерімен алмазды пирамиданы (төбесіндегі бұрыш 136°) басқан кезде пайда болған дақ диагоналын өлшеу арқылы анықтайды.

Микроқаттылық негізгі металл құрамындағы әртүрлі қоспалардың және легірлейтін элементтердің мөлшеріне, кристалдық тордың қисаюына тікелей тәуелді. Ұнтақты бөлшектердің микроқаттылығын өлшеу нәтижелерінің үлкен аралықта болуы мүмкін, ол бөлшектерде ішкі кеуектердің артық мөлшерінің болуымен түсіндіріледі.

3. ПРЕСТЕУ

3.1. Металдық ұнтақтарды престоу (қалыптау)

Ұнтақты металдарды престоу немесе қалыптау – ұнтақты металлургияның ең қиын сатыларының бірі. Престоу жағдайлары (сызбасы, қысым, температура, т.б.) дайындалатын заттардың физика-химиялық және механикалық қасиеттерін анықтайды.

Престоу процесі күрделігіне қарай үздікті және үздіксіз, престоу қысымы үнемі жоғарылайтын немесе кенеттен өсетін болып бөлінеді. Престемелердің құрылымы мен қасиеттері престоу әдісіне және престоу жағдайларына тәуелді.

Ұнтақтар тығыз жинақталған, қатты заттарға қарағанда, бөлшектерінің жоғары қозғалғыштығымен, оларға берілген пішінді тек қана берілген жағдайларда сақтап қалуымен, шектеуші бетке қысым көрсетуімен, созу және басқа күштерге аз ғана қарсы тұру қасиеттерімен ерекшеленеді.

Қалыпқа ұнтақты салуды бастағаннан бастап, бөлшектердің беті қоспалармен қаныққан немесе кристалдық торы қисаюы болғандықтан, ұнтақтың бетке жақын қабатының физикалық қасиеттері негізгі материалға қарағанда өзгеше болады.

Ұнтақтардың беті әдетте тегіс болмайды, оларда микроскопиялық және субмикроскопиялық жарықшақтар болады. Сырттан қысым берілмеген жағдайларда бөлшектер арасында жанасу тек белгілі бір беттерде ғана болады. Осы себептен, бастапқы жанасу беттері жалпы бөлшектердің жанасуынан аз болғандықтан, (0,001–0,01 %) созылмалы деформация немесе жергілікті бұзылулар тек жанасу аймағындағы кернеулер шекті мәнге жеткенде ғана пайда болады. Ұнтақтардың барлық бөлшектерінің немесе престоменің *жанамалы беті* деп сол арқылы кернеу берілетін жанасу бөлшектерінің сыртқы беттерінің қосындысын айтады. Жанама беттер көзбен немесе ұнтақты дененің электрлік кедергісін өзгерту арқылы мына теңдеуден табылады:

$$\sqrt{S_k} = (\lambda k / \lambda) \sqrt{S_n} \quad (40)$$

мұндағы S_n – ұнтақты дененің номиналды қиындысы; S_k – ұнтақты дененің номиналды қиындысының жанама беті; λ – меншікті электрөткізгіштік; λ_k – кеуекті ұнтақты дененің жанасу, яғни түйісу электрлік өткізгіштігі.

Ұнтақты дененің жанамалы қиындының номиналды қиындысына қатынасы салыстырмалы жанасу қиындысы деп аталады:

$$\alpha = Sk / Sn \quad (41)$$

Престеу процесінің мәні – төгілмелі ұнтақты дененің қандай да бір көлемін қысу арқылы деформациялау, яғни бастапқы көлем азайып, дайындамада берілген пішіннің өлшемі мен қасиеттері қалыптасады. Престеу кезіндегі ұнтақты дененің көлемінің өзгеруі кейбір бөлшектердің ығысып, араларындағы бос жерлердің толуынан және бөлшектердің деформациялану салдарынан пайда болады.

Сынғыш материалдарды престегенде бөлшектер бетінің бұзылуы мен сынуы нәтижесінде деформациялану пайда болады.

Ұнтақ немесе престеме тығыздығы мен престеу қысымы арасындағы тәуелділікті нығыздалудың идеалды қисығымен үш сипаттамалық ауданмен айқындауға болады. Ұнтақты дененің жоғары нығыздалуы сыртқы күштер әсерінен бөлшектердің қозғалысы мен олардың нығыз жинақталуы бойынша жүруі керек. Бірақ бұл қозғалыстар бірқалыпты болмайды. Кейбір бөлшектер көрші бөлшектермен үйкеліспей, жақын жатқан бос орындарға еркін қозғалады. Басқа бөлшектер көршілермен және пресс-қалыптың қабырғалары беттерімен тығыз жанасып жатқандықтан, қозғалыстары тежеліп ауыр жағдайда болады. Процестің бірінші сатысы біткеннен кейін максималды нығыз жинақталуға жақын күй болады. Бірінші сатыда нығыздалу еркін қозғалатын бөлшектер мен аркалардың ығысу есебінен жүреді. Осыған байланысты, бірінші сатыны ұнтақты дененің құрылымдық деформациялануы жүретін саты деп қарастырады. Бұл саты, сонымен бірге, ұнтақты массаның бастапқы нығыздалуында кейбір түйісулердің серпімді жеңілденуінде маңызды рөл атқарады. Осындай жергілікті түйісулердің жеңілденуінде араларында байланыстар күші азаяды, нәтижесінде бөлшектер арасында жанасулар қысқарып, кернеу өседі. Қорыта келгенде, бөлшектердің өзара ығысуы жеңілдейді және қалдықты түйісу аймақтарында деформация жүріп, престеу кезіндегі ұнтақты дененің тығыздығының артуы үдетіледі.

Нығыздалу процесінің екінші сатысында ұнтақтың максималды нығыздалған бөлшектері сығуға көп кедергі келтіреді, престоу қысымы жоғарылайды, ұнтақты дененің тығыздығы бір уақытта артады. Бөлшектердің серпімді деформациясынан түйісулердің жергілікті жеңілдеуінің рөлі елеусіз, престоу қысымы түйісу қысымынан асқанда түйісуға жақын аймақтағы созылмалы деформацияның таралуы шектеулі сипатта болады. Ұнтақты дененің бастапқы көлемінің өзгеруі көлемі деформацияланғанда тұрақты болып қалатын тұтас дененің деформациясынан өзгеше болады.

Ұнтақтың нығыздалуын қабықшаларда сұйық немесе газдың, қысымның әсер етулерімен пресс-қалыптарда престоу, шликерлі құю және прокаттау және басқа да престоу әдістерімен қамтамасыз етеді. Престоу ұнтақты металлургияның мүмкіндіктерінің көп екендігін дәлелдейді. Бұл процестерде болатын құбылыстардың күрделі болуы ұнтақтарды арнайы престоуге дайындайтын операцияларды жүргізуді қажет етеді.

3.1.1. Металдық ұнтақтарды престоуге дайындау

Металдық ұнтақтарды престоуге дайындау ұнтақты бұйымдар мен материалдар дайындауда үлкен орын алады. Металдық ұнтақтарды арнайы зауыттарда өндіреді және іс жүзінде ұнтақтарға тұтынушылар қоятын бүкіл талаптарды сақтау мүмкін емес.

Ұнтақтарды престоуге (қалыптауға) негізгі дайындау операциялары болып *күйдіру*, *елеу* және *араластыру* табылады.

Күйдіру – ұнтақтарға арнайы қасиет беру үшін оларды белгілі бір температурада қыздыру. Өңдеудің бұл түрі олардың созылмалдылығын арттыру үшін, яғни ұнтақ бөлшектерінің нығыздалуын жақсарту үшін қолданылады.

Көбінде қатты металдарды механикалық жолмен, қорытпаларды дисперстілеумен, электролиздеумен, карбонильдерді ыдырату әдістерімен алынған ұнтақтар күйдіріледі. Мұндай ұнтақтардың құрамында еріген газдардың үлесі және жабысқан заттар көп болады. Тотықсыздандыру жолымен алынған ұнтақтардың тазалығын жоғарылату үшін ғана немесе жеңіл бөліктерді ірілету, сонымен бірге ұнтақтың жанғыштығын арттыру үшін де күйдіруді қолданады.

Ұнтақтарды күйдіруді оксидтерді тотықсыздандыратын және дайындамаларды жентектейтін пештерде жүргізеді. Ұнтақтарды әртүрлі қоспалардан тазарту үшін күйдіруде құрамында галогендік қоспалары бар атмосфераны қолданады. Осылайша темірдің ұнтақтарын құрамында сутегі мен хлорлы сутегі қоспасы болатын атмосферада күйдіру нәтижесінде кремнийден, марганецтен тазарған ұнтақ алынады, себебі хлорлы сутегі соңы аталған металдардың хлоридтерді түзіп, ұшып кетуіне ықпалын тигізеді.

Ұнтақ бөлшектерінің физика-химиялық жағынан біркелкі болуын жақсарту үшін күйдіруді металдың абсолютті балқу температурасының 0,4–0,75 температурасында жүргізеді. Температураға қарамай, күйдіруді барлық жағдайда қорғаушы немесе тотықсыздандырғыш атмосферада жүргізеді.

Жіктеу. Белгілі өлшемді бөлшектері болатын ұнтақтарды алу үшін немесе әр фракцияның берілген пайыздық қатынастарынан тұратын қоспаны алу үшін ұнтақтарды жіктеу немесе елеу жүргізіледі.

Ұнтақты металлургияда бөлшектердің өлшемі 40 мкм-ден төмен болса, електермен жіктеуді, ал 40 мкм-ден жоғары болса ауалық сеперация немесе бөлудің басқа әдістерін қолданады. Жіктеуді ұнтақтарды жасайтын зауыттарда, тербеткіштерді қолдана отырып, ұнтақтардың орташа өлшемдерін анықтайды.

Қоспаларды дайындау. Ұнтақтарды престоуге дайындаудың ең жауапты операцияларының бірі – химиялық және гранулометриялық құрамы анықталған қоспаны алу. Қоспаны дайындау механикалық және химиялық әдістермен жүргізілуі мүмкін. Араластырудың тиімділігі араластыру тәртібіне байланысты болады. Қоспаның біркелкі болуы бұйымның соңғы қасиеттеріне тікелей әсерін тигізеді. Қоспадан еркін алынған үлгілердің 95 % берілген химиялық немесе түйіршіктік құрамға сәйкес болса ғана шихта біркелкі деп саналады. Сұйық ортада газ ортасымен салыстырғанда араластыру тиімдірек жүреді. Бұл сұйық ортаның ұнтақтар арасындағы электрлік тартылу күштерін азайтуына байланысты, соған қарай олар қоспада жақсы таралады. Сұйық орта бөлшектердің ұсақ жарықшаларындағы жоғары қысым пайда болып, жарықтың таралуын қамтамасыз етеді.

Бірақ сұйық ортада араластырудың артықшылықтары болғанымен көбінде ол әдіс тиімсіз болады. Кейбір жағдайларда ұнтақтық қоспаның аққыштығын көтеру үшін, прес-қалып матрицасының толуын жақсарту үшін қоспаны түйіршіктеу керек, яғни тұрақтылығы уақытша болатын, бөлшектердің көп санынан тұратын комплекстер алу мақсатымен қоспаға арнайы қосылыстар (парафиннің, балауыздың, каучуктың органикалық сұйықтардағы ерітінділерін және стеарин қышқылы мен мырыштың стеаратын) қосады. Олар қоспаны араластыру кезінде бөлшектердің бетін «майлап», бір-біріне қарағанда сырғуын жеңілдетеді, сонымен бірге бөлшектердің өзара ілінісуіне себеп болып престоменің беріктігін жоғарылатады. Арнайы қосылыстары бар ұнтақ қоспасын престоу алдында 120–200 °C температурасында кептіріп алу керек.

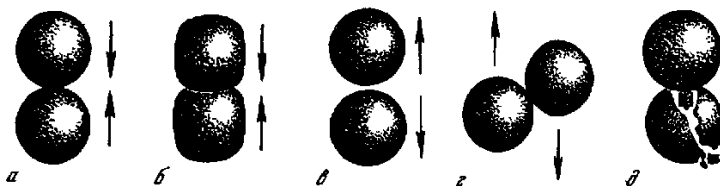
3.2. Престоу әдістері

Металдық ұнтақтардан затты қалыптау немесе престоу ұнтақты заттарды өндіру кезіндегі ең маңызды сатылардың бірі болып табылады. Престоу кезінде негізінен алынатын заттың пішіні мен өлшемі анықталады. Ұнтақтардан тұтас, нығыз затты алу үшін айтарлықтай энергия шығындалады. Бұл энергия бөлшектерді жылжытуға және деформациялауға, бөлшектердің арасындағы, сонымен қатар олардың қалыптайтын престің қабырғаларымен үйкелісу күшін жеңуге шығындалады.

Ұнтақ бөлшектерінің жанасу аудандары көп болған сайын, олардың арасындағы ілінісу және іліп кету көбірек болады. Ал жанасу ауданы өз кезегінде бетке берітен қысым көп болған сайын (пропорционалды түрде) арта береді. Бөлшектердің арасындағы жанасулардың артуы есебінен қалыптанатын дененің беріктігі артады, кеуектілігі төмендейді, бөлшектер көбірек жинақталады және бөлшектердің біршама нығыздалуы жүреді.

Ұнтақты металдар жеке бөлшектердің деформациялануы есебінен, сондай-ақ олардың жылжып, кеуектерді толтыруы есебінен деформациялануы мүмкін. Осылайша, ұнтақты дененің деформациялануы нәтижесінде ол тек қана пішінін өзгеріп қоймай, көлемін де өзгертеді. Әдетте, престоу кезінде ұнтақты дайындаманың биіктігі 3–4 есе және одан да көпке азаяды.

Престеу кезінде бір уақытта бөлшектер *серпімді, сынып* және *пластикалы* деформациялану сипатымен жүреді. Ұнтақты металл бөлшектерінің мүмкін болатын қозғалу сұлбалары 3.1-суретте келтірілген. Бөлшектер жақындаған кезде жанасу аудандарының артуы деформацияланусыз (а), сондай-ақ деформацияланумен (б) жүруі мүмкін; бөлшектердің бір-бірінен алыстауы (в) жанасу ауданының азаюына, сонымен қатар жанасу ауданының мүлдем жойылуы да әкелуі мүмкін; бөлшектердің сырғуы (г) жанасу ауданының ығысуымен жалғасады; бөлшектер, сондай-ақ қозғалумен қатар сынып деформациялану салдарынан бұзылуы да мүмкін (д).

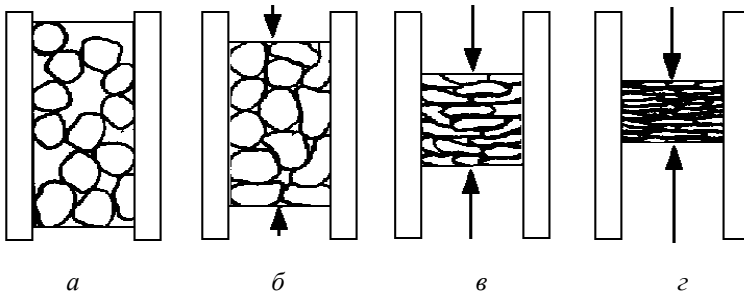


3.1-сурет. Престеу кезіндегі ұнтақ бөлшектерінің қозғалу сұлбасы

Сынып деформациялану нәтижесінде бөлшектердің жинағы, сонымен қатар бөлшектердің өздері бұзылады. Мұндай құбылыс жіңішке және қатты бөлшектерді престеу кезінде, сонымен қатар сынғыш қатты материалдарды престеу кезінде байқалады. Деформациялану дәрежесі материалдың табиғатына және берілетін қысымға тәуелді болады. Престеу нәтижесіне әртүрлі факторлар өз әсерін тигізеді: ұнтақтың сеппелі массасы, ұнтақтарды алдын ала өңдеу сипаты, престеу кезіндегі берілетін қысымның шамасы мен бағыты, т.б.

Престеу процесіндегі қалыптағы бөлшектердің бет алысын келесідей сипаттауға болады. Пресс-қалыпқа ұнтақты салған кезде бөлшектер *көпіршелер* мен *аркалар* деп аталатындарды түзе отырып, еркін, *хаосты* түрде орналасады. Бұл кезде салынған ұнтақтың тығыздығы оның сеппелі массасына тең болады (3.2, а-сурет). Осындай еркін салынған ұнтаққа сырттан қысымды беру бөлшектердің бос жерлер мен кеуектерді толтыруы сесбінен тығыздығының күрт артуына әкеледі.

Берілетін қысым артқан сайын көпіршелер мен аркалар бұзылады (3.2, б, в-сурет) және бөлшектер ұсақ кеуектерге кіреді.



3.2-сурет. Ұнтақтарды престеу сатылары

Престеудің арғы сатыларында бөлшектердің арасындағы шекаралар сапасы және сандық жағынан да өзгереді: бір-біріне салыстырмалы түрде қозғалған кезде оксидтің қабықшалары қырылады, осы жердегі металл емес байланыстар металдық байланысқа ауысады, соның нәтижесінде дайынаманың беріктігі артады (3.2, г-сурет); содан кейін қатты металдардың бөлшектері сынып бұзылады, ал жұмсақ металл бөлшектері пластикалы деформациялануға ұшырайды (3.2, г-сурет).

Ұнтақты үлгілер әртүрлі тәсілдермен престеледі. Әсер ететін уақыты бойынша престеуді *үздіксіз* және *үзіп престеу* деп бөледі, қысымды түсіру әдісі бойынша – *үнемі жоғарылайтын, кенеттен жоғарылайтын* және *вибрациялық*, қысымның бағыты немесе қалыптау сұлбасы бойынша – *бір жақты, екі жақты, жан-жақты және ортадан тепкіш* деп, қолданылатын температура бойынша – бөлмелік температурада *суықтай қалыптау* және жоғары температурада *ыстық қалыптау*, престеу атмосферасы бойынша – *ауада, вакуумда* және *инертті атмосферада престеу* деп бөлінеді.

Үздікті престеу әдісі көптеген жағдайларда заттарды данамен шығару кезінде пайдаланады: әр текті престерде қалыптау (гидравликалық, механикалық, вибрациялық), сондай-ақ изостатикалық (жан-жақты) қалыптаудың әртүрлері – гидростатикалық, ыстық изостатикалық, жарылыстық.

Үздіксіз престеу әдістеріне ұзын заттарды алуда пайдаланылатын әдістер жатады, олар: қиынды қалыптау, мундштукты қалыптау (экструзия) және металл ұнтақтарын прокаттау. Содан басқа, қалыптау әдістеріне шликерлі құю жатады, бұл әдісте қалыптау ешқандай қысымсыз жүзеге асырылады.

Үздікті престеу әдістері.

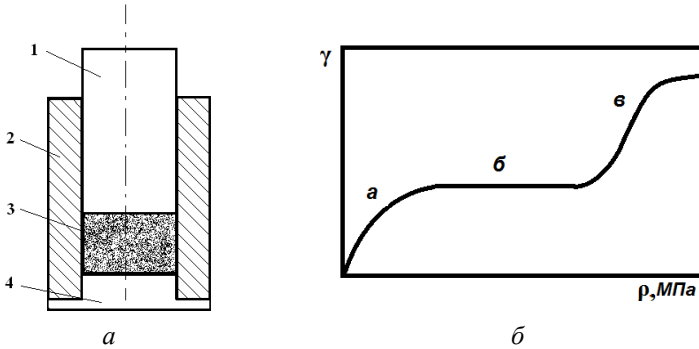
Престерде суықтай престеу. Ұнтақты материалдарды престеудің кеңінен таралған тәсілі пресс-қалып деп аталатын жабық қалыптарда ұнтақтарды суықтай престеу (3.3-сурет). Бұл кезде қалыптанатын материалдың ауданы бүкіл қалыптау уақытында өзгеріссіз қалады, ал қысым белгілі бір берілген шамаға дейін жоғарылайды.

Жабық престерде суықтай престеу нәтижесінде дайындалатын заттың пішіні және өлшеміне сәйкес келетін дайындама алынады. Дегенмен әрі қарай өңдеу қарастырылған болса, соған сәйкес заттың өлшемі аз ғана артық алынады. Мұндай престерде престеу процесі келесі сатылардан тұрады: 1) пресс-қалыпты жинау; 2) ұнтақты дозалау және салу; 3) престеу; 4) престелген атты қалыптан шығару.

Егер престеу процесін графиктік түрде кескіндейтін болсақ (ординатада – ұнтақтың салыстырмалы тығыздығы, γ ; абциссада – престеу қысымы, p), онда осы екі шаманың арасындағы тәуелділікті үш учаскемен көрсетуге болар еді (нығыздалудың идеалды қисығы – 3.3, б-сурет).

1-сатыда, яғни бөлшектер өзара еркін қозғалып, жақын жерлердегі бос орындарға қозғалып, қарқынды түрде нығыздалуы байқалады (a учаскесі), осымен бір уақытта аркалардың бұзылуы да жүреді. Осы сатының соңына қарай бөлшектер максималды тығыз орналасқан болып, әрі қарай горизонталды учаске көріне бастайды, ол қисықтың b бөлігі.

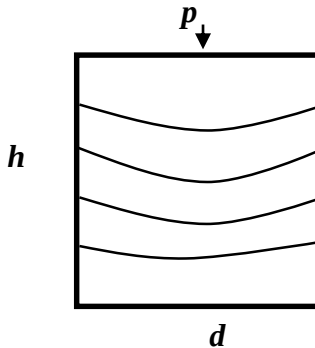
Мұнда бөлшектердің қысымға кедергісі жоғары және қысымның жоғарылауына қарамастан ол өзінің көлемін азайтпайды, себебі бөлшектер бір-біріне қарағанда жылжымайды, тек қана серпімді деформацияланады. Престеу қысымы ұнтақты дененің қысымға кедергі жасау қабілетінен асып кететін болса, бөлшектердің пластикалы деформациясы басталады (нығыздалу процесінің үшінші сатысы, c учаскесі).



3.3-сурет. Ұнтақтарды суық престоуге арналған пресс-қалып

Металл пластикалы болған сайын, престоудің төмен қысымдарының өзінде-ақ бөлшектердің деформациялану есебінен ұнтақтың нығыздалуы басталады. Пластикалы деформациясы жоқ сынғыш материалдарда үшінші саты басталмайды және қысым одан артқан кезде бөлшектер бұзылады.

Ұнтақтарды престоу кезінде ұнтақтың арасында және пресс-қалыптың ішкі қабырғаларының арасында үйкеліс туындайды. Мұндай үйкеліс күшінің болуымен престеме көлемінде тығыздық бірқалыпты таралмайды (3.4-сурет).



3.4-сурет. Престеменің вертикалды қиындысы бойынша тығыздықтың таралуы

h – престоменің биіктігі; d – престоменің диаметрі;

p – жоғарыдан берілген қысым

Ұнтақты дозалау салмақты өлшеу немесе көлемдік әдістермен жүргізіледі. Жаппай өндіру және автоматты престерді пайдалану жағдайында көлемдік дозалау әдісі қолданылады.

Ыстық престоу. Ыстық престоу жоғарылатылған қысыммен, сондай-ақ жоғары температураларда және белгілі бір шамаға дейін өсетін қысыммен жабық пресс-қалыптарда жүргізіледі. Температураның артуымен ұнтақты нығыздауға қажетті қысымның шамасы азаяды. Ыстық престоу әдісі дәстүрлі әдістермен қалыптауға және жентектеуге келмейтін ұнтақтардан заттарды алуға мүмкіндік береді.

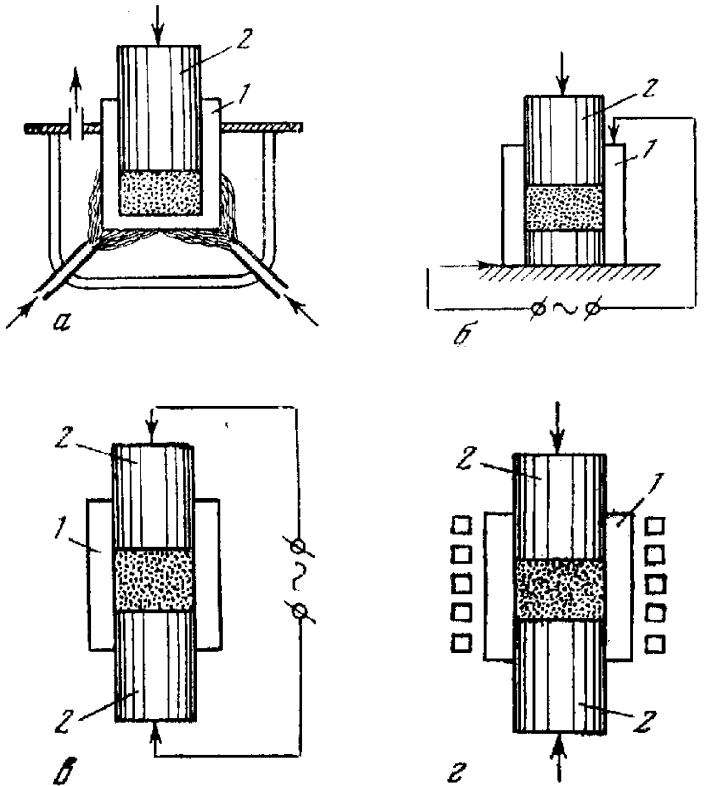
Ыстық престоу кезінде бөлшектердің арасындағы жанасудың ұлғаюы: 1) сыртқы күштердің әсерінен олардың деформациялану есебінен, 2) өз температурасының есебінен атомдардың қозғалуынан жүзеге асады. Ыстық престоу кезінде тығыздығы теориялық мәнге және қасиеттері тұтас металдардыңкіне жақын материалдарды алуға болады.

Материалдың механикалық қасиеттері 100 %-дық тығыздыққа жетуімен жоғарылайды. Қысым әрі қарай артқанда материалдың қасиеттері өзгермейді. Температура жоғары, ал қысым төмен болғанда заттардың қасиеттері тұрақты мәнге жетеді. Жоғары температура кезінде белгілі бір тығыздықтағы затты алуға қажетті қысым суықтай қалыптау қысымының 0,1–0,2 бөлігін құрайды.

Ыстық престоу негізінен гидравликалық престерде жүзеге асырылады. Ол ыстыққа төзімді қорытпалардан (престоудің төменгі температурасы – 1000 °С дейін) болмаса ыстықтай престоуге арналған графиттен жасалған пресс-қалыптарда жүргізіледі.

Пресс-қалыпты және материалды қыздыру мына тәсілдердің бірімен (3.5-сурет), атап шыққанда: (а) сыртқы қыздырғыштарды пайдаланумен; (б) пресс-қалып немесе (в) ұнтақ арқылы тоқты тікелей өткізумен; (г) индукциялық жоғары жиілікпен қыздырумен жүзеге асырылады.

Ыстық престоу арнайы жағдайларда: қатты және ыстыққа төзімді материалдардың, алмас-металл қорытпаларын және салмағы 500 кг дейін (мысалы, қатты қорытпалық прокат валдарын) ірі заттардың өндірісінде, одан басқа, ол жұқа пластиналарды, дискілерді және жентектеу кезінде қисайып кететін, суықтай қалыптауға қиын болатын басқа да бөлшектерді өндіру кезінде пайдаланылады.



3.5-сурет. Ыстық пресстеу кезіндегі қыздыру тәсілдері

а – сырттан қыздыру,

б – пресс-қалыпты электр тоғымен қыздыру,

в – ұнтақты электр тоғымен қыздыру,

г – жоғары жиілікпен қыздыру (1 – матрица, 2 – пуансон)

Ыстық пресстеу кезінде ұстау (максималды қысым кезінде жентектеу уақыты) әдеттегі жентектеумен салыстырғанда көп есе төмен болады. Қатты қорытпаларды жентектеу 0,75–1,5 сағат бойы ұстаумен жүргізілсе, ыстық пресстеу кезінде оған небары 1–10 минут қана шығындалады.

Ыстық престоудің өнімділігі суық престоумен салыстырғанда пресс-қалыптардың тез тозуына және оған жоғары температураға төзімді материалдарды таңдау қиындығына байланысты төмен болады. Дегенмен, ұнтақтың тотығуын тежеу, пресс-қалыптың материалын таңдау қиындықтарына, сонымен қатар ыстық престоуді пайдалану облысының шектеулі болуына қарамастан, бұл әдістің тығыздығы көп және механикалық қасиеттері жоғары заттарды алуда құндылығы және келешегі зор болып табылады.

4. ЖЕНТЕКТЕУ

4.1. Жентектеудегі негізгі процестер

Ұнтақты материалдарды жентектеу дегеніміз – белгілі механикалық және физика-химиялық қасиеттерді қамтамасыз ету мақсатында бір компонентті жүйеде ұнтақталған компоненттің, ал көпкомпонентті ұнтақтар жүйесінде негізгі металдың абсолютті 0,7–0,9 балқу температурасында бос салынған немесе престелген ұнтақты жылулық өңдеу процесі.

Жентектеу – алынатын бұйымдар мен материалдардың соңғы, негізгі қасиеттерін анықтайтын ұнтақты металлургияның ең маңызды технологиялық сатысы болып табылады. Ол көп санды физика-химиялық құбылыстардан тұратын, қалыптарды немесе бос салынған ұнтақтарды қыздырғанда қоса, болмаса сатылап жүретін күрделі жүйе болып табылады.

Жентектеу барысында ұнтақты немесе престелген үлгі нығыз (кеуексіз) материалдың қасиеттеріне жақын қасиеттерге ие болады.

Кез-келген жүйені жентектеу келесі сатылардан тұрады:

- 1) престемелерді берілген температураға дейін қыздыру;
- 2) осы темепературада изотермиялық ұстау;
- 3) бөлмелік температураға дейін суыту.

Көпкомпонентті материалдарды қыздырған кезде қандай да болмасын компоненттің (негізгі емес) балқып кетуі мүмкін, мұндай сұйық фазаның пайда болуы жентектеу заңдылықтарына өз әсерін көптеп тигізеді. Сондықтан жентектеу процесі осы тұрғыдан екі түрге бөлінеді: *қаттыфазалық жентектеу* – қыздыру кезінде балқыма пайда болмайтын; және *сұйықфазалық жентектеу* – қыздыру барысында материалдың қандай да болмасын жеңіл балқитын немесе құрылымды құраушы компоненттер балқитын процесс.

Жентектеуді қазіргі заманға сай мемелекеттік стандартпен жүргізеді.

4.1.1. Қаттыфазалық жентектеу

Қаттыфазалық жентектеу бір – және көпкомпоентті жүйелерде жүргізілуі мүмкін.

Біркомпонентті жүйелерді жентектеу. Жентектеудің қозғаушы күштері. Ұнтақты дене (дайындама немесе ұнтақ) өзінің еркін энергиясының артық болуынан, қатты зат-кеуектер (бос кеңістік) ішкі фазааралық бөліну бетінің өте үлкен болуына байланысты өте тұрақсыз болып келеді. Қыздыру кезінде ұнтақты денеде маңызды құрылымдық өзгерістер болуы керек, олардың нәтижесінде бірігулер көбейіп, бос энергияның шамасы термодинамикалық теңдеулерге байланысты төмендейді:

$$\Delta F = \Delta H - T \Delta S \quad (42)$$

Жентектеудің негізгі белгісі болып бөлшекаралық ілінісу беріктігінің өсуі болып табылады. Мұнда ұнтақтардың көлемінің қосындысын азайтпайтындай, атомдардың беттік және жақын беттік қозғалысы маңызды рөлді атқарады. Атомдардың беттік диффузиясы жанасатын бөлшектер бетін тегістеп, нағыз жанасу бетін үлкейтіп, кеуектердің сфералануына әкеледі, атомдардың бетте қозғалуын қамтамасыз етеді. Сонымен бірге, ірі кеуектерден атомдардың ұсақ кеуектер бетіне қарай (жалғасып жатқан кеуектер арасында) қозғалуы басталып, олар үлкен термодинамикалық тепе-теңдік жағдайына көшеді.

Жентектеудің барлық сатыларында беттік диффузия нәтижесінде бөлшек аралық жанасулардың көбеюі мен беріктігінің жоғарылауы жүреді.

Жентектеудегі негізгі процестер. Жентектеу нәтижесінде артық бос энергиясы бар ұнтақты дене тығыздығы жоғары тұрақты жентектелген күйге өтеді. Өздігінен жүретін процестің қозғаушы күші ретінде бастапқы және соңғы күйлердің бос энергияларының айырмасы болып табылады. Бұл айырманы азайтудың анық жолы – сыртқы (дайындама беті, ашық кеуектер) және ішкі беттерді (тұйық кеуектер, түйіршіктер шекарасы) едәуір азайту, сонымен бірге құрылым ақаулары мен тепе-теңдіксіз күйлерді жою.

Жентектелетін ұнтақты массада материяның үлкен көлемі қозғалыста болады, жүйенің сипаттамасы мен күйіне қарай көшірудің әртүрлі механизмдерін қолдану керек.

Ұнтақты металдарды вакансиялардың диффузиясына және металл бөлшектерінің диффузиялы-тұтқыр ағу процестеріне негізделген жентектеудің теориясы бойынша жентектеу үш сатыдан тұрады:

1) бөлшектердің арасындағы жанасу аудандарының өсуімен және өзара тартылу арқылы жүзеге асатын бөлшектердің өзара жабысуы жүреді. Бұл сатыда бөлшектер құрылымдық ерекшеліктерін сақтап, бөлшекаралық шекара бастапқы деңгейде қалады (4.1 а, ә-суреттер).

2) металл ұнтағы бөлшектері мен кеуектердің ретсіз қозғалысы жиынтығын беретін тұтас кеукті дене түзіледі. Бұл сатыда кеуектер негізінен бір-бірімен жалғасып жатады, ал бастапқы бөлшекаралық шекаралар өздерінің пішіндерін престоуден кейінгі күйге қарай өзгертеді (4.1, б-сурет)

3) жалпы кеуктіліктің азаюы және жекеленген кеуектердің түзілуі есебінен металл көлемінің нығыздалуы (4.1, в-сурет).

Соңғы сатыда бөлшектер арасында жанасулар күрт көбейіп бөлшектер арасындағы металдық байланыстар түзілуіне қарай олардың сапасы өзгереді, яғни металл табиғаты мен жентектеу жағдайына қарай «көпірлер» түріндегі түзілімдер немесе металдық байланысы болатын тұтас жанамалар пайда болады. Металдық байланыстың пайда болуы қоспалы бөлшекаралық рекристалдану мен жеке бөлшектердің тұтас денеге жиналуына байланысты көлем шөге бастайды.

Бөлшекаралық жанасулардың көбеюі әртүрлі механизмдермен жүреді:

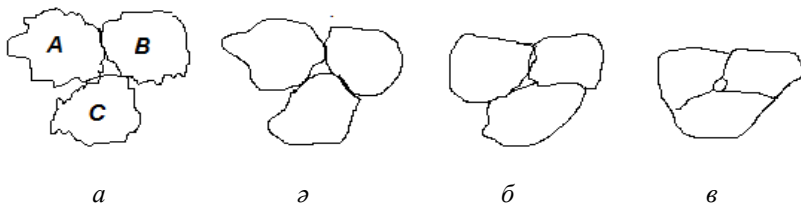
– металл бөлшектерінің тұтқыр ағуымен, яғни бөлшектердің көлемінен атомдардың жанасу орындарына қосақтаса бағыттала көшуіне қарай жанасу аудандары ұлғаяды және бөлшектердің центрлері жақындайды.

– көлемдік диффузиямен, яғни жанасудың еңкіш бетіне жақын жерде пайда болатын артық вакансиялар ағынымен. Бұл жағдайда диффузиялық ағын бағытына сәйкес жанасу ауданының өсуі бөлшектер центрлерінің жақындасуымен жүрмейді.

– артық вакансиялар ағыны болып бөлшектер шекарасы болған жағдайдағы көлемдік диффузиямен. Жанасу ауданының өсуі бөлшектер центрлерінің жақындасуымен бірге жүреді;

– жанасатын бөлшектердің беттерінің шығыңқы және ойқыш аудандары жанындағы тепе-теңдік қысымдар айырмасы әсерінен газ фазасы арқылы заттың тасымалдануымен жүреді;

– жақын жанасу аймағында металдарды ағызатын сырттан әсер ететін күштер арқылы (ыстықтай престеу).



4.1-сурет. Ұнтақтарды қыздыру сызбасы:

а – ұнтақ бөлшектерінің бастапқы күйі; ә – беттік диффузия есебінен беттердің тегістелуі; б – бөлшектер аралық «көпірлердің» түзілуі; в – металдың кеуектерге кіруі және тұйық кеуектердің пайда болуы, жалпы дененің нығыздалуы

Реалды жағдайларда жентектеу бір механизммен жүрмейді, барлық процестер арқылы жүреді, жентектеуді жүргізу жағдайына қарай (температура, уақыт, т.б.) көбірек әсер ететін фактор әр процесс үшін анықталады.

Жентектеу процесінің қозғаушы күші кез келген заттың жақын жанасу аймағына тасымалдануы жалпы беттің, яғни беттік энергияның азаюымен байланысты. Қарастырылған жентектеу механизмінің ең маңыздылары – беттік және көлемдік диффузия.

Кристалдық тордың түйіндерінде атомдар үнемі тербелмелі қозғалыста болады. Бұл тербелістердің амплитудалары температура өсуімен бірге өсіп, тор түйіндеріндегі атомдардың күйі тұрақсыз болады, сондықтан атомдардың бір түйіннен екінші түйінге өту мүмкіндіктері пайда болады.

Атомдардың қозғалысының өлшемі ретінде атомдардың тепе-теңдік күйден ығысу жылдамдығы – v алынады, оның орташа шамасы: $v = A \cdot e^{-E/RT}$, мұндағы A – металды сипаттайтын коэффициент, E – атомның бір тепе-теңдік күйден екінші тепе-теңдік күйге өтуге қажетті активтену энергиясы, R – газ тұрақтысы; T – абсолютті температура.

Бір тұрақты температурада барлық атомдарда бірдей қозғалғыштық болмайды. Бөлшектердің бетінде, әсіресе ұштарында болатын атомдардың активтілік энергиясының шамасы аз, яғни қозғалғыштығы жоғары болады, себебі, бөлшектің ішіндегі атомға көршілес атомдар жағынан әсер етуге қарағанда оған деген әсері азырақ болады. Сондықтан, жентектеудің бастапқы сатысында негізінен беттік, әсіресе ұштағы орналасқан атомдар қозғала бастайды. Осы себептен, төменгі температурада беттік атомдардың жоғары қозғалғыштығынан бөлшектердің жанамалы аудандарында алмасу (миграция) процестері мүмкін болады. Энергетикалық жағынан «тиімсіз» жайлардағы (қырлардағы, ұштардағы, т.б.) атомдар орындарын оңай тастап, бөлшектердің сайларында тұрақтылау орындарды алуға ұмтылады. Бөлшекаралық жіңішке, қиынды аудандарда атомдар екі бөлшекке де қосылады, яғни екі бөлшекке де «бір уақытта» жататын болады.

Төмен температурада ұнтақты денелердің беріктенуінің себебі ретінде атомдардың *беттік диффузия есебінен* топтануын айтуға болады. Бірақ атомдардың беттік миграциясы престомерлердің нығыздалуына әсерін тигізбейді. Оның әсері бөлшекаралық өсу процесінде орын алады, яғни беттік диффузияға байланысты кеуектердің нәтижелік көлемдерінің өзгерісінсіз бөлшекаралық жанасулары көбейеді. Беттік диффузия есебінен бөлшекаралық жанасу ауданы тегістеліп, металдық жанасу ұзындығы өсіп, кеуектер сфероидталады. Атомдардың беттік диффузиясы есебінен кеуек көлемінің өзгеруі болмайды, кеуектер жалғасқан жағдайда олардың көлемдерінің аз ғана өзгеруі бақыланады.

Беттік диффузияның болуы жентектеудің бастапқы сатыларында, төмен және орташа температураларда, әсіресе дисперсті ұнтақтарда өте қатты бақыланады.

Жоғары температураларда *көлемдік диффузия* қатты жүреді. Ол бөлшектердің механикалық беріктігінің төмендеуімен, созылмалды деформацияның жоғарылауы мен беттік керілу күштері әсерінен көлемдік ағып кету мүмкіндігімен білінеді. Қатты денелердің шекарасы бойынша әсер ететін созылмалы бөлшектердің беттік керілу күштері бөлшек материалын кеуектерге «ағызып», ол кеуектердің көлемі толып, жалпы көлемнің азаюына әкеледі (4.1, в-сурет).

Көлемдік диффузиямен жүретін жентектеудің механизмі бөлшектер арасындағы жанамалы аймақтың құрылымына көп тәуелді болады және бұл жағдайда жанамалы аймақтар мен оған жақын жерлер әртүрлі шекаралардан бос болып, вакансиялар көзі мен ағындарының рөлін атқарады немесе жанасатын бөлшектер шекарамен бөлінуі тиіс.

Ұнтақ металдарды жентектеудің кез келген механизмінің кинетикасын зерттегенде металдардың бөлшектермен тасымалдануының механизмі мен олардың өлшемдерінің арасындағы байланыстың үлкен мәні бар екендігі анықталды. Ұнтақ бөлшектерінің өлшемдерінің үлкеюі активтілікті төмендетеді, сондықтан жентектеудің қозғаушы күші де азаяды. Осыған байланысты, бұйымдарда біркелкі тығыздық болуы үшін тұрақты температурада бөлшектердің дисперстілігі аз болғанымен жентектеу уақытын көбейту керек: ал ұнтақ ірі болғанымен жентектеу кезінен жоғары ұстау уақыты берілуі тиіс. Жентектеудің кинетикасына бөлшектер арасындағы жанасу аймағының геометриясын, беттің күйін анықтайтын бөлшектердің пішіні үлкен әсерін тигізеді. Бөлшектердің меншікті бетінің ұлғаюы кристалдық құрылымның ақауларын, беттік энергияны көбейтіп, жентектелуге әсер етеді.

Атомдардың көлемдік диффузия коэффициенті, D , вакансиялардың концентрациясымен C_o мына теңдік бойынша байланысты: $D = C_o D'$, мұндағы D' – вакансиялар диффузиясының коэффициенті; ($D' = D_o e^{-E_a/kT}$, мұндағы D_o – температуралық-тәуелсіз шама, ал E_a – атомдардың немесе вакансиялардың қозғалуының активтілік энергиясы). C_o ескере отырып, алатынымыз $D = D_o e^{-E_o/kT}$, мұндағы E_o – диффузияның активтену энергиясы, ол мынаған тең: $E_o = E_s + E_a$. Вакансия концентрациясының артуымен ($C > C_o$) атомдардың диффузиялық коэффициенті жоғарылайды.

Ұнтақты дененің нығыдалуы. Жентектеу барысында кеуектердің саны мен көлемінің азаюы және бітуі нәтижесінде ұнтақты дененің тығыздығы артады және оның өлшемі (сызықты шөгу) мен көлемі (көлемдік шөгу) азаяды. Изотермиялық жентектеу кезіндегі ұнтақты дененің шөгуін, яғни нығыдалуын шартты түрде кезектеп жүретін үш сатыға бөлуге болады:

1) *бастапқы саты*. Бұл сатыда ұнтақты дененің тығыздығы аз болады және ол жанасу аймақтарына жақын облыстарда жүретін процестермен анықталады. Бөлшектердің бір-біріне қарағанда жылжу және көлемдік деформациялануы жылдамдықтары жоғары болып, кеуекті дене шөге бастайды.

2) *аралық саты*. Ұнтақты дененің тығыздығы жоғары, кеуекті матрица тұтқыр орта сияқты болып, бүкіл көлем бойынша нығыздалу бірқалыпты жүреді (кеуектер бірқалыпты таралған шартта).

3) *соңғы саты*. Ұнтақты дененің ішінде жеке жеке оқшауланған кеуектер бар болады, олар жайлап заттың матрицасында диффузиялық еру себебінен, яғни вакансиялар жентектелетін заттың бетіне шығуынан бітіп кетеді (тұтастану жүреді).

Жентектеу процесіндегі кеуектер. Салқындай престеу арқылы кеуексіз дайындамалар алу мүмкін емес, бірақ олардың құрамында бастапқы күйлерінің, пішіндерінің өзгеруіне қарай (толығымен жойылып немесе жабысып) жентектеудің кинетикасына әсер ететін бөлшектер аралық кеуектер болады. Престеумен байланысты пайда болатын кеуектермен бірге ұнтақ бөлшектерінің өзінде жентектеуде коалесценцияланатын, жойылатын, сақталып қалған микрокеуектер, бөлшек ішінде қайта таралатын борпылдақтар болады.

Бөлшектер ішіндегі кеуектер жекеленген, бөлшектің сыртқы бетімен өзара жалғасып жататын, бөлшек көлемінде колониялар түзетін түрінде болуы мүмкін. Олар күйлеріне қарай төмендегідей болып бөлінеді:

– пішіні мен көлемі уақыт бойынша өзгеріссіз, тепе-теңдіктегі кеуектер. Мұндай күйдегі кеуектер бөлшек металында мүлдем ерімейтін газбен толыққан болса, сонымен бірге ол газ кеуектің геометриясы мен металдың беттік энергиясымен анықталатын «беттік қысымға» тең қысым астында болғанында бақыланады.

– кеуек ішіндегі газ және «беттік қысым» теңеспеген кездегі тепе-теңдіксіз кеуектер. Бұл қысымдар айырмасы бөлшек металындағы, олардың релаксациясы кеуектің өлшемі мен пішінін өзгертетін кернеу өрісін анықтайды.

Жекеленген кеуектердің «жатып қалу» механизмі мен кинетикасы олардың орналасқан орта қасиеттеріне, кеуектің сызықты өлшемдері қатынасы мен вакансиялардың көзі мен ағынына дейінгі орташа сызықты арақ ашықтығының қатынасына тәуелді болатын вакансиялық сипаттама тән.

Реалды жағдайларда, ұнтақтың әр бөлшегі бір-бірінен түйіршік аралық немесе фазалар аралық шекарамен бөлінген. Кеуектер шекара бойында немесе бірнеше шекаралар қиылысында орналасқан. Кеуек бетінен ұшатын вакансиялар ағыны болып табылып, сонымен бірге олар шөгу кинетикасына әсер етеді. Бұл жағдайда жентектеу кезінде қозғалатын түйіршік шекарасы жолында кездесетін кеуекті шекарадан тыс жердегі кеуектерге қарағанда өлшемдері мүлдем аз болады. Шекара бойында жатқан кеуектер де кішірейеді, яғни ол шекараның өткізуші рөлін емес, вакансияларды жұтушы рөлін атқаратындығын көрсетеді.

Кеуектерге жақын жатқан шекаралар вакансиялар ағыны рөлін атқарып, вакансиялар сияқты кеуектерді «жұтады».

Егер түйіршіктер шекарасы ішкі ағында басталса, онда жақын ағынға вакансияларды жайлап бағыттау жолы арқылы кеуектерді жатқызу кинетикасына әсер ете алады.

Жентектеу кезіндегі кеуектің пішінінің өзгеру кинетикасы кеуектің өз бетін жатқызу және беттік рельефін өзгертуімен байланысты. Кеуектерінің пішіні әртүрлі бөлшектерді жентектегенде ойықша мен қырлардың тегістелуі бақыланады, кеуектің өзі сфералық пішінге келеді, беті азайып, сонымен бірге бос беттік энергиясы төмендейді.

Жекеленген кеуектер жентектеу кезінде бөлшектер бойына бүтін микроскопиялық бөлшектер ретінде кіреді. Кеуектердің қозғалу жылдамдығы олардың сызықты өлшеміне байланысты, ол қозғалыс процесі кеуектерді жатыстыру арқылы жүреді.

Бөлшек ішіндегі кеуек қозғалысы жинамалы рекристаллизация процесінде жүруі мүмкін, яғни оның кинетикасы мен кеуектің коалесценциясына әсер етеді.

Реалды ұнтақты металл бөлшектерінде ретсіз қозғалыста болатын кеуектер комплексі болады. Бос беттік энергияның азаюы бұл жағдайда бөліну шекарасының беттерінің азаюын

қамтамасыз ететін, жинамалы рекристалдану есебінен болады. Ол бөлшектердің пикнометрлік тығыздығын жоғарылатады, кеуектердің қосындылық бетін, олардың көлемін және пикнометрлік тығыздығын өзгертпей азайтатын кеуектердің коалесценциясын да жақсартады.

Жинамалы рекристаллизация жүретін жентектеудің бірінші сатысында қозғалатын шекараның соңында жүретін кеуектердің жабысуы өтеді. Жентектеу уақыты өскен сайын кеуектер саны мен көлемінің азаюы кеуектердің орташа өлшемдерінің өсуімен жүреді. Ұзақ уақыт ұстағанда өлшемдері жентектеуге дейінгі өлшемдерінен үлкен кеуектер пайда болады.

Кеуектер біріккенде және ұзақ ұстағанда бөлшектердің тығыздалуы вакансиялар ағынымен (бөлшектер шекарасы, түйіршіктер арасындағы шекара, микрожарықтар, т.б.) сипатталады, яғни вакансиялардың ағынға қозғалысы жалпы кеуектілікті азайтады. Вакансиялар ағыны ретінде кеуекпен шекаралас жатқан кеуктің бос аймақтары болуы мүмкін. Кеуксіз аймақта кеуктің пайда болуы кеукті аймақтың кеңінен таралуын дәлелдейді

Жентектеуде түйіршіктер шекарасының да мәні өте зор. Поликристалдық бөлшектерді жентектегенде ол жинамалы кристалдану кинетикасына әсерін тигізеді. Осыған байланысты жинамалы кристалданудың негізгі факторы ретінде түйіршіктер шекарасының қозғалысы болып табылады. Ол құбылысты сол қозғалыс бойындағы кедергілер тоқтатылып және түйіршіктер өлшемдері өзгермей тұрақтануы мүмкін.

Екі бөлшектің жабысуы және бөлшек ішіндегі кеуектердің, түйіршік арасындағы шекараны, рекристаллизацияны, т.б. қарастырғанда жентектеу процесіне бос немесе престелген бөлшектердің көптеген факторларын (бөлшектераралық шекара, олардың күйі, ұзындығы, бөлшектер аралық кеуектілік) ескеру қажет.

Алыну әдісіне қарай металдар мен қорытпалар өлшемдері мен пішіндеріне, оларда еріген немесе адсорбцияланған газдарға, тотықтарға, т.б. қарай бірінен-бірі ерекшеленеді. Бөлшектердің ақаулық дәрежесі престоу қысымы өсуімен бірге өседі. Осыған байланысты престелген дайындамаларды құрайтын реалды ұнтақтар термодинамикалық жағынан

тұрақсыз, бос энергиясы көп болып келеді. Сондықтан, жентектеудегі изотермиялық ұстау кезінде өзіндік жентектелумен бірге бөлшектердің бос энергияларының азаюы, бөлшекаралық, металдық жанасудың түзілуі жүреді, сонымен бірге дайындаманың отыруы және беріктенуі, бөлшектер ішіндегі кеуектер мен металл ақауларының жатуы, азаюы іске асады.

Ұнтақ қасиетіне және престемелерді жасау технологиясына қарай бөлшектер аралық кеуектердің жентектеуге әсерін талдағанда кеуектердің жалпы көлемі мен санын, жекеленген және байланысқан кеуектер көлемін, көлем бойынша кеуектердің таралуын, олардың пішіні мен бағытын, кеуектердегі газды, олардың активтілігін және кеуек ішіндегі қысымын, бөлшектер аралық бастапқы кеуектердің бөлшектер шекарасымен байланысын ескеру қажет. Дисперсті ұнтақтардан жасалған престелген дайындамаларда негізгі массаны ұсақ кеуектер құрайды, ал ірі ұнтақтардан жасалғандарда – ірі кеуектер құрайды. Дисперстілігі әртүрлі бөлшектері болатын ұнтақтарды қолдану престемелер тығыздығын және бөлшектер аралық дисперстілікті арттырады.

Бөлшектер аралық кеуектердің «жабысу» кинетикасы бөлшектер ішіндегі кеуектердің «жабысу» кинетикасымен көп ұқсастығы бар. Бөлшектер аралық кеуектердің көлемі мен олардың саны жентектеу уақыты мен температурасы өскен сайын көбейетіндігі анықталған. Осы кезде ірі кеуектерге қарағанда ұсақ кеуектер тез жойылады. Кеуектердің коалесценциясы бақыланып, жентектеуден кейін ірі кеуектер түзіліп, олардың орташа өлшемдері жентектеу температурасы мен ұзақтығы өскен сайын өседі; пішіндері дұрыс емес, тармақталған күйден сфералық пішінге ауысады.

Жентектеу кинетикасы мен бөлшектер аралық кеуектіліктің сипаттамасы арасындағы байланысты зерттеу бөлшектер аралық кеуектердің көлемдік үлесі аз болған сайын тығыздалу эффектісі де азаятындығын көрсетті. Дисперсті ұнтақтарды пайдалану шөгу процесін жылдамдатады.

Бөлшектер аралық кеуектерді «жабысудың» кинетикасына престоу қысымы мен жентектеу ортасы үлкен әсерін тигізеді. Престемелердің тығыздығын көтеру бөлшектер арасындағы

жанасулардың нүктеліктен жазықтықтыққа көшуіне әсер етеді, ал газды ортада жентектеуде түзілген жеке кеуектердің «жабылуына» орай шөгу азаяды.

Престемелерді жентектеу – көп факторлы процесс, әр фактордың әсері жентектеу температурасы мен уақытына байланысты, соған байланысты жентектеуді бірнеше сатыларға бөлуге болады. Бастапқы сатыдағы жентектеудің механизмі мен кинетикасы бөлшектердің жақын жанасу аймағында және «бос» металл кеуектері бетінде жүретін процестермен анықталады. Бұл кезде екі процесс те бөлшектердің геометриясына, олардың құрылымдық күйіне тәуелді және жоғары шөгу жылдамдығымен жүретін, яғни дұрыс емес пішіннен тең өсті пішінге көшудің жоғары жылдамдығымен сипатталады.

Көпкомпонентті жүйелерді жентектеу.

Техниканың сан алуан салаларында қолданылатын ұнтақты материалдар негізінен көпкомпонентті жүйелер болып табылады. Мұндай материалдардың ерекшелігі – егер қатты күйінде компоненттер толығымен бір-бірінде ерімейтін болса, ұнтақты дененің әр нүктесіндегі компоненттердің концентрацияларының әртүрлі болуы, мұның себебі – химиялық құрамның біркелкі болмауы. Осындай материалдарда өзіндік диффузиямен қоса компоненттердің концентрацияларын теңестіретін гетеродиффузия жүруі тиіс.

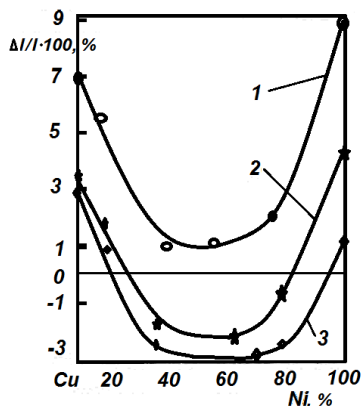
Қаттыфазалық көпкомпонентті жентектеу екі түрге бөлінеді:

- 1) өзара толығымен (шексіз) еритін компоненттерді жентектеу;
- 2) өзара толығымен (шексіз) ерімейтін компоненттерді жентектеу;

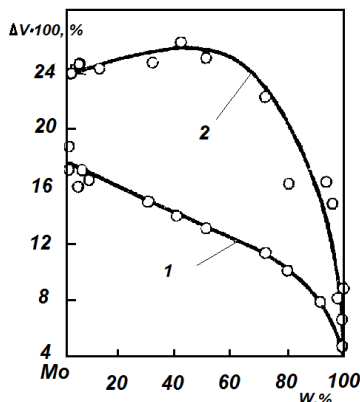
Өзара толығымен еритін компоненттерден тұратын жүйелер. Мұндай жүйелерді (Cu – Ni, Fe – Ni, Co – Ni, Cu – Au және т.б.) жентектеу нәтижесінде, жентектеудің аралық сатыларында бірнеше фазалар пайда болады, яғни бастапқы металдардың бөлшектері мен концентрациялары ауыспалы болатын қатты ерітінділер.

Қыздыру кезінде ұнтақты дененің жалпы шөгуі әдетте аддитивтіден, яғни әрбір компоненттің шөгуін есептеп жүргізгеннен төмен болады. Бұл қатты ерітінділерде атомдардың таза металдардағымен салыстырғанда, төмен қозғалғыштығымен және бастапқы компоненттерді араластырған кезде біртекті қоспаны алу мүмкін еместігімен, яғни атомдардың диффузиялану жылдамдықтарының бірдей еместігімен түсіндіріледі.

Осылайша, Cu – Ni жүйесінде (4.2-сурет) мыста никельдің үлесі артқан кезде (немесе керісінше) шөгу азаяды және ұнтақты дененің өсуі де мүмкін. Бұл Ni-дің Cu-қа қарағанда Cu-тың Ni-ге диффузиялану коэффициентімен үлкен болуына байланысты: мыс бөлшектерінде кеуек болып түзілетін вакансиялардың артық мөлшері түзіледі, ал никель бөлшектері мыс атомдарының көп келуіне байланысты өлшемін ұлғайтады.



4.2-сурет. Ni және Cu ұнтақтарының қоспасын әртүрлі уақытта 1000 °C температурасында жентектеу кезіндегі шөгу дәрежесінің компоненттердің концентрациясына тәуелділігі: 1 – 4 сағ; 2 – 15 мин; 3 – 0 (қыздыру + суыту)



4.3-сурет. W және Mo ұнтақтарының қоспасын 30 мин бойы 1350 °C (1) және 1750 °C (2) температураларында жентектеу кезіндегі шөгу дәрежесінің компоненттердің концентрациясына тәуелділігі

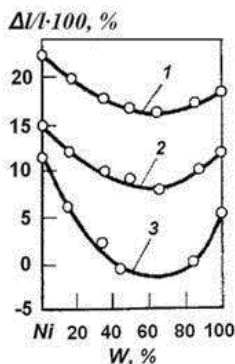
Дегенмен, кейбір жүйелерде екінші компоненттің артуымен нығыздалу жылдамдығының жоғарылайтындығын байқауға болады. Осылайша, W – Mo жүйесінде, шөгудің концентрацияға тәуелділік қисықтарында максимумдар байқалады (4.3-сурет).

Қарастырылған жүйелерді жентектеудегі маңызды ерекшелік – бір текті, сондай-ақ екі текті ұнтақ бөлшектерінің арасындағы жанасулардың кейбіреуі бұзылады. Оның себебі – диффузия нәтижесінде булану немесе беттік диффузия себебінен жанасу басқа ұнтақтың бетіне жылжиды, жабады, т.б.

Жентектеу мәселелерін шешу үшін жентектеу кезінде түзілетін қорытпаның құрамын тиісті түрде гомогенді болуын қамтамасыз ету, себебі көптеген ұнтақты заттардың көптеген қасиеттері бөлшектердің арасындағы жанасу аудандарының шамасы мен күйіне, бірқатар жағдайларда қорытпа бөлшектердің ішінде толығымен гомогенді болуға жетіп те емес.

Ерігіштігі шектеулі компоненттерден тұратын жүйелер. Ұнтақты металлургияда мұндай жүйелер жиі кездеседі, олар мысалы Fe – C, W – Ni, Cu – Ag, Mo – Ni – Cu, т.б. Осы жүйелерге эвтектикасы, перитектикасы, сондай-ақ химиялық қосылыстары бар жүйелер тән.

Қыздыру кезінде, ұнтақты денеде гомогендену сатыларында ұнтақ қоспасының бастапқы құрамына тәуелсіз, күй диаграммасында бар болатын барлық фазалар бар болады. Материалдағы элементтің үлесіне қарай шөгу қисығы сызықты болмай, әртүрлі болуы мүмкін. Мысалы, W–Ni жүйесінде, бастапқы ұнтақтардың дисперстілігі жақын болғанда терең емес минимумдар байқалады (4.4-сурет).



4.4-сурет. W және Ni ұнтақтарының қоспасын 1000°C температурасында әртүрлі уақытпен изотермиялық жентектеу кезіндегі шөгу көрсеткіштерінің металл концентрацияларына тәуелділігі:
1-7 с.г.; 2-3 с.г.;
3 - 0 (қыздыру + суыту)

Қарастырылған жүйелердегі компоненттерден жентектеу арқылы алынатын материалдардың қасиеттері бірқатар факторларға, атап шыққанда: қатты ерітінділермен шектелген облыстағы гомогендену дәрежесіне, кеуектілігіне, фазааралық және бірфазалық жанасулардың сипатына және т.б. тәуелді болады. Гетеродиффузияның рөлі қатты ерітінділермен шектелген облыстағы элементтердің концентрацияларының

біртекті болуын қамтамасыз етуге бағытталған. Дегенмен, кейбір жағдайларда гомогенді болу шарт емес.

Ерімейтін компоненттері бар жүйелер. Мұндай жүйелерге мысал ретінде мына жүйелерді келтіруге болады: $\text{Cu} - \text{C}$, $\text{W} - \text{Ag}$, $\text{W} - \text{Cu}$, $\text{Mo} - \text{Cu}$, т.б.

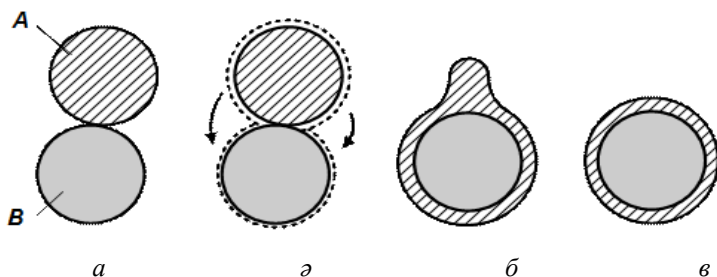
Екі текті, өзара әрекеттеспейтін бөлшектің пісіп жабысуының термодинамикалық шарты болып келесі табылады: $\sigma_{AB} < |\sigma_A + \sigma_B|$, мұндағы σ – беттік энергия, яғни түзілетін AB фазааралық шекарасының беттік энергиясы, жалпы A және B бөлшектерінің беттік энергияларының қосындысынан кем болуы тиіс, басқа жағдайда ұнтақты дене жентектелмейді.

Екі бөлшектің пісіп жабысу механизмі мен кинетикасы мына екі жағдайда екі түрлі болады:

$$\sigma_{AB} < |\sigma_A - \sigma_B|, \quad (43)$$

$$\sigma_{AB} > |\sigma_A - \sigma_B|. \quad (44)$$

Егер (43) қатынас орындалатын болса, энергетикалық жағынан беттік энергиясы төмен бөлшекпен беттік энергиясы жоғары бөлшектің жабылғаны тиімді болып табылады (4.5-сурет), кері жағдайда (44) екі бөлшек жабысуда екі бөлшек бір-бірімен жабысады. Бастапқы сатыда (а сатысы) беттік энергиясы жоғары бөлшек (бұл B бөлшегі болсын) екінші заттың атомымен жабылады (бұл жағдайда A бөлшегі) беттік гетеродиффузия механизмімен немесе газ фазасы арқылы тасымалдану арқылы; бұл ретте бастапқы бөлшектің пішіні сақталады.



4.5-сурет. Бөлшектердің жабысу сатыларының (а–в) сұлбасы

Содан кейін А затының қабатымен жабылған, А және В бөлшектерінің арасындағы жанасу ауданы ұлғаяды, ол А–В жүйесінде жалпы беттік энергияның, яғни бас энергияның төмендеуімен жүреді. Үшінші сатыда жабысу сфералы болмай, мойыншаның пайда болуымен іске асады. Мойыншада тек бір компоненттің бөлшектері бар болады. Содан кейін сфералы дене пайда болады, оның ядросы болып В бөлшегі табылады (b және v сатылары).

4.1.2. Сұйықфазалық жентектеу

Сұйық фазаның пайда болуын қаматамсыз ететін температурада ұнтақты жентектеу *сұйықфазалық жентектеу* деп аталады.

Сұйық фазаның қатысында жентектеу үш сатымен жүреді:

1) сұйықтың тұтқыр ағуы және бөлшектердің қайта топтасуы. Бұл сатыда түзілген сұйық фаза кеуектерді толтырып, бөлшектердің қайта топтасуына себеп болады, бұл ұнтақты дененің қатты нығыздалуына әкеледі;

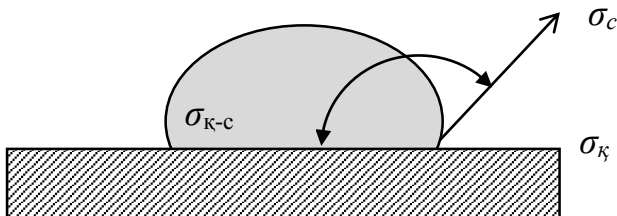
2) еру және тұну, бұл кезде ұсақ бөлшектер сұйықта ериді, ал ірі бөлшектер балқымадан оған келіп тұнатын заттардың есебінен өседі;

3) қатты скелеттің түзілуі. Бұл сатыда қатты бөлшектер бірігіп өсіп, сұйық бөлшекаралық жерлерге кіре алмайды және шөгу процесі қаттыфазалық жентектеуде болатын процестерге ұқсас болады. Бөлшектердің бірігіп өсуі нәтижесінде қатты скелет түзіледі және нығыздалу қаттыфазалық жентектеу заңдарына бағынады.

Сұйық фазаның қатысуымен жентектеу әр текті ұнтақты материалдарды өндіруде кеңінен қолданылады. Сұйықфазалық жентектеу кезінде ұнтақтың жеке бөлшектері арасында ілінісу күштері оңай өсіп, кеуексіз құрылым түзіледі. Сұйықфазалық жентектеу үшін қатты бөлшектердің сұйық металл фазасымен жұғысуы өте үлкен мәнге ие болады, оның шамасы болып шеткі бұрыш табылады: ν (4.6-сурет, 45-теңдеу).

$$\cos \nu = (\sigma_{\kappa} - \sigma_{\kappa-c}) / \sigma_c, \quad (45)$$

мұндағы σ_{κ} , $\sigma_{\kappa-c}$ және σ_c – қатты бөлшек-газ, қатты бөлшек – сұйық және сұйық-газ араларын бөлу шекараларындағы беттік энергия. Толығымен жұғысу жағдайында $\nu = 0^\circ$, ал $\nu > 90^\circ$ – жұғысу нашар, пайда болған сұйық фаза ұнтақты дененің нығыздалуына кедергі келтіреді.



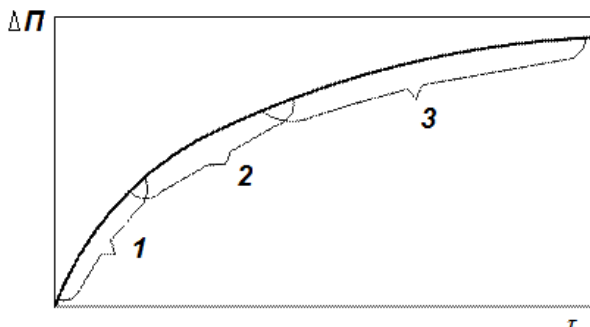
4.6-сурет. Қатты беттегі сұйық тамшының тепе-теңдігі

Өзара химиялық әрекеттесуге түсетін сұйық металдар таза металдармен және металл оксидтері, боридтері, карбидтері, нитридтерімен, сондай-ақ графитпен және т.б. жақсы жұғысады (жұғысудың шеткі бұрышы мұндай кезде әдетте $30\text{--}40^\circ$ артпайды және толық жұғысу байқалады).

Қыздыру кезінде сұйық фазаның пайда болуы жентектелетін материалдағы жеңіл балкитын компоненттің немесе құрылымды құраушының (мысалы эвтектиканың) балкуына байланысты, сондай-ақ ұнтақты денені құраушыдағы аталғандардың балку температурасынан төмен температурада пайда болатын «жанасу» жеріндегі балқуға байланысты. Бұл ретте сұйық фазаның қатысуымен жүретін жентектеу механизмі сол компоненттердің күй диаграммаларына тәуелді болады. Жұғысу жақсы болған сайын, жентектеу барысында сұйық фаза ағып кетпей, пішінді өзгертпей ұнтақты дененің ішінде қалады.

Сұйық фазаның қатысында атомдардың өздік- және гетеродиффузиясы маңызды түрде артады, ол балқыманың түзілуін үдетеді және қатты бөлшектердің өзара қозғалысы жеңілдейді, содан заттың кеуектері толады. Осыған байланысты сұйықфазалық жентектеу кезінде іс жүзінде кеуексіз ұнтақты заттарды алынады. Нығыздалу дәрежесі де көпкомпонентті қаттыфазалық жентектеумен салыстырғанда әлдеқайда жоғары болады.

Сұйықфазалық жентектеу процесінің кинетикасы (4.7-сурет), бастапқы кеуектілікке, сұйық фазаның мөлшеріне, ұнтақтардың өлшеміне, қатты фазаның сұйықпен жұғысу дәрежесіне, фазалардың өзара ерігіштігіне, т.б. тәуелді.

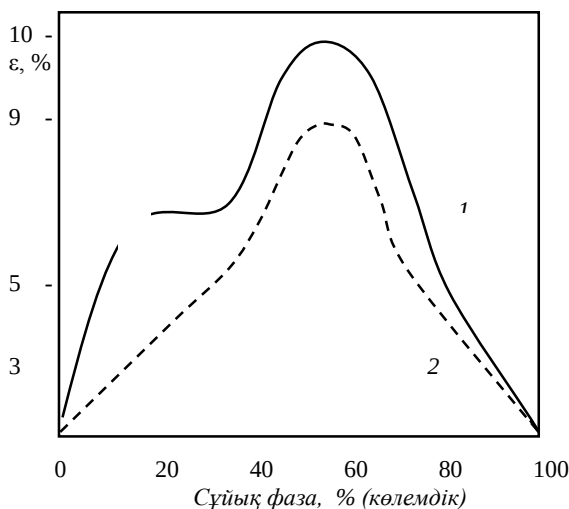


4.7-сурет. Сұйықфазалық жентектеу кезіндегі шөгу процесінің кинетикалық қисығы

1 – сұйық ағу, 2 – еру және тұну, 3 – қаттыфазалық жентектеу

Қайта топтасу процесі. Пайда болған сұйық фаза қатты бөлшектердің арасындағы бос орындарды толтырып, ұнтақты дененің нығыздалуына әкеледі. Бұл кезде ол сұйық майлағыштың рөлін атқарады және осымен бірге бөлшектермен қоршалған, балқыма ішінде пайда болатын сұйық-газ беттерінің қисықтығымен сипатталатын қысымды туғызады. Егер пайда болған сұйық фаза ұнтақты дененің көлемінде бірқалыпты таралған болса, онда пайда болған капиллярлық күштердің қайта топтасу процесіне әсер етуі бойынша жан-жақты қысу қысымының әсер етуіне пропорционалды болады.

Жалпы жағдайда мұндай нығыздалудың осы сатысында ұнтақты дененің салыстырмалы көлемдік шөгуі $\Delta V/V$ шамамен мына заңмен өрнектеледі: $\Delta V/V \sim \tau^k$ ($k > 1$). Қайта топтасу процесінің жалпы көлемдік шөгуге тигізетін әсері сұйық фазаның мөлшері көп болған сайын және қиын балқитын фаза бөлшектерінің өлшемі кіші болған сайын артады. Мысалы, бір ғана қайта топтасу процесінің нәтижесінде толығымен нығыздалу сұйық фаза жалпы көлемнің 50 % құрағанда ғана іске асады (4.8-сурет).



4.8-сурет. W-Ag жүйесінің 1000°C температурасында сұйық фазаның көлемдік үлесіне қарай шөгу ϵ қисықтары:

1 – инфильтрация; 2 – жентектеу

Еру-тұну процесі – бұл процеске ұнтақты материалдардың микроқұрылымының түзілуі байланысты. Қайта кристаллизация процесі кем дегенде үш элементарлы процестен тұрады:

1) ұсақ бөлшектердің еруі, яғни атомдардың осы бөлшектерден ерітіндіге өтуі;

2) сұйықта еріген атомдардың ұсақ және ірі бөлшектердің беттері арасындағы диффузиясы;

3) еріген заттардың ірі бөлшектердің беттерінде жиналуы.

Осы мезанизм бойынша түйіршіктердің өсуі жинақталу рекристаллизация кезіндегі уақыттық тәуелділікке бағынады, яғни: $d^n - d_o^n = K\tau$, мұндағы d және d_o – түйіршіктердің ағымдағы және бастапқы орташа өлшемдері; τ – жентектеу уақыты; K – тұрақты. Мұның көрсеткіші жалпы процестің жылдамдығы қандай элементарлы актпен анықталатындығына байланысты.

Сұйықфазалық жентектеу кезінде өсетін бөлшектердің пішіні дұрыстау болып келеді (дөңгелектеу, қырлы және т.с.с.), яғни бос энергия шамасы төмендетіледі.

Осы сатыдағы шөгу процесінің изотермиялық ұстау уақытына тәуелділігі мына қатынаспен жазылады: $\tau V/V \sim R^{1/3}$ (сфералы бөлшектер үшін), ал сызықты өлшемді бөлшектер үшін $-\tau V/V \sim R^{-4/3}$.

Еру-тұну механизмі сұйық фазаның мөлшері $> 5 \%$ (көлемдік) құрайтын болса, өте маңызды болып табылады.

Қаттыфазалық жентектеу. Сұйықфазалық жентектеудің соңғы сатысында сұйық қабатшамен бөлінбеген қатты бөлшектердің саны маңызды түрде артады, олар өзара пісіп жабысып, ұнтақты денеде қатты «скелетті» түзеді. Сонымен қатар қыздыру кезіндегі қандай да бір сәтте сұйық фаза мүлдем жойылуы да мүмкін.

Қыздыру кезінде жойылатын сұйық фазаның түзілуімен жүретін жентектеу процесі.

Егер ұнтақтардың қоспасы A және жеңіл балқитын B компонентінен тұратын болса, соңғы қыздыру кезінде балқып, сұйық күйінде A компонентінің бөлшектеріне сұйық күйінде диффузияланып қатты ерітіндіні немесе онымен қандай да болмасын қиын балқитын қосылысты түзеді. Сұйық фаза бар болғанша жентектеу сұйықфазалық болып табылады және A компонентінің бөлшектері беттік керілу күшімен тартылып ұсталады, ол ұнтақты дененің шөгуі кезінде пайда болады.

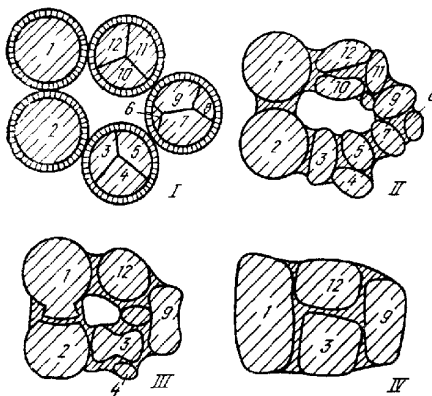
Қыздыру кезінде жойылатын сұйықфазалық жентектеудің мысалы ретінде темір, никель және алюминийдің ұнтақты қоспаларынан жасалатын тұрақты магниттердің өндірісі болып табылады. Мұндай қорытпада 27-28 % Ni, 13-14 % Al болып, қалғаны темірден тұрады. Алюминийді ұсақталған лигатура (балку температурасы шамамен 1150 °C) түрінде салады. Лигатураның балку температурасынан жоғары температурада балқыма Fe және Ni бөлшектерінің арасында таралады және оларда сәйкес үштік қатты ерітіндіні түзе отырып диффузияланады.

Осындай текті жүйеге тағы бір мысал ретінде қола (Cu-Sn) және қола-графит (Cu-Sn-C) композициясын келтіруге болады. Мұндай жүйелер антифрикциялық материалдар ретінде техникада кеңінен қолданылады.

Сұйық фазаның түзілуімен және изотермиялық ұстау кезінде жойылмайтын жүйелерді жентектеу. Жентектеудің мұндай түрінде жүйе гетерогенді болады, яғни сұйық фаза ұнтақты денеде үнемі бар болады. Осыған мысал болып W–Ni жүйесі (изотермиялық ұстау температурасы 1500 °C) (4.9-сурет) табылады.

4.9-суретте I-сатыда никельмен қапталған вольфрамның моно- және поликристалды бөлшектерінің бастапқы күйі көрсетілген. II саты никель балқыған кезде поликристалды бөлшектердің дезинтеграциясы (ажырауы) және қарқынды механикалық қайта топтасу процестерін сипаттайды. Химиялық қайта топтасу алғашында вольфрамның ірі бөлшектерінің коалесценциялануына және ұсақ бөлшектердің есебінен өсуіне (III саты), содан кейін жүйенің соңғы нығыздалуына (IV саты) әкеледі.

Сұйық фаза ұнтақты денеде қыздыру кезінде, яғни жентектеу температурасында және *A* және *B* компоненттері өзара ерімейтін жағдайда (мысалы, W – Cu жүйесінде) соңына дейін қала береді.



4.9-сурет. W–Ni ұнтақты жүйені сұйықфазалық жентектеу кезіндегі шөгу сұбасы
1–12 – вольфрамның әртүрлі түйіршіктері

5. МЕТАЛДЫҚ ҰНТАҚТАР НЕГІЗІНДЕ АЛЫНАТЫН АРНАЙЫ МАТЕРИАЛДАР

5.1. Кеуекті материалдар және заттар

Металдық ұнтақтары негізінде жасалатын кеуекті материалдардың ішінде металдық ұнтақты сүзгіштер (фильтрлер) өндірісте өте көп қолданылады. Басқа сүзгіш материалдармен салыстырғанда олар ұсақ заттарды жақсы ұстап қалады, жыртылмайды, жанбайды, сонымен бірге өте берік және созылмалы, механикалық және термиялық соққыға, жарылыс толқынның әсеріне шыдамды болып келеді.

Металдық ұнтақты сүзгіштердің тағы бір жақсы жағы – қолданылуы қарапайым және оның бастапқы қалпына келтірілуі (кеуектерде тұрып қалған заттарды тазалау) өте оңай. Мұндай сүзгіштердің беріктігінің өте жоғары болуынан оларды қысымдардың үлкен ауытқуларында пайдалануға мүмкін болады. Металдық ұнтақты сүзуші бұйымдардың кемшілігіне олардың құрамында металл ұнтақтарының немесе талшықтардың болуына байланысты қымбат болуы, сонымен бірге орташа кеуектердің жоғары бетпен қабаттасуына байланысты тиімділігінің төмен болуы жатады. Металдық ұнтақты сүзгіштер пластина, цилиндрлер, іші бос конус денелі, табақша, дискілер, плиталар, тиглдер, т.б. түрінде жасалады. Ұнтақты бұйымдарды жасау кезінде өлшем жағынан шектеулер болғандықтан, көбінде дискілер, түтікшелер, т.б. элементтерден механикалық жолмен жинақталған немесе диффузиялық жолмен дәнекерленіп бекітілген конструкцияларды қолданады. Металдық ұнтақты сүзгіштердің жақсы деформациялануы олады қондырғыда престеп шөктіруге мүмкін етеді. Қойылатын талаптар мен қолданылуына қарай сүзгіштер мыс, темір, легіріленген болат, қола, титан, қиын балқитын металдар және олардың қосылыстарының ұнтақтарынан (талшықтарынан) жасалады.

Кеуекті материалдардың қасиеттері. Кеуекті орта бірқатар параметрлермен сипатталады, олардың жиынтығы кеуекті материалдың қасиеттері туралы толық мәліметті береді. Мұндай параметрлерге келесілер жатады:

- кеуектілік, оның материал көлемі бойынша таралуы;

- кеуектіліктің түрлері (ашық, жабық, жартылай ашық немесе тұйық);
- саңылау;
- кеуектің түрі мен кеуектің иректелу коэффициенті;
- кеуектердің өлшемдері бойынша (кеуектердің орташа және максималды өлшемдері) таралуы;
- кеуектердің меншікті беттері;
- кеуек беттерінің күйлері;
- өтімділік және кеуекті материалдың сүзу ауданы бойынша өтімділіктің таралуы;
- тұтқырлық және инерциялық коэффициенттер;
- физика-механикалық қасиеттер.

Құрылымдық сипаттамалары. Кеуекті материалдардың жұмыс жасау қабілеті негізінен оларды құрылымдық қасиеттеріне тәуелді.

Кеуектілік, саңылау. Материалдағы бос жерлер көлемінің V_0 материалдың толық көлеміне қатынасы V *кеуектілік* K деп аталады. Кеуектілікті келесі формулалардың бірімен анықтайды: $K = V_0/V$, немесе $K = (m_k - m)/(r_c V)$, мұндағы m_k – сұйықтықпен қанықтырылған материалдың массасы.

Егер кеуекті материалдың көлемі мен массасы, сондай-ақ тұтас, нығыз материалдың тығыздығы белгілі болса, онда кеуектілікті келесі формуламен анықтайды: $K = 1 - r/r_n$.

Материалдағы кеуектер үш түрге бөлінеді: ашық (кеуектілік K_a), тұйық (кеуектілік K_t) және жабық (кеуектілік K_j). Жалпы кеуектілік үш түрлі кеуектіліктің қосындысымен анықталады: $K = K_a + K_t + K_j$.

Ашық кеуектер кеуекті дененің бетімен жалғасып жатады және кеуекті денеде қысымдар градиенті болған жағдайда сұйықтарды немесе газды сүзуге қатысады. Жабық кеуек кеуекті дененің бетімен жалғаспайды және сұйықтар мен газды сүзуге қатыспайды. Тұйық кеуектер (жартылай ашық немесе жартылай жабық) сүзу кезінде сұйықпен ішінара толып, кеуекті материалдың өтімділігіне әсерін тигізбейді.

Жабық және тұйық кеуектер жоғары қысыммен престеу кезінде ұнтақ бөлшектерінің пластикалық деформациялану, сондай-ақ бөлшектердің ішкі кеуектерінің болуы нәтижесінде түзіледі.

Жабық және тұйық кеуектердің үлесі $K > 0,18$ болған кезінде материалдың жалпы кеуектілігінің 2–5 % құрайды. Жалпы кеуектілік $K = 0,07–0,08$ болғанда іс-жүзінде болмайды.

Алдын ала берілген қасиеттері болатын металл ұнтақты сүзгіштерді жасағанда (кеуектілік, өткізушілік, сүзу тазалығы, кір сыйымдылығы, т.б.) ұнтақтың гранулометриялық құрамы, бөлшектердің пішіні, олардың күйі мен беттерінің үлкен маңызы бар. Ұнтақты сүзгішті жасау үшін оның материалын таңдау барысында, сондай-ақ сүзгіштің жұмыс істеу жағдайы (коррозияға тұрақтылығын, ортаның температурасын, т.б.) мен экономикалық жақтарын ескеру қажет. Металлұнтақты сүзгіштерді жасау үшін негізінен пішіні сфералы болатын бөлшектер қолданылады. Ал осьтері бірдей емес бөлшектер сирек қолданылады. Сфералы пішінді бөлшектер негізінде жасалған сүзгіштердің кеуектілігі бірыңғай болып, өтімділігі жоғары болғандықтан олар орташа өлшемдері 10 мкм-ге дейін болатын қоспалардан жақсы тазартады. Сфералы емес бөлшектерден жасалған сүзгіштер арзан, ұстап қалуы үлкен (1–2 мкм-ге дейін), беріктігі, созылмалдылығы, температураға тұрақтылығы жоғары болады. Бұл сүзгіштердің кемшілігіне сүзілетін ортаға қарағанда үлкен кедергілі, тез ластанатын, бастапқы қалпына қиын келетін және кеуектіліктері әртүрлі болуы жатқызылады.

Сүзу коэффициентін анықтағанда сұйық немесе газдың кеуекті сүзгіш арқылы өтуі ламинарлы болатындығын және ол Дарси заңына бағынатындығын ескеру керек. Ол заң бойынша кеуекті денеден ағып өтетін сұйықтың көлемі төмендегідей анықталады:

$$v = \frac{\alpha S}{\eta \tau} \cdot \frac{P_1^2 - P_2^2}{2P_1} \cdot \tau \quad (46)$$

мұндағы S – үлгі қиындысы; l – үлгі ұзындығы; η – сұйықтың тұтқырлығы; P_1 и P_2 – тиісінше кірістегі және шығыстағы сұйықтың қысымы; τ – сұйықтың ағып өту уақыты; α – өтімділік (сүзу) коэффициенті:

$$\alpha = \frac{V\eta l}{SVP} \quad (47)$$

өтімділік коэффициенті ағып өтетін сұйықтың немесе газдың тұтқырлығына, кеуектің сипаттамасы мен өлшеміне тәуелді болып, металлкеукті материалдар үшін оның шамасы $10^{-7} - 10^{-9} \text{ см}^2$ болады.

Сүзудің толық жүруі, яғни сұйықты (газды) тазалау процесін сапалық жағынан бағалау деп алып, сүзгіштің бастапқы бөлшектері немесе кеуектермен, сүзгіштің өткізіп жіберетін ластаушы бөлшектердің өлшемдерімен анықталады. Максималды кеуектің кеуек арқылы өтетін ластаушы бөлшектердің максималды өлшемдеріне қатынасы сфералы бөлшектер сүзгіші үшін 2,3–3,5, ал сфералы емес ұнтақты сүзгіштер үшін 3,4–5,0 болады. Сүзуші бұйымдардың басқа маңызды сипаттамасы болып, бастапқы және мүмкін болатын жоғары мәнде өзгеретін қысымда, сүзгіштің бірлігінде ұсталып қалатын кірдің массасы – *кірсыйымдылығы* табылады:

$$\Delta m = m_{\phi} - m_{\phi 0} \quad (48)$$

мұндағы m_{ϕ} и $m_{\phi 0}$ – ауданның бірлігіндегі сынаққа дейін және кейінгі үлгі материалының массасы, кг/м².

Сүзу кедергісінің өсу жылдамдығы, яғни жұмыс барысында ластануы сүзгілеу механизміне көлемдік және беттік болып тәуелді болады. Бұйымның жалпы бетіндегі және қалыңдығында өтімділік сүзілетін сұйықтың табиғатына байланысты болады. Сүзгілеу қабілеттігі бойынша тұрақты бұйымдар алу үшін сүзгіш материалы құрамының тұрақты болуы, кеуектердің жалпы кеуектілік өлшемдерінің, кеуекті каналдардың ішкі беттерінің бірдей болуы қажет.

Кеуекті бұйымдардың жоғары өткізуші және сүзуші қасиеттерімен бірге, олардың беріктігінің үлкен маңызы бар. Жентектеу температурасын көтере немесе төмендете отырып, беріктікті реттеуге болады. Бірақ, беріктіктің өсуімен бірге кейбір кеуектер жабылып, өткізушілікті төмендетеді. Сондықтан, өткізуші бұйымдарды жасағанда жоғары кеуектілікпен қоса беріктігінің жоғары болатындай етіп, жасау керек.

Сүзуші бұйымдарды жасау технологиясының ұнтақты конструкциялық бұйымдарды жасау технологиясынан айырмашылығы аз. Ұнтақтарды дайындауда фракциялық құрамы біркелкі болатын қоспаны алу операциясының маңызы үлкен. Сол үшін бастапқы ұнтақтарды фракцияларға елейді де керек өлшемді фракцияны тандап алады. Сұйықты немесе газды қоспалардан толық тазартуды қамтамасыз ету үшін өтімділікті көбейту мақсатымен, кеуектердің осының біркелкі пішінделуін және бұйымның беріктігін көтеру үшін, ұнтақты қоспаға толықтырғыштар-кеуектегіштерді қосады.

Кеукетүзгіштер – жентектегенде буға айналып, кеуектердің жабылып қалуын тоқтататын, олардың белсендіруші әсерінен диффузиялық процестерді үдететін, бөлшектер арасында берік бөлшек-аралық «көпірлердің» түзілуін қамтамасыз ететін заттар. Кеукетүзгіштердің булануы және диффузиялық процестерге белсенді әсері етуі жоғары кеукетілік жасап қана қоймай, олардың беттік диффузия есебінен сфералануына әкеледі. Кеукетүзгіштерретінде аммонийдің қос көмір қышқылы, хлорлы аммоний, хлорлы никель, т.б. қолданылады

Мысалы, мочевиіамен араласқан металдық ұнтақтарды домалатып, ұсақтап, фракцияларға бөледі, содан кейін таңдап алынған фракцияларды қалыптап, жентектейді. Жентектелген бұйымдарда кеукетілік 70,5–80 % дейін жетеді. Қоспаға қарағанда металдық негізі және тиісті кеукетілігі бар сүзгіш алынады.

Ұнтақты қоспаның физика-технологиялық және химиялық сипаттамаларына қарай толтырғыштың максималды үлесі 5–10 %-дан 20–30 %-ға дейін болуы мүмкін.

Ұнтақты қоспада кеукетүзгіштің үлесі тиісті мөлшерден артық болған жағдайда бұйымның көлемі көбірек шөгіп, жентектеу кезінде бұзылуы мүмкін. Престеу жүргізілетін сүзуші элементтер жабық пресс-қалыптарда, созылмалы қабықшаларды гидростатикалық престеумен, экструзиялаумен және ұнтақты жұқартып басу арқылы дайындалады. Осы әдістермен престеу кезінде бұйымдардың кеукетілігі төмендейді және оның пайда болуына кеукетүзгіштер себеп болады.

Экструзия және ұнтақты жұқартып басу әдістерімен сүзуші элементтер қоррозияланбайтын болат, темір, молибден, вольфрам және басқа металдар мен қорытпалар негізінде жасалады.

Ұнтақты материалдардан жасалған сүзгіштерге қарағанда металдық талшықтардан жасалған сүзгіштердің бірқатар келесідей артықшылықтары бар, оларды атап шыққанда:

- сүзілетін органың жоғары өтімділігін қамтамасыз ететін бұйымдарды жоғары кеуектілікпен алу мүмкіндігі (90 % -ға дейін);
- беріктігі және созылмалдылығы жоғары болады.

Өтімділігі жоғары кеуекті материалдарды жасауда бастапқы материалдар ретінде диаметрі 15-50 мкм болатын металдық өткізгіштердің қиындыларын қолданады.

5.2. Электротехникалық материалдар

Жалпы энергетикада қолданылатын негізгі материалдар төрт топқа бөлінеді, атап шыққанда олар:

- 1 – өткізгіш материалдар;
- 2 – жартылай өткізгіш материалдар;
- 3 – магнитті материалдар;
- 4 – диэлектрлік материалдар.

Бұл материалдарға ортақ қасиет – олардың тоқ кернеуі жағдайында, яғни электр өрісінде пайдаланылуы болып табылады, яғни ол материалдардан тоқ өтеді, жылу энергиясы бөлінеді, электр энергиясы жоғалады және қызады. Дегенмен, магнитті материалдарда магнитті энергия жиналады, сонымен қатар ол энергия жоғалады, айнымалы электр өрісінде жұмыс жасағанда жылу бөлінеді. Осы жерде құрамы бойынша ерекше материалдарды – композициялық материалдарды жеке атап өтуге болады.

Мамандардың болжауы бойынша жылдан жылға электр энергиясына деген сұраныс өсіп отырады. Осыған байланысты мәселелерді жою үшін екі түрлі мәселені шешу керек: кіші электрлік стансаларына қажетті энергияны жеткізіп, одан кейін жеке тұтынушыларға, жеке қондырғылар мен аспаптарға беру қажет. Бірінші жағдайда осы уақытқа дейін тасымалданатын электр мөлшерін көбейтуге болатын механизм мен материалдарды құрастырып, әзірлеу қажет, екінші жағдайда – олардың коммутациялық аппараттары мен ауыстырғыштарының барлық түрлерінің жұмыс істеу мүмкіндіктерін қамтамасыз ету. Бұл аппараттардың негізгі элементі ретінде түйісу (контакт)

болғандықтан, электр техникасының әрі қарай дамуы олардың сенімді жұмыс жасауына байланысты болады. Осыған байланысты электрлік түйісу материалдарының сапасы өте маңызды орын алады. Түйісу электрлік тізбекке қосылуға, бір уақыт аралығында электр тоғын тасымалдауға және тізбектерді ажыртуға арналған. Таза металдар мен гомогенді қорытпалардан жасалған түйісу материалдары қойылған талаптарды қанағаттандырмайды. Ұнтақты металлургия әдісімен жасалған түйісу материалдарында компоненттердің әртүрлі қасиеттері бір композициялық материалда біріктіріледі.

Бұл әдіс электрлік материалдарды жасауға қолданылатын асыл металдарды (Au, Ag, Pd, Pt) жентектелген композиттермен ауыстыруға мүмкіндік беріп қана қоймай, олардың қолданылу қасиеттерін жақсартып (тозуға шыдамдылық пен жанғыштығын төмендету), өндіріске кететін материалдың шығынын азайтады.

Электрлік процестер мен түйісу материалдарына қойылатын талаптар. Электртүйісу материалдары күшті тоқты және әлсіз тоқты электротехникаға (ақпараттық, басқармалық және реттегіштік) арналған материалдар деп екіге бөлінеді; екі топтың арасында қатаң өзгешеліктер жоқ, бірақ электротехниканың әр саласының өзіне тән ауыртпалығын тек белгілі құрамда болатын материал ғана көтере алады. Күшті тоқты техниканың материалдары қандай да бір дәрежеде электрдоғалық эрозия әсеріне ұшырайтын болғандықтан ток өткен кезде түйісу материалдарының дәнекерлену қауіптілігі бар болады, ал әлсіз тоқты техникада – бірінші болып үнемі айнымалы кедергінің болуы және материалдың тасымалдану мәселесі тұрады.

Көптеген түйісу материалдарына жақсы электр- және жылуөткізгіштік қасиеттері тән, дегенмен электртүйісу материалдары электр тогы өткенде азырақ қызуы қажет және қызғанда бұзылмауы тиіс. Кіші көлемде алғанда түйісу материалдардың ток тасымалдау қасиеті аспаптар мен приборлардың дәл жұмыс істеуін қамтамасыз еткені жөн. Осы себептерге байланысты түйісу материалдың желілік қондырғыдағы атмосфералық коррозия мен микро-ауа райына тұрақты болуы қамтамасыз етілуі тиіс. Электртүйісу материалдары (мысалы, дабыл қағатын және бақылаушы

қондырғыларында) қосқан кезде қоймада жатқан немесе қолданылмаған уақытына қарамай дер кезінде жұмыс істеуі керек. Бастапқы материалдардың жоғары сапасы электр- және жылуөткізгіштікті, электрлік түйісулердің коррозияға тұрақтылығын сенімді түрде қамтамасыз етеді.

Күшті тоқты түйісу материалдары.

Желілік элементтерді ажыратқанда электрлік доға пайда болады. Осыған байланысты материалдың жануы желілік қондырғының қызмет ету мерзімін қысқартады. Жану мөлшері түйісу материалының қасиетіне тәуелді болады. Тізбекті ажыратқан кезде желілік элементтердің түйісу ауданы азайып, тоқ тығыздығы артады. Түйісу жерінде температура жоғарылап, түйісу материалы балқиды, соңында тоқ балқыған металдың кішкентай көпіршелері арқылы өтеді. Тоқтың күші көп болғанда көпіршелер жарылып, сұйық металл шашырайды. Электрлік доға пайда болған кезде материалдың түйіскен жері қатты қызады, әрі қарай ол қайнап буланады. Оның бір бөлігі тоқ тасымалдайтын бөліктердің айналасында тамшы түрінде тұнады. Желілік қондырғыны өшірген кездегі материалдың шығыны қалдық немесе эрозиялық тозу деп атайды.

Желілік қондырғының қозғалмалы түйісу жері тізбекке қосылған кезде дірілдейді. Бұл сәтте түйісу материалдары серпімді және созылмалы деформациялана бастайды. Серпімді деформация кезінде желілік қондырғы серіппелі эффектіннің әсерінен тізбектен қысқа уақытқа ажырайды. Тербеліс амплитудасы 0,2 мм-ге жетеді. Түйісу материалдарының тербелісі прибордың конструкциясына, оның массасына және түйісу материалының қасиеттеріне тәуелді болады, ол көп рет қайталанып, 8 мс бойы созылуы мүмкін, бұл уақыт ішінде 2–5 тербеліс болады. Түйісу материалдарының қысқа уақыттық тербелісінен пайда болатын электрлік доғаның әсерінен түйісу материалының қайнауға дейін қызады және оның бетінде, түйісу материалын бір рет ашып қосқанда да, оюлаушы эффектін пайда болады.

Әлсіз тоқты түйісу материалдары. Әлсіз тоқты түйісу материалында тасымалданатын қуаттың аз болуына қарай эрозия мен материалдардың дәнекерленуге бейімдігі екінші дәрежелі рөлді атқарады.

Бірінші кезекте олардың коррозияға тұрақтылығы мен материалдың минималды миграциясы (яғни оны электрод материалының жан-жақты тасымалдануының төмен болуы деп түсінуге болады) болуы қажет. Ол катодта да, анодта да пайда болады. Түйісу материалын желіге бірнеше рет қосқаннан кейін материалдың бір жұмыс бетінде ойықша, яғни кратерлер пайда болып, оның қарама-қарсы жағында конус өседі. Бұл құбылыс түйісу материалының жабысуына әкеліп, дұрыс коммутацияны бұзады. Материалдың ауысуларының саны мен бағыты материал мен коммутацияланатын сұлбаның индуктивтілігіне тәуелді.

Барлық материалдар тұрақтылау немесе тұрақсыздау электрлік жанама түзгіш болып келеді. Асыл металдар да бұл жағынан қалыспайды. Олардың беттерінде өткізгіштігі жеткілікті болатын жұқа, қалыңдығы тұрақты реактивті қабат түзіледі; материалдың бұл тобы әлсіз тоқты материалдардың негізгі талабына жауап береді: түйісу жерінде ауыспалы кедергі тұрақты болады. Дегенмен, атмосфераның ластануы, әсіресе, күкірт құрамды қосылыстармен ластануы, қосымша мәселелерді туғызады. Бұл мәселелер әлі күнге дейін шешілмеді.

Электротехникада қолданылатын жентектелген түйісу материалдары.

Осы уақытқа дейін түйісу материалдарын тоққа қосып ажыратқанда олардың қандай күйде болатындығы туралы толық мәліметтер жоқ. Негізінен материалдарда оюлаушы эффект болатындығы туралы ақпараттар және соған байланысты материалдар талдалатындығы белгілі. Ал түйісу материалдарының электромеханикалық сипаттамаларына басқа қасиеттер қалай әсер ететіндігі анық емес. Мысалы, материал құрылымының дисперстілігі электрлік доғаға әсер етуі, желіге қосу кезінде материалдың қалдығын қалай анықтау керектігі белгісіз. Коррозиялық атмосферада беттік қабат түзгіш материалдар бар, бірақ осы қабаттың электрлік және механикалық параметрлері арқылы қалай білінетіндігі белгісіз. Сонымен бірге, материалдың физикалық қасиеттері мен түйісу сипаттамаларының өзара байланысы толық анықталмаған. Осыған байланысты түйісу материалдарын жасаудың және қолданудың қатаң әдістері жоқ. Бірақ, оларға эмпирикалық түрде шығарылған электротехникалық қағидалар қолданылады.

Сол қағида бойынша бүкіл түйісу материалдарын бес топқа бөлуге болады:

- 1) ауырпалықсыз қосылатын түйісу элементтері – Ag, Au, Rh, Pd;
- 2) материалдың аз миграциясы болғанда қолданылатын материалдар – Ag, Au, Pd, Pt;
- 3) орташа қуаттылықты беруге арналған материалдар – [Cu, Ag, W]/Ag/Ni, Ag/CdO; Ag/CuO;
- 4) жануға өте тұрақты түйісу элементтері – Mo, W / Ag/W; Cu/W;
- 5) жылжымалы түйісу материалдары – Ag // Ag/C.

Ұнтақты металлургия әдісімен алынған материалдарға 3–5 топтағы материалдар жатады. Әлсіз тоқты техникада жентектелген материалдың қолданылуы кең таралмаған, себебі ұнтақты металлургия технологиясы металдық негіздің коррозияға тұрақтылығын өзгертпейді.

Әлсіз тоқты техникада алтын, платина немесе палладийдің жентектелген материалға плакирлеу арқылы, гальваникалық немесе химиялық әдіспен жағылып қолданылуы тиімсіз және жұмысы да көп.

Жентектелген материалдар негізінен тасымалдаушы тоғы орташа болатын желілік қондырғыларда және берілген қасиеттері болатын түйісу материалдарында қолданылады. Осыған кедергі ретінде тек қана олардың қымбаттығы мен әр желіге арнайы материал жасаудың мүмкін еместігі болып табылады.

Қиын балқитын металдар негізіндегі материалдар.

Түйісу материалдарының бұл тобына өткізгіштігі жақсы болатын, бір фазалы қиын балқитын жентектелген металдардан және олардың басқа металдармен композициясынан жасалған бөлшектер жатады. Бір фазалы түйісу материалдардың ішінде бірінші орынды вольфрам алады. Молибден және рений арнайы жағдайларда ғана қолданылады.

Вольфрамның балку температурасының жоғары болуы және жоғары температурада бу серпімділігінің төмен болуы бұл металды экстремалды жағдайларда пайдалануға мүмкіндік береді, мысалы, атап шыққанда, тоқ оншалықты көп болмайтын, кернеуі өте жоғары тізбектерді жасау үшін, тізбекке жиі қосу

кезінде жанама матриалының механикалық және электрлік эрозия әсерінен шығынды жою үшін көп қолданады.

Вольфрам күшті өткізгіш болғанымен, таза вольфрамдық түйісу материалының тоқ тасымалдаушы мүмкіндігі шектеулі. Электр тоғын үлкен қуаттылықпен тасымалдау үшін өткізгіштігі жақсы болатын металл мен вольфрамнан композит жасау қажет. Қиын балқитын металл мен жеңіл балқитын компоненттің қатынастарын өзгерте отырып, материалдың қасиеттері кең аралықта әртүрлі болатындай етіп, прибордың белгілі түріне арналған, белгілі бір қасиеттердің тобын көрсете алатын түйісу материалдары алуға болады.

Материалға тиімді қасиеттер беру мүмкіндігі соңғы жылдары жентектелген композиттердің қолданыста жүрген таза металдар мен құймалы қорытпаларды ығыстыруына себеп болды. Құрамында вольфрамы бар түйісу материалын тізбекке қосқан кезде тербелістерден пайда болатын электрлік доға әсерінен металл шығынының басқа металдардан жасалған түйісу материалына карағанда азырақ болуы, олардың қаттылығының жоғары болуымен және электрлік доғаға тұрақты болуымен түсіндіріледі. Дәнекерленуге бейімділікті өзара ұқсамайтын түйісу материалдар жұбын қолдану арқылы шектеуге болады. Құрамында вольфрамы бар материалдардан жасалған желілік блокты көбінде күміс-графит түйісу жерімен үйлестіреді. Материалдардың бұл үйлесімі үлкен энергияны тасымалдауға берік келеді. Түйісу материалдарының барлығының ішінде құрамында вольфрамы бар композиттердің жануға тұрақтылығы өте жоғары. Үлкен токтарды (>10 кА) желілеу үшін тек қана құрамында вольфрамы бар материалдарды қолдану қажет.

Шектеулі тоқ тасымалдаушы бейімділігі бар таза вольфрам және оның негізіндегі композиттерден жасалған түйісу материалдарын әлсіз токтарды тасымалдауға қолдануға болады.

Құрамында вольфрамы бар материалдар ұзақ жұмыс жасағанда, одан үлкен тоқ өткенде қатты қызып кетеді. Одан басқа, электр доға әсерінен вольфрам тотығының және қорытпа құрамына кіретін мыс немесе күміс вольфраматтарының қабықшасы түзіледі. Вольфраматтардың механикалық беріктігі жоғары болғанымен диэлектриктер болып табылады. Кейбір жағдайларда бұл желілік жүйенің ерте бұзылуына әкеледі.

Түйісу материалының құрамына кіретін вольфрам тек қана ұнтақты металлургия әдісімен алынады. Вольфрам негізіндегі композициялық материалдарды келесідей үш тәсілдің бірімен алады:

1) әртүрлі металл ұнтақтарын араластыру; престоу және балқу температурасы ең төменнің температурасынан төмен температурада (кейбір кезде жоғары температурада) жентектеу;

2) вольфрам ұнтағынан жасалып, престелген дайындаманы балқыған күміспен немесе мыспен сіңдіру. Мұндай тәсілмен алынған композициялық материал суық деформацияланады;

3) престоу және жентектеумен алынған қатты вольфрам қаңқасын дайындаманы балқыған күміспен немесе мыспен сіңдіру.

Бірінші тәсіл бойынша композитті алу үшін, соның ішінде қаттыфазалық жентектеу кезінде қиын балқитын және жеңіл балқитын компоненттердің кез келген қатынастарын, ал екінші және үшінші тәсілдермен материалдарды алған кезде – вольфрамның үлесі бүкіл массаның 30 % аса болуы тиіс. Іс жүзінде мұндай шектеу үнемі орындала бермейді, себебі вольфрамның үлкен үлесі композициялық материалдың тұрақтылығын арттырады.

Мұндай материалдарды алдын ала 400–6000 МН/м² қысымымен жүргізіліп, жентектеу уақыты кемінде 1,5 сағ болуы тиіс. Кеуектілігі көп материалдар тезірек жентектеледі.

Түйісу материалдарының дамуындағы бағыттар.

Түйісу материалдарының әрі қарай дамуы өте көп энергияны тасымалдаумен, желілердің жұмыс жасау мүмкіндіктерін арттырумен және асыл металдарды барынша экономдаумен байланысты.

Түйісу материалдарын арнайы мақсаттармен құрастырып жасау және оларды тиімді қолдану үшін тиісті электротехникалық сынақтар өткізу керек. Материалды тек механикалық, физикалық және металлографиялық параметрлер бойынша бағалау көбінде оларды құрастырып жасаудың дұрыс бағытына әкелмейді. Сондықтан, қолда бар материалды алдынала модельді сынақтарды жүргізу көмегімен, яғни оларға сәйкесінше түсетін ауыртпашылықтар жағдайында және

прибордың ерекшелігіне (мысалы, қосқан кезде прибордың дірілдеуі) қарай материалдың негізгі критерийлері бойынша (электрдоғалық эрозия, материалдың дәнекерлену сипаттамасы және тасымалдануы) тандаған тиімді. Түйісу материалының приборға жарамдылығы туралы соңғы шешімді тек қана жан-жақты сынақтар өткізгеннен кейін ғана шығаруға болады.

Қазіргі таңда таза қиын балқытын металдар бағытының дамуы оларды жасау процестерін жетілдіруге байланысты болып отыр.

Композициялық материалдар жағдайында – таза вольфрамнан оның карбидтері түрін пайдалану тозу дәрежесін азайтады. Композиттерді жасауға байланысты пайда болатын қиындықтар болашақта шешілуі мүмкін. Себебі оларды жасаудың рационалды технологиясы, сондай-ақ түйісу материалын жасауда қолданылатын талшықты композиттердің технологиясы әлі де даму барысында. Талшықты композиттеріне деген қызығушылық материалда жақсы түйісушілік және серіппелік қасиеттері бірге болу қажеттігіне байланысты.

Жалпы алғанда, материалдың (балқыту немесе ұнтақты металлургия әдістермен жасалған) қайсысы артық екендігі туралы шешімді құрастырылатын прибордың конструкциясына байланысты ғана қабылдау керек. Соңғы уақытта жоғарыда көрсетілген әдістермен дайындалған материалдарды бір түйісу блогында үйлестіру мүмкіндіктері кеңейіп жатыр. Мысал ретінде вакуумдық өшіргіштерге арналған түйісу материалы болып табылады. Мұндай материалды электр доғалық эрозияны ескере отырып, жентектелген мыс-молибденді композиттен жасайды, ал нақты (номиналды) тоқпен жұмыс жасағанда – балқыту әдісімен алынған Cu–Bi негізіндегі қорытпадан жасайды. Осыған ұқсас үйлестірулер күміс негізіндегі материалдар үшін де жасалады. Сонымен қатар, қасиеттерін төмендетпейтіндей етіп композит құрамындағы асыл металдарды толығымен алмастырудың да мәні өте зор.

Қорыта келгенде, технологиялық процестерді автоматтандыруға байланысты жаңадан жасалған материалдарды төсеніш-табандаршалармен тиімді қоса алған жөн. Қазірдің өзінде, мұндай қосуларды процестердің бүкілі автоматтандырылған жағдайда, яғни бір технологиялық шоғырға ұштастыру, штамптау,

деформациялау, дәнекерлеу немесе балқытып қосу операцияларын қоса алғанда, тиімді техника-экономикалық эффектті болатын жағдайда ғана жүзеге асырады.

5.3. Фрикциялық материалдар

Фрикциялық материалдар – үйкеліс коэффициенті жоғары және сырғып үйкелу жағдайында жұмыс жасайтын бөлшектерді жасауда қолданылатын материалдар. Техниканың үздіксіз дамуына байланысты фрикциялық материалдарға деген талаптар үнемі артуда. Фрикциялық материалдардың фрикциялық жылу тұрақтылығы, яғни температураның кең аралығында үйкеліс коэффициенті мен тозуға тұрақтылығы жоғары, адгезиялық қабілеттілігі, яғни үйкеліс кезінде бір-біріне жабыспау қасиеті төмен, жылуөткізгіштігі және жылусыйымдылығы жоғары болады. Фрикциялық материалдарға, сондай-ақ коррозиялық тұрақтылық, өңделгіштік, технологиялық, экономдылық жағынан бірқатар жоғары талаптар қойылады. Осындай талаптарға тек қана ұнтақты металлургия әдісімен дайындалған материалдар жауап бере алады.

Металдық фрикциялық материалдарға кейбір маркалы шойындар мен болаттар жатады. Темір жолындағы колодкалар үшін, мысалы, сұр шойын қолданылады. Шойынның өз пішінін сақтау қасиеті жақсы, дегенмен 400–600 °C жоғары жағдайда үйкеліс коэффициенті күрт төмендейді. Ал металл емес фрикциялық материалдар негізінен асбест негізінде жасалады, байланыстырушы зат есебінде каучук, шайыр, т.б. қолданылады. Каучук байланыстырушысы бар пластмасса негізіндегі фрикциялық материалдарының үйкеліс коэффициенті 220–250 °C дейін тұрақты, олар автокөліктердің тежегішінде және ілінісу жүзіктерінде қолданылады. Сондай-ақ осындай материалдарға шайыр негізіндегі пластмасса фрикциялық материалдары жатады. Мұндай материалдардың тозуға тұрақтылығы жоғары болғанымен, үйкеліс коэффициенттері төмен болады. Осы топтағы материалдардың ең жақсысы – ретинакс, оның құрамына фенолформальдегид шайыры, барит, асбест және басқа компоненттер кіреді. Мұндай материалдар үйкеліс бетінде температура 1000 °C дейін жететін күрделі тежеу түйіндерінде қолданылуға арналған (авиациялық тежегіштер).

Ұнтақты фрикциялық материалдардың үйкеліс коэффициенті 0,25–0,5 аралығында тұрақты болып, тозу және жылу тұрақтылықтары жоғары болуы тиіс. Жоғары қойылған талаптарды тек қана күрделі композиттерді жасау есебінен қанағаттандыруға болады.

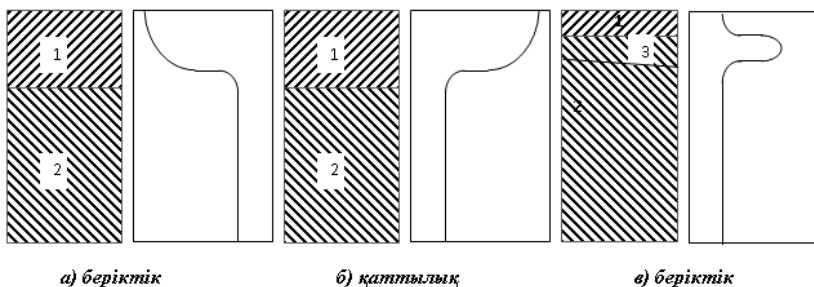
Жентектелген фрикциялық материалдардың металдық негізі тек қана мыс, темір немесе олардың балқымаларынан тұрады. Фрикциялық материалдардың қасиеттерін жақсарту үшін негіздің құрамына металдық немесе металл емес әртүрлі құраушыларды қосады. Олардың тигізетін әсері бойынша мұндай материалдарды екі топқа бөлуге болады. *Бірінші топқа* үйкелетін жұптың (графит, жеңіл балкитын металдар (қорғасын, висмут, кадмий), металдардың сульфидтері мен сульфаттарының) желіну қабілетін төмендететін материалдар жатады. *Екінші топтың* құраушылары (негізінен оксидтер, силикаттар, карбидтер, фосфаттар) белгілі бір үйкеліс режимі жасалады. Екі топтың да материалдары фрикциялық бөлшектердің тозуға тұрақтылығын арттырады.

Барлық жентектелген фрикциялық материалдың ең маңызды құраушысы болып графит табылады. Құрғақ үйкеліс жағдайында жұмыс жасайтын материалдардағы графиттің үлесі 10-нан 30 %-ға дейін, ал майдың сұйықтық үйкеліс жағдайында 10 %-ға дейін жетеді. Графиттің құрылымы қабатты, ол жеке қабықшаларға оңай ыдырайды, бұл графиттегі гексогналды тордың с бағыты бойынша ілінісу күшінің төмен болуына байланысты. Графит, сондай-ақ құрамында өзге атомдар мен молекулалар (су буы, қорғасын және кадмий оксидтері) бар болса, сонымен қатар жоғары температурада қатты қабаттанады. Графит, металдардың оксидтері, карбидтері мен нитридтері ауыртпалық көп түсетін жағдайда жұмыс жасайтын үйкеліс жұптарында қолданылады. Материалдың құрамы мен түсетін ауыртпалықтың түрі түйісу қабатының құрылымы мен құрамын анықтайды. Фрикциялық қабат ауыртпалықтың кең аралығында тұрақты жұмыс жасап, өздігінен қалпына келу қасиетіне ие болуы қажет.

Фрикциялық қабаттардың әртүрлі конструкциясы мен оның механикалық қасиеттері 5.1-суретте көрсетілген. Бірінші жағдайда, яғни *а)* жағдайында фрикциялық қабаттың ығысу кедергісі негізге

қарағанда айтарлықтай төмен. Мұндай сипаттама негізге жеңіл балқитын металды (қорғасын, висмут, индий) немесе құрылымы қабатты болып табылатын (графит, молибденнің дисульфиді) материалды негізге жабыстырғанда байқалады.

Мұндай конструкциядағы фрикциялық қабат тозу мен үйкелісті қатты төмендетеді, бірақ ол негізбен әлсіз ілініскендіктен ұзақмерзімді емес. Екінші б) жағдайында фрикциялық қабаттың қаттылығы мен беріктігі негізге қарағанда жоғары. Мұндай текті фрикциялық қабат материалды қосымша легірілеген кезде, созылмалы деформация мен беріктеу өзара әрекеттескенде, термохимиялық және трибохимиялық реакцияларда, фазалық айналымдар мен диффузиялық процестерде алынады. Мұндай қаптаманың тозуға тұрақтылығы жоғары болады. Дегенмен, фрикциялық қабаттың негізден бөліну қауіптілігі де бар, бұл қаптама-негіз бөліну шекарасындағы беріктік бойынша жоғары айырмашылықтың болуында. Осы себептен мұндай материалдар бөлшектің тез тозуына себеп болады.



5.1-сурет. Реакциялық қабаттың түзілу сұлбасы:

- а – беріктігі жоғары негізгі материалдағы жұмсақ қабат;
 б – жұмсақ негізгі материалдағы қатты қабат; в – беріктігі жоғары аралық қабаты бар қабаттар. 1 – қаптау қабаты; 2 – негізгі материал; 3 – аралық қабат*

Жентектелген фрикциялық материалдардың металдық негізі. Фрикциялық материалдардың металдық негізі мыс, қалайы, темір, т.б. металдардан жасалады және үйкеліс коэффициентін арттыру үшін оған аз мөлшерде кремний, кремнийдің оксиді, асбест, т.с.с., сонымен қатар үйкеліс бетінде

майлану эффектісін беру үшін графит, тальк – $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, қорғасын, т.б. қосылады. Үйкеліс коэффициентін арттыратын және оны төмендететін қоспалардың мөлшерін өзгерте отырып, ұнтақты қорытпаның тиісті фрикциялық қасиетін алуға болады. Мысалы автокөлік өнеркәсібінде майда жұмыс жасау үшін құрамы келесідей фрикциялық қорытпа қолданылады, %: 60 Cu, 10 Sn, 4 Fe, 7 Pb, 4 C – графит, 8 пульвер-баклит және 7 асбест. Фрикциялық балқымалардың беріктігі жоғары болмайды, сондықтан олар болат дискісінде немесе болат ленталарында жұқа қабат түрінде қолданылады. Фрикциялық қабаттар болатпен екі тәсілмен біріктіріледі: қысым арқылы ұнтақты қорытпаны болатпен жентектеу немесе желімдеу. Құрғақ үйкеліс жағдайында тежеу кезінде температура жоғарылайды және осы себептен мыс негізінің орнына балку температурасы жоғары темір негіз ретінде қолданылады.

Фрикциялық қаптаманы өндіру технологиясы.

Фрикциялық материалдар металдық матрицадан және үйкеліске жарамды дисперсті материалдан (толтырғыштан) тұрады. Металдық матрица жүйенің негізі болып табылады және материалға: ыстыққа төзімділік; тозуға тұрақтылық; беріктік; созылмалдылық береді.

Қажетті үйкеліс коэффициентіне жету үшін, жанасатын бөлшектердің арасындағы ілінісуді болдырмау үшін материалға толтырғыш енгізіледі, ол сондай-ақ үйкеліс коэффициентінің тұрақты болуын қамтамасыз етеді. Фрикциялық материалдардағы толтырғыштың үлесі – 50–60 %. Толтырғыштың үлесі көп болса металдық негіздің беріктігі мен престелгіштікті төмендетеді. Құрамында металл емес құраушылары бар тозуға тұрақты негізді жасауда қолданылатын металдық ұнтақтардың жентектелу қасиеті жоғары болуы тиіс. Осыған байланысты мұндай материалдарды құрылымы кеуекті, дендритті, беттік активтілігі жоғары, түйіршіктерінің өлшемі 150 мкм болатын ұнтақтар қолданылады. Беттік активтілікті арттыру үшін ұнтақтарды арнайы өңдеу әдістері қолданылады. Ал сұйық фаза жентектеу кезінде ұнтақтардың ілінісуін арттырады. Ұнтақтарды араластыру кезінде тығыздықтарының әртүрлі болуына орай сеперацияның болмауы үшін құраушыларды жайлап белгілі бір кезекпен салады. Дайындамаларды көптеген жағдайда 20-дан 40 кН/см² дейінгі қысыммен әзірлейді. Жентектеу процесі өтпелі немесе қалпақты

пештерде 1–3 сағ бойы жүргізіледі. Фрикциялық қабат көп жағдайларда болат негізіне ұнтақты қабатты 10–40 кН/см² қысыммен жентектеу арқылы алынады. Екі қабаттың жақсы жабысуы үшін болаттың бетін алдын ала майсыздандырады, құммен тазартады, мыстайды. Фрикциялық қабат пен негіздің ілінісуін арнайы бекіткіштермен, балқыма флюстерімен жақсартуға болады.

Май байланыстырғышы бар мыс негізіндегі фрикциялық материалдар болат негізінің бетіне салынған немесе ыстыққа төзімді қалыптарға салынған ұнтақты қоспаны өтпелі пештерде жентектеу арқылы алады. Суық престоу немесе қысыммен жентектеу барысында материал нығыздалады, сонымен қатар май байланыстырғышына арналған ойықшалар немесе арықшалар қалыптасады. Осыдан кейін болат табаншасын қолданумен немесе онсыз ұнтақты қоспаны прокаттау жүргізіледі. Өте жұқа фрикциялық қабатты алу үшін ұнтақтың қабатын болат негізбен лак арқылы жабыстырады. Кейін прокатталған лентадан қажетті пластиналар кесіп алынады. Үлкен өлшемді пластиналар матрица мен пресс-башмақты қолдану арқылы үздікті әрекет ететін престоуде алады. Фрикциялық қаптама жентектеуден өте салысымен қолданылуға дайын болады.

Темір негізіндегі фрикциялық материалдар.

Қазіргі уақытта барлық индустриалды дамыған елдерде құрғақ үйкеліс жағдайында қолданылатын бөлшектер темір негізінде жасалған фрикциялық материалдар болып табылады. Мұндай материалдардың қолданылуын түсті металдарды экономдаумен, бағасының төмен болуымен, салыстырмалы үйкеліс коэффициенттерінің жоғары болуымен және тозуға тұрақтылығының жоғары болуымен түсіндіріледі.

Фрикциялық материалдың құрамы олардың қолданылу саласына қарай таңдап алынады.

Темір негізіндегі фрикциялық материалдарда негізгі металл емес компонент болып графит табылады, оның үлесі 10–30 %. Жоғары жылдамдықтарда фрикциялық материалдың тұрақтылығын 15 % графит қоспасы айтарлықтай азайтады, құрамдағы графиттің тиімді үлесі болып 20 % саналады. Графиттің жоғары үлесі (~25 %) композициялық материалдың беріктігін төмендетеді.

Графиттің үлесіне қарай фрикциялық материалдың үйкеліс коэффициенті өзгереді: графиттің тиімді үлесіне жеткенше ол артады, содан кейін графиттің үлесі азайған сайын оның мәні қайтадан түседі.

Темірграфитті фрикциялық материалды жасау үшін табиғи немесе жасанды графит қолданылады; осы графиттің пластинкаларының өлшеміне қарай композициялық материалдың трибологиялық сипаттамалары мен беріктігі өзгереді. Графиттің ірі пластинкалары материалдың негізінде көпіршелердің көп санының түзілуіне себеп болады, бұл композиттің беріктігін арттырады; осы мақсатта 40–100 мкм өлшемді пластиналар қолданылады. Жентектеу процесі 1000–1150 °С. Темірдің кристалдық торына енгізілетін көміртегінің мөлшері температураға тәуелді. Композитте 10 % графит болғанда суыту кезінде оның бір бөлігі балқымадан бөлініп шығады. Суытқаннан кейін екіншілік графиттің аз ғана үлесімен ферритті-перлитті құрылым түзіледі.

Композициялық материалдың легірлеуші элементтерінің құрамын таңдау. Темірграфит негізіндегі композициялық материалдың легірлеуші элементтерінің құрамын және жентектеуден кейінгі суыту режимін таңдай отырып, композиттің құрылымын өзгертуге және қажетті механикалық, трибологиялық қасиеттерді алуға болады. Құрамға мысты қосу темір негізіндегі перлиттің үлесін азайтады, 10 % мыс кезінде материалдың құрылымы тек қана мысқұрамды ферриттен тұратын болады. Композитті мыстың аз ғана мөлшерімен легірлеу екіншілік цементиттің түзілуін тежейді. Никель қатты ерітінділердің түзілуіне және беріктіктің артуына ықпалын тигізеді. Мысалы, 5 % никель қоспасы құрамында 17,5 % графит бар фрикциялық материалдың беріктігін екі есеге арттырады. Хром материалдың тозуға тұрақтылығын жақсы деңгейге, ал үйкеліс коэффициенті тек аз мөлшерге арттырады, ал механикалық қасиеттер өзгеріссіз қалады. Хромның болуы негізінен оның карбидтерінің түзілуіне әкеледі. Молибден тозуға тұрақтылықты жақсартады, мысалы 5 % Мо материалдың тұрақтылығын 3–5 есе арттырады. Оның әсерінен ұсақ дисперсті карбидтердің түзілуімен қатар, құрылым да ұсақ дисперсті болып қалыптасады.

Барлық фрикциялық материалдардың құрамын жасарту үшін жеңіл балқитын металдар (Pb, Bi, Sn, Cd) енгізіледі, бірақ олар негізде ерімейді. Құрамға қорғасынды қосу ең жақсы нәтиже береді, мысалы құрамға 5 % Pb қосу темірграфит негізіндегі материалдың тозуын 2 есеге азайтады. Осыдан көп мөлшерде қорғасынды қосу ешқандай өзгерістерге алып келмейді.

Алюминий мен кремний оксидтері, асбест, муллит, силиманит, карбидтер, сульфидтер, сульфаттар (мысалы BaSO_4 , FeS , PbS , MoS_2 , Sb_2S_3), фосфидтер, нитридтердің аз ғана қоспасы тозуға тұрақтылықты арттырады және кешенді фрикциялық қаптаманың түзілуіне және тұрақтануына әкеледі.

Темірграфитті материалдардың тозуға тұрақтылығы біріншіден үйкелетін жұптың жанасу бетіндегі температураға тәуелді, оны үнемі қадағалап отырған дұрыс, себебі механикалық энергияның 70–80 % жылуға айналады. Екіншіден материалдың жұмыс жарамдылығына композиттің геометриялық параметрлері мен конструктивтік ерекшеліктері де әсерін тигізеді. Фрикциялық материалдың берілген қасиеттері үйкелетін жұптар көптеген сынақтардан өткізіліп, таңдалғаннан кейін сақталады. Микро- және макрооблыстарда үйкелетін жұптар геометрия жағынан бір-бірімен дұрыс келіп, үйкеліс коэффициенті артады, ал тозу азаяды. Бұл кезде үйкеліс беттерінде қорғаушы қаптама да түзіледі.

Жентектелген фрикциялық материалдар престоерде, металл өңдеу станоктарында, қағаз жасау және қаптау машиналарында, прокатты станоктарда, жер қазатын және көлік машиналарында пайдаланылады. Сонымен қатар бұл материалдар ауыл шаруашылығы машиналарында муфтаалар ретінде, арнайы мақсаттағы автокөліктерде өздерін жақсы көрсетті. Ауыр жағдайларда қаттыфазалық хромдалған болаттар қолданылады.

Керметтер негізіндегі материалдар. Композиттің байланыстырушы фазасы.

Өте ауыр жағдайларда термотұрақты керамикалық композиттер қолданылады. Композиттің байланыстырушы фазасы болып негізінен жылуөткізгіші жақсы мыс балқымалары, ал ерекше жағдайларда – темір мен оның балқымалары табылады.

Металл емес компоненттер болып көбінде оксидтер (Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 , MgO немесе муллит), сонымен қатар силикаттар табылады. Осы компоненттердің көлемдік қатынасы 50 % құрайды. Трибологиялық параметрлерді модификациялау үшін графит, жеңіл балқитын металдар, сульфидтер, карбидтер немесе фосфаттар енгізіледі. Керметтер негізіндегі композициялық материалдар термиялық тұрақты және $\sim 1000^\circ\text{C}$ жұмыс жасайды. Пайдаланылу жағдайларына қарай үйкеліс коэффициенті 0,3–0,7 аралығында болады. Мұндай материалдардың тозуға тұрақтылығы өте жоғары.

Тозу сипаттамасы белгілі қуаттылыққа жеткенде түзілетін реактивті қабатқа тәуелді. Мұндай қабат материалдың тозуға тұрақтылығын кең аралықта жоғарылатады. Керметтердегі металл еместердің үлкен үлесі олардың беріктігінің төмендеуіне әкеледі. Керметтердің беріктік қасиеттеріне арнайы технология қолданылады: екі реттен престеу, екі рет жентектеу; ыстық престеу, қысыммен жентектеу. Беріктікті арттыру үшін кейбір жағдайда ұсақ стақаншаларға престеледі және бұрғылармен негізге бекітіледі. Кейбір жағдайларда механикалық және трибологиялық қасиеттерді жақсарту үшін керамикалық негізге молибден, титан немесе графит талшықтарын салады.

Керметтер негізіндегі фрикциялық материалдар өте жоғары ауыртпалық түсетін ілінісу муфталары мен тежеу қондырғыларында, жер қазғыш және соғыс-көлік машиналарында, сонымен бірге ауыр машинажасау зауыттарының агрегаттарында қолданылады. Мұндай материалдардың заманауи ұшақтардағы тежеу қондырғыларында қолданылуы өте жоғары динамикалық ауыртпалықтарды қабылдаумен қатар, жалпы конструкцияның массасы мен көлемін азайтады.

5.4. Антифрикциялық материалдар

Антифрикциялық материалдар (*анти* қарсы және латынша *frictio* – үйкеліс деген сөздерден құралған) – машина бөлшектерінде қолданылатын, үйкеліс коэффициенті төмен материалдар. Бұл материалдардың адгезиялық қасиеті төмен, жақсы өңделеді, жылуөткізгіштік пен тозуға тұрақтылық

қасеттері жоғары. Гидродинамикалық майлану жағдайында, яғни бөлшектер майлағыш материалымен қалың майланып, толығымен бөлектенген жағдайында бұл бөлшектердің қасиеттері үйкеліске айтарлықтай әсерін тигізбейді.

Ұнтақты антифрикциялық материалдарға келесідей талаптар қойылады:

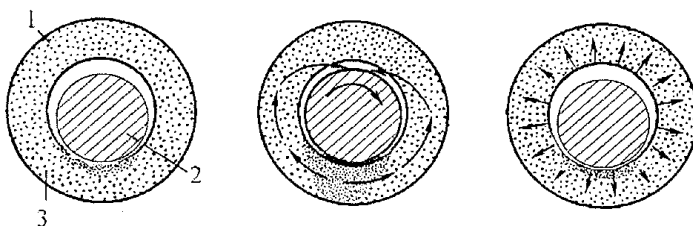
- төмен үйкеліс коэффициенті;
- жоғары тозуға тұрақтылық;
- ауыртпалықты жақсы көтеру қасиеті;
- жақсы өңделгіштік;
- жеткілікті статикалық және динамикалық беріктік;
- жоғары жылуөткізгіштік;
- жылулық кеңеюі өте төмен.

Сырғу кезінде жанасатын денелердің үйкелісін азайту үшін сырғанау беттерін сұйық немесе газ тәрізді қабаттарымен бөлу қажет. Майлау тікелей жанасуды болдырмайды және үйкеліске кететін энергия жоғалымын азайта отырып, жанасатын жұптың тозуын көп мөлшерде төмендетеді.

Майлағыштарсыз жұмыс жасайтын сырғу подшипниктері ұнтақты металлургия әдісімен алынатын антифрикциялық материалдардан жасалады. Мұндай материалдардың кеуектері сұйық немесе газ тәрізді майлағыштармен сіндіріледі; кейбір жағдайларда майлағыш материал композиттің құрамына қатты құраушы түрінде енгізілуі мүмкін.

Май сіндірілген жентектелген материалдар.

Мұндай материалдардан майлағышсыз жұмыс жасайтын подшипниктер жасалады. Мұндай заттардың шамамен 20–30 % кеуектер болып табылады және олар ескіруге төзімді майлармен толтырылады. Осы себептен мұндай заттар тыныш тұрғанның өзінде капиллярлық күштердің себебінен әрекет ететін тұтастай майлану жағдайы қамтамасыз етіледі. Жентектелген подшипниктерге тән майдың айналымы 5.2-суретте кескінделген:



5.2-сурет. Жентектелген подшипниктегі майдың айналымы:

1 – кеуекті жентектелген материал; 2 – айналдырушы (вал);

3 – маймен толтырылған кеуектер

а – айналдырушы айналмайды;

б – айналдырушы айналған кездегі майдың айналымы;

в – жұмыс процесінен кейін майдың өз қалпына келуі

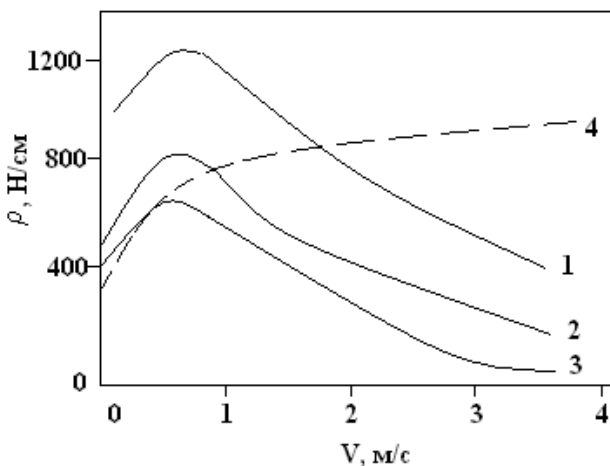
Мұндай материалдарды қолданудың артықшылықтары: жүріс бір сарынды, қосымша жұмыс жасай алады; майлау жағдайы қиын болғанда немесе майлауды дәстүрлі әдістермен іске асыра алмаған кезде, подшипник түйінінде үйкеліс өнімдерін жоюға болмайтын жерлерде, маятник тәрізді және баяу қозғалыстарда, тік және еңкіш орналасқан подшипник тіректерінде қолданылу мүмкіндіктері.

Жентектелген подшипниктердің кемшіліктеріне жоғары жылдамдық пен ауыртпалық көп түсетін жағдайда қолданылуының шектелуін, жоғары кеуектілігіне байланысты беріктігінің төмен болуын жатқызуға болады.

Өнеркәсіпте шығарылатын сырғу подшипниктерінде құрамында 10 % қалайы бар қола негізгі компонент болып табылады. Жақында негізі алюминий болып табылатын подшипниктер жасалды.

Подшипниктердің жұмыс жасау қабілеттілігі мен жарамдылығы ең алдымен жентектелген материалдың құрамы мен кеуектілігін, сонымен қатар пайдалану жағдайларына тәуелді. Егер подшипниктің кеуектері маймен толтырылған болса, олар 3–4 мың сағ, ал ең қолайлы жағдайларда – 10 мың сағатқа дейін жұмыс жасай алады. Жентектелген материалдағы майдың қорын қосымша көбейту подшипниктің жұмыс жасау мерзімін 4–5 рет ұзартады.

5.3-суретте әртүрлі құрамды ұнтақтардан алынған жентектелген подшипниктердің жұмыс сипаттамалары келтірілген. Мұндағы қисықтар шекті ауыртпалықтарға, яғни олардан жоғары жағдайларда подшипник түйінінде температура шектен тыс жоғарылайды.



5.3-сурет. Май сіңдірілген кеуекті жентектелген подшипниктердегі сырғу жылдамдығына (V) қарай шекті ауыртпалықтар (қосымша майлаусыз):

1 – жентектелген қола; 2 құрамында мыс мөлшері өте жоғары жентектелген темір; 3 – жентектелген темір; 4 – тамшылап майланатын құйылған подшипник

Газ тәрізді майлағышпен жұмыс жасайтын жентектелген материалдар.

Мұндай материалдарда майлағыш эффектіні жасау үшін ауа немесе басқа газ қолданылады. Мұндай подшипниктер үйкеліс кезінде энергия жоғалтпайды және бүкіл көлемі бойынша кеуектілігі біртекті болып, олардың өлшемі 0,1–1,0 мм аралығында болуы қажет.

Металлграфитті композициялық материалдар. Жоғары температура жағдайында жұмыс жасайтын подшипниктер үшін қатты майлағышы бар материалдар қолданылады.

Композициялық материалдың негізі болып қалайы, никель және фосфор элементтері бар қола, жез, темір мен оның балқымалары (көбінде мыспен бірге) табылады. Майлағыш материалдар ретінде графит, сульфидтер (соның ішінде молибден сульфиді), жеңіл балкитын металдар (ең алдымен қорғасын), селенидтер мен йодидтер қолданылады.

Подшипник материалындағы графиттің үлесі ауыртпалықтың артуымен азаяды және жылдамдықтың жоғарылауымен артады. Коррозиядан қорғау үшін негізгі материал ретінде никельқұрамды қола мен күміс немесе графитпен мыс негізіндегі композиттер қолданылады.

Металлграфитті композициялық материалдардың өндірісі ұнтақты материалдардың дәстүрлі технологиямен жүргізіледі, яғни олар:

- 1) компоненттерді араластыру;
- 2) престеу;
- 3) жентектеу.

Құрамында графиті өте көп (90 % дейін) темірграфитті композицияны жентектеу металл фазасының балқу нүктесінен жоғары температурада жүргізеді. Сұйық темірграфитті эвтектикада графиттің сіңуін жақсарту үшін және темірдің композитте бөлінуін тоқтату үшін құрамға кальцийдің немесе хромның силицидтері аз ғана мөлшері салынады.

Металлграфитті композиттердің қасиеттері қатты майлағыштың құрамына, құрылымына, түріне, мөлшері мен таралуына тәуелді болады. Жалпы жағдайда қатты майлағыш және жентектелген материалдан тұратын композиттің кеуектілігі айтарлықтай көп емес.

Графитті және металлолимерлі материалдар. Графитті подшипниктер негізінен жоғары немесе төмен температураларда химиялық агрессивті ортада қолданылады. Графит негізінен барлық агрессивті ортада тұрақты (фторсутекті қышқылды, концентрациясы жоғары қышқылдар мен балқытылған сілтілерді қоспағанда). Графитті подшипниктердің қасиеттері бастапқы материалдардың сапасына, жасау жағдайларына және графиттің құрылымына қатты тәуелді. Құрамына графиті көп нығыз материалдардың сырғу қасиеті жақсы болады. Ал көп рет жоғарыполимерлер немесе жеңіл

балқитын металдар сіңдірілген графитті материалдардың тозуға тұрақтылығы өте жоғары. Жалпы, графитті подшиптер мен металлграфитті подшиптердің қасиеттері ұқсас болады.

Металл ұнтақтары қосылған политетрафторэтиленнен (ПТФЭ) – фторпластан жасалған подшипниктер құйылған сырғу подшипниктері қолданылатын жерлерде қолданылады.

Мұндай материалдарды дайындау технологиясы – металл ұнтақтары мен ПТФЭ ұнтақтарын қоспалармен не қоспаларсыз, не шыны талшықтарымен қоспаны дайындау; нығыздау, қысымсыз немесе қысыммен 360 °С температурасында жентектеу. Негізінен қола ұнтақтарымен жасалған ПТФЭ подшипниктерінің қасиеттері жақсы болып табылады.

Антифрикциялық материалдарды жентектеу ерекшеліктері. Антифрикциялық материалдар көптеген жағдайларда сұйықфазалық тәсілмен жентектелетін көп компоненті жүйе болып табылады. Сұйық фаза жентектеу процесінің соңына дейін бар болады. Мұндай процесс қатты фазалық жентектеуге қарағанда әлдеқайда тезірек жүреді. Антифрикциялық материалдарды сұйықфазалық тәсілмен жентектеуде негізгі параметр болып кеуектілік табылады.

Егер бастапқы сатыда кеуектер көп болса, онда өлшемі дәл затты алу қиынға соғады. Дегенмен, кеуектілік антифрикциялық материалдарда бастапқы қасиет болғандықтан жентектеу барысында көлемдік өзгерістерді басқара отырып, кеуектілігі аз құрылымды алуға болады. Ұнтақты материалдың мұндай құрылымы ірі және ұсақ кеуектерден тұрады. Ірі кеуектер не қоспалардың булануы нәтижесінде, не қатты фазамен сұйық фазаның жұтылуы нәтижесінде пайда болады.

Жентектеу барысында, сондай-ақ майлағыштың немесе қосылған компоненттің мөлшері олардың жануы нәтижесінде өзгеріске түседі. Осы себептен бастапқы сатыда осы құбылысты ескере отырып, сіңдірілетін майлағыш артық мөлшерде салынады.

Антифрикциялық материалдарды жентектеудің тағы бір ерекшелігі – қыздыру қорғаушы ортада жүргізілуі тиіс. Жентектеу агрегаттары ретінде үздіксіз әрекет ететін конвейерлі немесе итерілетін пештер пайдаланылады. Мұндай пештерде жентектелетін материал салынған қайықшалар немесе

табаншалар конвейер бойынша немесе арнайы итергішпен жылжытылады. Олар тиеу камерасынан жентектеу (изотермиялық ұстау) аймағына, содан кейін – суыту аймағына (мұздатқышқа) түседі. Соңғы аймақта ылғалсыздандырылған, затты тотығудан қорғайтын қорғаушы газ беріледі.

5.5. Конструкциялық материалдар

Конструкциялық материалдарға өнеркәсіптерде, ауыл шаруашылығында, ғылыми салаларда, космостық техникада қолданылатын бірқатар металдар мен материалдар жатады. Конструкциялық материалдар жасалған материалының табиғаты мен алыну тәсілдері бойынша келесідей сыныпталарды:

материалдың табиғаты бойынша – металдық; органикалық; металл емес; композициялық; наноматериалдар және эпитаксиалды құрылымдар.

алыну әдісі бойынша:

- химиялық тұндыру;
- электрохимиялық тұндыру;
- газ фазасынан:

а) *физикалық процестермен;*

б) *химиялық процестермен;*

в) *үйлестірілген (комбинирленген) процестермен тұндыру;*

- балқыту және кейіннен кристалдандыру;
- жоғары және төмен қысымдарды пайдалану;
- наноматериалдар мен эпитаксиалды құрылымдарды алу,

т.б.

Конструкциялық материалдардан жасалған бөлшектер – машинажасауда ең көп қолданылатын ұнтақты металлургия өнімдерінің бір түрі. Оларға деген сұраныс жалпы ұнтақты бөлшектердің 50 %-нан асады. Конструкциялық мәні болатын ұнтақты металлургия әдісімен дайындалатын бөлшектерге жұлдызды шестерндер, гайкалар, қораптар, қақпалар, рычагтар, ұстағыштар, т.б. машина мен қондырғы, аспаптардың бөлшектері жатады. Конструкциялық рөлді атқаратын ұнтақты бөлшектердің түрлеріне сан алуан өлшемді және мыңдаған атаулы заттар жатады. Олар дайын бұйым күйінде немесе аз ғана механикалық өңдеуді қажет ететін жартылай дайын өнім ретінде де өндіріледі.

Конструкциялық бөлшектерді жасайтын шикізат ретінде темір, көміртекті және легірленген болат, қола, титан, т.б. металл қорытпаларының ұнтақтары жатады.

Ұнтақты металлургияның әдістері сан алуан жағдайларда қолданылатын материалдарды жасауға көп мүмкіншілік береді. Көп жағдайларда ол әдістермен түйісу металдарын өңдеудің кәдімгі технологиясы бойынша алуға болмайтын конструкциялық материалдар мен бөлшектер (мысалы, темір-мыс, металл-шыны, темір-қалайы, металл-пластика құрамды материалдар мен бөлшектер) алынады. Технологияның өндірістік күшінің дамуымен, өндірістік сұраныстардың өсуімен конструкциялық материалдар мен бөлшектердің ұнтақты металлургия әдісімен өндірілетін бұйымдар ішіндегі үлесі өте көп өзгерді.

Ұнтақты конструкциялық материалдар мен бөлшектердің физика-химиялық қасиеттері олардың құрылымдық қасиеттеріне байланысты. Конструкциялық материалдардың маңызды құрылымдық сипаттамасы болып олардың кеуектілігі табылады. Ұнтақты конструкциялық материалдардың физика-химиялық қасиеттерін жақсарту үшін 1960–1970 жж. кеуектілікті мүлдем болдырмайтын жаңа технологиялық процестер құрастырылды. Соңғы кездегі прибор- және машинажасау облыстарындағы дамулармен қатар беріктігі жоғары ұнтақты материалдарға жоғары сұраныс материалдардың беріктігін термиялық, химия-термиялық немесе термомеханикалық өңдеу процестерін қолдану арқылы жоғарылатуды қажет етеді.

Ұнтақты материалдардың беріктік, созылмалдылық, тозуға төзімділік сияқты сипаттамалары біріншіден олардың химиялық құрамына, дайындаудың технологиялық тәртіптеріне және басқа факторларға қарай түзілетін құрылымға байланысты болады. Құрылымдық факторларға кеуектілік, дисперстілік, фазалардың мөлшерлік таралуы, түйіршіктердің өлшемі мен пішіні, субтүйіршіктер, бастапқы ұнтақтардың бөлшектері, сонымен бірге бөлшектер аралық жанасулар жатады.

Ұнтақты материал кеуекті болғандықтан, жентектелген бөлшектер құйылған бөлшектерге қарағанда созғанда азырақ ұзарады, қаттылығы да төмендеу болады. Динамикалық ауыртпашылық жасалғанда (әрлі-берлі майыстырғандағы

беріктік шегі) ұнтақты материалдарды сфероидальды графиті бар шойынға теңестіруге болады. Ұнтақтарды жасауды, легірлеу технологиясын және бұйымдарды жасау процестерін жетілдіру ұнтақты бөлшектердің қасиеттерін жақсартады.

Ыстықтай қатайту, ұнтақтарды прокаттау, изостатикалық престоу, экструзиялау, т.б. технологиялық процестері ұнтақты материалдарды дәстүрлі металлургиялық жоғары динамикалық ауыртпашылық жағдайында қолданылатын жартылай өнімдер, тез кесетін болат, ыстыққа төзімді материалдарды жасауда қолдануға мүмкіндік берді.

Жентектелген бұйымдардың әр елдегі қолданылу аймақтары әртүрлі. Тасымалдау құрылысы, көлік саласы дамыған елдердегі бөлшектердің жартысынан көбі осындай ұнтақты материалдардан жасалады. Конструкциялық материалдардың 20 %-ға жуығы тұрмыстық және электрлік заттарды жасауда, 15 % – бөлшектер түрінде басқа да өндіріс салаларында қолданылады.

Негізгі технологиялық операциялар. Жентектелген бұйымдар өндірісінің дамуы екіншілік рөлді атқаратын жай бөлшектерден жоғары ауыртпашылыққа төзетін машиналардың бөлшектері ретінде қолданылуына байланысты.

Мұндай бөлшектерді жасау үшін белгілі престоу мен жентектеу операцияларын қолданады. Өлшемі дәл, тығыз бөлшектерді алу үшін *екі реттік престоу* және *жентектеу* операциялары қолданылады. Механикалық қасиеттерді екі тәсілмен, яғни *кеуектілікті төмендетумен* және *легірлеумен* жақсартуға болады.

Денелердің кеуектілігіне престоу техникасынан басқа ұнтақтардың нығыздалуы әсер етеді. Легірленбеген темір ұнтақтары әртүрлі престеледі, ол әрі қарай жентектелген материалдың қасиетіне әсерін тигізеді. Мүмкін болатын технологиялық қысымның белгілі аралығында бір реттік, қыздырылмай жүретін престоумен кеуексіз материалды алу мүмкін емес. Қасиеттері жоғары бөлшектерді алу үшін өлшемдердің және механикалық қасиеттердің тұрақты болуын айтарлықтай жоғарылататын екі реттік престоу мен жентектеу қолданылады. Кеуектілікті өте тиімді жағдайлармен (жоғары температурада, ұзақ уақыт бойы) жентектеу арқылы да төмендетуге болады.

Ұнтақтарды күрделі конструкциялы пресс-калыптарда механикалық немесе гидравликалық престермен престейді, нығыздау мен қалыптау бірге жүреді. Қажетті болатын тығыздық пен ұнтақтың престелгіштігіне қарай $0,3\text{--}0,8\text{ МН/м}^2$ престеу қысымын қолданады. Сол қысымға қарай престеу күші мен престі таңдау жүргізіледі. Престің максималды қуаты жасалатын бұйымдар шамаларын шектейді. Өлшемдердің дәлдігі пресс-калыптардың дәлдігі мен жұмыс істеу сенімділігімен қамтамасыз етіледі.

Пресс-калыптарды жасау өте қымбат, бөлшектерді (20–50 мың дана) ірі сериямен шығарғанда, ~200 мың бөлшектерді жасауға пресс-калыптың тұрақтылығы болса ғана экономикалық жағынан тиімді болады. Пресс-калыптарды аспаптық болаттан немесе қатты қорытпалардан жасайды.

Қысым азырақ болғанда, ұнтақтардың бөлшектері пуансонның қозғалысы кезінде еркін араласады, нәтижесінде престелетін дайындамада масса барлық көлемде біркелкі тарайды, тығыздық та біркелкі болады. Престеу кезінде іс жүзінде дайындаманың берілген биіктігінен $0,3\text{--}0,1\text{ мм-ге}$ міндетті түрде ауытқу болады.

Бір реттік престеу мен жентектеуде бөлшектердің тығыздығы мен дәлдігі оншалықты жоғары болмайды; пуансонмен анықталатын дайындама биіктігінің дәлдігі шамамен $0,15\text{ мм}$ болады. Екі реттік престеу мен жентектеу арқылы (екінші жентектеудің температурасы біріншіге қарағанда әлдеқайда жоғары болады) дәлдікті жоғарылатуға болады (дайындама биіктігі бойынша, мысалы $0,05\text{--}0,1\text{ мм-ге}$ дейін).

Нәтижесінде, дәлдік дәрежесі жоғары ұнтақты бөлшектер алынады. Тәжірибелік мәндерге байланысты тығыздығы және беріктігі көп болмайтын материалдар, тығыздығы жоғарыларға қарағанда жақсы калибрленеді. Тығыздығы жоғары материалдардың беріктенуі нәтижесінде (яғни, аққыштық шегінің жоғарылауында) көп жағдайда матрицаға престегенде серпімді деформация пайда болады, калибрленген бөлшек, әсіресе ұнтақты легірленген болат, шығарылғанда – серпімді әрекеттің соңы пайда болады.

Осыны болдырмас үшін термиялық өңдеу көмегімен материалдың созылмалылығын көтеру (мысалы, ферриттің

жеткілікті үлесін қамтамасыз ете отырып) немесе өлшемі бойынша аз қателіктер жібере отырып, жентектеу қажет. Қарастырылған дәл бөлшектерді алу әдісі өте қарапайым және бөлшектерге керекті пішін беру үшін аз энергия мен уақыт жұмсалады. Бірақ мұнда бөлшектердің өлшемдерін шектеумен бірге бөлшектердің конструкциялық ерекшеліктері де шектеледі.

Ұнтақтық бөлшектерді мінсіз престоу үшін прес-калыптардың конструкциясын жеңілдететін және пуансондардың сынуын болдырмайтын кейбір жалпы ережелерді сақтау керек, яғни бөлшек биіктігінің көлденең өлшеміне қатынасы $< C \cdot 2,5$ болуы қажет; бөлшек конструкциясында тік немесе қатты шығып кеткен жағалардың міндетті түрде болмағаны жөн; тесіктер дөңгелек болуы қажет; шестерндердің тістері тік болып $\sim 0,5$ модулі бойынша орналасуы керек; жинақы бұйымдарға қарағанда тістердің түбі мен жоғары жақтардың арақашықтығы әртүрлі болуы қажет: ұсақ тісті айналдырғыштар мен кескіндер жасауға мүлдем болмайды.

Ұнтақты бөлшектерді жасаудың маңызды да қиын операциясы – престелген дайындамаларды жентектеу болып табылады. Жентектеуді жүргізудің тиімді тәртібі мен жағдайларын дұрыс таңдалуына бұйымның беріктігі мен өлшемдерінің дәлдігі, сол операцияны жүргізу ұзақтығы тікелей тәуелді. Престоу кезінде түзілетін борпылдақ бөлшекаралық жанасуларды жентектеу кезінде термиялық активтендірілген процестерді қолдана отырып, беріктеу қажет. Жентектеу кезінде түйіршіктер мен кеуектердің таралуына қарай материалдың құрылымы өзгереді. Легірленген, оттегіге туындас элементтері бар материалды жентектеу үшін оттегінің төмен парциалды қысымы болатын қорғаныс газ ортасы немесе вакуум болуы қажет. Жентектеу температурасы мен ұзақтығы ұнтақтардың бөлшектері арасында жеткілікті байланыс түзілетіндей етіп таңдап алынады. Көлемдері көп азаятын престелеген дайындамаларды басынан бастап жентектеуге болмайды, себебі мұндай шөгу өлшемі дәл бұйымдарды алуға мүмкіндіктер бермейді. Осы себептен кеуектілікті екі реттік престоу мен жентектеу арқылы азайтқан жөн. Ұнтақты бөлшектерді, ашық кеуектерді балқытылған металдар мен қорытпалармен толтырып инфильтрациялауға болады; өңдеудің осы жолымен тығыз,

дисперсті қатандатылған материалдарды алуға болады. Кейбір жағдайларда газды цементация, сатылап шыңдау және жіберу, жақсы нәтижелер береді (тұзды ерітінділерін цементтеу процесі олардың кеуектерінің тұз қалдықтарымен коррозияға ұшырауына байланысты қолдануға ұсынылмайды).

Беріктікті өсіруде легірлеу айтарлықтай рөлді атқарады. Дәстүрлі металлургияда қолданылатын барлық легірлеуші элементтер ұнтақты металлургияда да қолданылады.

Қосымша өңдеулер. Ұнтақты бұйымдарға соңғы қасиеттерді беру үшін түрлі *қосымша өңдеу процестері* жүргізілуі мүмкін. Мұндай өңдеулер бірнеше операциялардан тұрады. Оның ішінде, өлшем дәлдіктеріне қойылатын талаптарға сай пішінделген бөлшектерден мұртшаларды ылғал вибрациялық шлифтеумен алу тиімді. Төмен легірленген және термиялық жолмен өңделмеген бөлшектерден қабыршақтарды түсірудің оншалықты қиындығы жоқ. Қысқа қабыршақтар беретін және кескіш аспаптарды бұзбайтын құйылған автоматты болаттар сияқты күкіртпен легірленген ұнтақты болаттар да жеңіл өңделеді. Ұнтақтық материалдардың механикалық қасиеттерін, тозуға төзімділігін және коррозияға тұрақтылығын жақсарту үшін термиялық өңдеудің маңызы өте зор. Жентектелген материалдарды құйылғандар сияқты қайраттауға болады. Көбінде тозуға төзімділікті арттыратын беттік қайраттауды көбірек қолданады. Жентектелген материалдардың біршама ұзаруы қайраттаудан кейін азаяды, сонымен беріктеу шекті мәнге жетеді. Бұл өңдеу түрі ең алдымен, өзінің тұтқырлығын жоғалатын, легірленбеген және тығыздығы аз бұйымдар үшін тиімді болады. Мысалы, динамикалық ауыртпашылық түсетін бұйымдар материалдары үшін, яғни кеуектілігі төмен құрамды материалдардың жалпы механикалық қасиеттерін көтеру үшін термиялық өңдеу орынды болады. Ұнтақты материалдарды қақтау (закалка), оның барысында құйылған болатпен салыстыруға келмейтін қасиеттерге жетпесе де тиімді болады.

Жентектелген материалдарды қайраттағанда олардың кеуектілігін, құрамның шекті өзгеруін, құрылымының сипаттамасын ескеру қажет. Оның ішінде ашық кеуектілік көміртектендіруге және жентектелген материалдардың шыңдалуына әсерін тигізеді, яғни көміртектену тереңдігі

өзгереді, жылу өткізгіштіктің төмендеуіне қарай тікелей кептіруге қажетті жоғары, шекті суыту жылдамдығына жету мүмкін болмайды. Егер ыстықтай созу, қақтау кезінде мүлдем кеуексіз ұнтақты материалдар алынса, мұндай әсерлер байқалмайды.

Шыңдау жүргізілетін ұнтақты болатқа көміртегіні графит түрінде қоспаға немесе құрамында көміртегісі бар лигатураға қосады (көміртегі негізінен материалда жентектеу процесінде ериді). Көміртектенуісіден сақтау үшін жентектеу кезінде құрғақ, құрамында көміртегісі бар қорғағыш газды қолданады. Көміртегіні өзіндік қорғағыш атмосфераны жасау немесе құрамында көміртегісі бар балқыманы қосу арқылы қосуға, сонымен бірге цементациялау процесінде қосуға болады. Көміртегіні енгізуді таңдау бөлшектердің қасиеттері мен өлшеміне, оның ішінде ең біріншісі – материалдың кеуектілігіне байланысты жүргізіледі. Жоғары кеуекті материалды газ атмосферасында көміртектендіру тиімді емес: мұндай процестің жүру тереңдігін бақылау қиын және оның нәтижесінде сынғыш бұйым алануы мүмкін. Құрамында көміртегі бар балқымаларды (тұздарды) көміртектендіру кеуктерде тұз қалдықтары қалып қоюымен қиындық тудырады. Цементтеу кезіндегі көміртектендіруде бұл кемшіліктер жойылғанымен, тағы бір қосымша өңдеу процесін жүргізу қажет болады. Құрамында қажетті көміртегі бар легірленген ұнтақтар шыңдалатын ұнтақты болатты алуға жарамсыз болып келеді.

Ұнтақты материалдарды дисперстік қатайту арқылы беріктеуді мыспен легірлеу үшін немесе ұнтақты болатты мартенситке шыңдау үшін, құрамында алюминий және мысы бар көптеген балқымаларды алу үшін қолданады. Олардың ішінде үлкен орын алатыны және көп қатаятындарға құрамында мыс пен басқа легірлеуші элементтермен бірге түрлі қатынаста болатын болат жатады. Мұндай материалдардың дисперстік қатаюы мыстың темірде еруіне тәуелді: мыстың балку температурасынан жоғары нүктеде ол 4,5 %, ал 700 °C – тек 0,35 % болып, температураның әрі қарай төмендеуімен ол да азаяды.

Мыспен легіріленген ұнтақты болаттың беріктігінің едәуір жоғарылауы дисперстік қатаю есебінен жүреді, яғни диффузиялық күйдіру, шыңдау және босатумен байланысты.

Ұнтақты темірді *цементтеумен* жүргізілетін беттік беріктеу процесімен бірге басқа да *химиялық-термиялық әдістер: азоттау, нитроцементтеу, борландыру* қолданылады, сондықтан осылардың бәрін дәл өлшемді бөлшектер жасағанда ескеру қажет. Су буымен әсерімен тотықтыру да осыған әкеледі. Бірінші кезде бұл өңдеу процесі материалды коррозиядан біршама қорғау үшін қолданылған, қазіргі кезде ол тозуға төзімділікті арттыру үшін қолданылады. *Тотықтыру әдісі*, сонымен бірге, гальваникалық жолмен жақсартудан алдын ала өңдеу үшін, оның ішінде, кеуектілігі 5–15 % болатын бөлшектерді алуға арналған.

Су буымен тотықтырудың қаттылық пен тозуға төзімділікті арттыруда маңызы зор. Ұнтақты болатты созғанда онымен бірге беріктік аз ғана өседі (10 %), ал ұзару орташа алғанда екі есе азаяды. Коррозиядан бұйымды қысқа немесе ұзақ мерзімде сақтау үшін, онымен бірге әсемдеу мақсатымен органикалық қорғаныс лағымен немесе маймен *сылау, полимерлік қаптама жасау, сіңдіру, фосфаттау, су буымен қарайту (воронение) және тотықтыру, электролиттік* немесе *газ фазасынан тұндыру* (хроммен беттік диффузиялық қанықтыру), *әсемдік металды қабықша түрінде жағу* жүргізіледі. Таза бетке сылама жасау және оның бетінде, яғни металдық сыламада жарықтар мен кеуектердің жоқ болуы ұнтақты бұйымдарды қорғауға жеткілікті болып саналады. Өртүрлі әдістермен алынған қорғау тиімділігін бұйымды ылғал ортада, жоғары температурада сақтау немесе өңделген бөлшектерді ас тұзы ерітіндісімен бүркеп тексеруге болады.

Легірленген болат. Ұнтақты технологияның негізгі операцияларын қолдана отырып, жақсы нығыздылатын, легірленбеген темір ұнтақтарынан қалдықты кеуектілігі ~ 5 %, созылғанда беріктік шегі – 300 МН/м² және ұзаруы – 25 % болатын жентектелген бөлшектерді алуға болады.

Мұндай бөлшектер тұрақты тоқ өрісінде қолданылатын магнитті-жұмсақ материалдарды алу үшін жарамды болады. Техникалық таза темірден құйылған магниттер өтімділігі мен коэрцитивті күш жағынан сәйкес ұнтақты темірден жасалған магниттерден басым келеді. Темір негізіндегі барлық басқа материалдарды қорытпа күйінде алынады.

Осындай балқымаларды алу үшін легірлеудің ерекше үш тәсілін қолданады. Біріншісі – жеке элементтердің ұнтақтары қолданыла отырып, қорытпа тотықсыздандырылып күйдіру кезінде (престеуге дейін) немесе жентектеу кезінде түзіледі. Күйдіру арқылы материалға ең жақсы қасиеттерді беруге болады.

Екінші тәсіл – темір ұнтағы және сәйкес лигатура қоспасы жасалады және ол әрі қарай жоғарыда айтылғандай, күйдіру және жентектеу процестерін жүргізу арқылы алынады.

Үшінші тәсіл – темірдің алдын ала легірленген ұнтақтары қолданылады және оларға керекті жағдайда ғана көміртегіні (графитті) қосады.

Беріктігі $<500 \text{ МН/м}^2$ болатын ұнтақты болат үшін легірлеуші металдар ретінде мыс пен никель қолданылады. Мыс пен никельдің артықшылығы олардың оксидтері жеңіл тотықсызанады, яғни жентектеуді оңай жүргізуге болады. Көміртегімен легірленген ұнтақты темірде, сәйкес қорғағыш газды қолдана отырып, көміртегінің біртекті таралуын қамтамасыз ету қажет. Қазіргі кезде құрамында $\sim 3 \%$ көміртегі болатын темірлі-көміртекті қорытпаларға темір және графиттен тұратын немесе ақ шойын жатады және оларға аса көңіл бөлініп отыр.

Көбінде легірленген болат ұнтағын темір ұнтағына $1\text{--}10 \%$ (массасы бойынша) мыс ұнтағын қоса арқылы алуға болады. Мыс – ұнтақты металлургиядағы маңызды легірлеуші элемент, бірақ құймалы болат өндірісінде екінші рөлді атқарады. Мысты қосу арқылы легірлеумен кәдімгі және ұнтақты металлургияда түрлі мақсаттарға жетуге болатындығын көруге болады.

Мыстың беріктеуші қасиеттерімен бірге, жентектеу кезінде темір торының параметрлерінің оған мыстың енген көлеміне байланысты өсуін бақылауға болады. Бұл жентектеу кезінде темірдің шөгуді орнына келтіруге және құрамында $\sim 2 \%$ Si бар ұнтақтардан бір рет жентектеу арқылы өлшемдері дәл бөлшектерді алуға мүмкіндіктер береді.

Мыстың артық үлесі қосылған жағдайда жентектелген денелердің көлемі ұлғаяды, мысалы мыстың үлесі $8\text{--}10 \%$ болғанда темір ұнтақтарының бөлшектері максималды ұлғаяды. Егер жентектеу температурасы мыстың балку температурасынан көп болса, онда сұйық фаза түзіледі және темір мыстан бөлініп,

көлемнің шөгуі байқалады. Жалпы басқа да қоспаларды пайдалана отырып, процестің бағытына әсер етуге болады, мысалы, көміртегіні енгізу жалпы шөгуге мүмкіндік береді, ал никель мен вольфрам тотығының шөгуі – мыстың темірде шөгуін шектеп, жалпы көлемнің ұлғаюын төмендетеді. Осылайша, әртүрлі қоспаларды қосу арқылы өлшемдері сақталатын, беріктігі жоғары ұнтақты қорытпалар мен бөлшектерді алуға болады

Легірлеуші элементтерді үнемдеу және технологиялық операцияларды қысқарту мақсаты – легірлеу техникасында жаңалықтарды ашуға себеп болды. Осының жемісі – ұнтақты металлургиядағы меңгерілген әдістер және жетілдірілген технологиялар (төмен температура мен жентектеу ұзақтығының аз болуы, энергияның үнемделуі) арқылы бағаланады. Сонымен бірге, бөлшек өлшемдерінің тұрақтылығын, қайталанатындығын және өте аз шөгуін ескере кеткен жөн. Ұнтақты темірді фофор, кремний, марганец, хром, ванадий, титан, молибден, қалайы элементтерінің ұнтақтарымен тікелей ұнтақ күйінде араластырумен немесе металл аралық фазалармен немесе темір негізді қосылыстарының лигатурасымен легірлеуге болады. Жалпы зерттеуге келесідей талаптар қойылады: көптеген құрамдарда созғанда беріктік шегі (бір рет престегенде және жентектегенде) 700 МН/м^2 сақталуы қажет; легірлеуші элементтердің үлесі $< 5 \%$ болуы тиіс, сонымен бірге жентектеу температурасы мен ұзақтығы көп болмауы қажет. Осыдан басқа, қорытпалардың көбі жентектегенде өлшемдерін өзгертеді, ол прециоздық бұйымдарды дайындау мүмкіндігіне әсер етеді.

Кәдімгі жағдайлармен салыстырғанда $900 \text{ }^\circ\text{C}$ температурасында 30 мин жентектегеннен кейін 4% легірлеуші элементтері (Cu:Sn = 15:2) бар ұнтақты қорытпаның созу кезіндегі беріктік шегі 270 МН/м^2 жетеді, ал $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ температурасында – 300 МН/м^2 . Осы жағдайларда өңделген және легірленбеген ұнтақты темірдің беріктігімен салыстырғанда созылмалдылық жақсармағанмен беріктіктің өсуі кем дегенде 54% -ды, ал тек қана мыспен легірленген ұнтақты болаттың беріктігінің өсуі 25% құрады. Мыс-қалайылы ұнтақты болаттың артықшылығы ретінде өлшемдері бойынша дәл бөлшектерді алу мүмкіндігі және жентектеуге кететін шығынның аз болуы (энергия шығынының аз болуы, пештердің жұмыс істеу ұзақтығы).

Осы қорытпаларға көміртегіні қосып, созғанда беріктік шегін 400 МН/м²-ге дейін көтеруге болады. Ұнтақты құрамда қалайының қалуы үшін жентектеуде таза қорғаныс газын қолдану қажет. Қорғаныс газының құрамында сутегі $\geq 75\%$ (көлемдік) көп болып, кату нүктесі -35°C төмен болуы керек.

Легірлеуші ретінде металл емес элементтердің ішінде тек қана фосфор қолданылады. Қара металлургияда ол керексіз элемент деп саналады, себебі ол ликвациялану қасиетін жоғарылатып, сынғыш фосфидтердің түзілуін тездетеді. Тұтқырлық жағынан фосфордың үлесін ұнтақтық болатта 0,3–0,5 % асырмайды.

5.6. Жоғарытемпературалық материалдар

Қиын балкитын металдар: вольфрам, молибден, тантал, ниобий және олардың балқымалары ұнтақты металлургияда кеңінен қолданылады. Оған себеп – өндірістің дамып жатқан салаларында электротехникада, вакуумды техникада және электроникада осы қиын балкитын металдар мен олардың балқымаларына деген сұраныстардың өсуі. Сондай-ақ бұрынғы кезде бұл металдарды балқыту пештерінде алу мүмкін емес немесе өте қиын болып келеді. Өте қуатты вакуумды электр доғалы және электронды сәулелі пештердің дамуы осы күнге дейін тек қана молибденді балқытып алуға мүмкіндік берді. Металдарды өте таза күйінде алу үшін арнайы балқыту тәсілдерін жүргізу қажет. Дегенмен, арнайы балқыту тәсілдері арнайы технологияны жасауға және қондырғыларға кететін көп көлемдегі шығынды қажет етеді. Сондықтан, осы металдардың көп көлемін өндіру үшін *ұнтақты металлургияның* тәсілі арзанырақ болып табылады.

Вольфрам мен молибден – периодтық кестенің VI қосымша тобының элементтері, олардың физика-механикалық және химиялық қасиеттері өте жақын. Сыртқы түрі бойынша олар болатқа өте ұқсас, механикалық қасиеттері негізінен химиялық тазалықтарына, алдын ала термиялық және механикалық өңдеу түрлеріне тәуелді.

Металдардың балқу температуралары өте жоғары, 2000 °C температурасының өзінде-ақ бу қысымдары төмен, температуралық сызықты кеңею коэффициенттері аз. Ауада екі металл да тұрақты, бірақ 400–500 °C тотыға бастайды, 600–700 °C су буы металдарды тотықтырады.

Құйылған бөлшектер суыған кезде ірі түйіршікті құрылым түзіледі және ол бұйымның тұтқырлығы мен басқа қасиеттеріне кері әсер етеді. Осы себептерге байланысты құйылған бөлшектерді әрі қарай ұсату үшін алдын ала деформациялайды және қайта кристалдандырады (ұнтақты металлургия әдісімен алынған пішінді бөлшектер ұсақ түйіршікті болады). Мысалы, молибденнен құймалар алу үшін майлағыш түрінде шыны қолданылып, ыстық экструзия қолданылады.

Вольфрамнан құймаларды алу үшін жоғары жылдамдықты ыстық престоу әдісі қолданылады. Ал, ұнтақты металлургия әдісімен алынған пішінді бөлшектер басынан бастап-ақ ұсақ құрылымды болып, оны әрі қарай өңдеу оңай болады және ол бұйымның тығыздығын, беріктігін жоғарылатады. Ұнтақты металлургия әдісін қолдану экономикалық жағынан тиімді болуымен қатар, жартылай өнімнің тұтқырлығының жоғары болуын қаматамасыз етеді, осыдан оны вольфрам, молибден және танталдан жасалатын ленталар, сымдар және профильдер өндірісінде кеңінен қолданады.

Аталған металдардың тұтқырлығына және механикалық көрсеткіштеріне металдардың құрамындағы кристалдық торында еріген сутегі, оттегі, азот және көміртегі әсер етеді. Металдардың құрамында көп мөлшерде сутегі, оттегі, азот және көміртегінің көп болуы оксидтер, карбидтер және нитридтер түріндегі қосылыстардың түзілуіне әкеледі.

Электр доғалық және электронды-сәулелі пештерде қорыту үшін металл престелген ұнтақ немесе жентектелген балқымалық электрод күйінде әкелінеді. Вольфрам және молибден ұнтақтары олардың оксидтерін сутегімен тотықсыздандыру жолымен ғана алынады. Нәзік тазалығы өте жоғары вольфрам ұнтақтарын алу вольфрамның гексафторидін сутегімен тотықсыздандыру арқылы іске асырылады. Ниобий және тантал (элементтердің периодтық жүйесінің Va тобының элементтері) сияқты химиялық аналогтарының азотқа және сутегіге жақын болғандықтан, олар

гидрид түзетіндіктен сутегімен тотықсыздандырумен алынбайды. Мұндай металдардың ұнтақтарын қосылыстардан басқа металдармен тотықсыздандыру арқылы алады. Танталдың ұнтағын балқыманы электролиздеу арқылы алады.

Арнайы қасиеттері бар материалдарды алу жолында металл ұнтақтары механикалық немесе гидравликалық престерде арнайы күрделі конструкциялы пресс-калыптарда престеледі. Алынатын бұйымның түріне қарай 0,3–0,8 МН/м² престоу қысымы қолданылады. Жентектелген металдарға бірқатар легірлеуші элементтерді қосады. Қиын балқитын металдардың механикалық, физикалық және химиялық қасиеттері электротехникада, реакторлар құрылысында, химиялық өнеркәсіпте, авиация мен космонавтикада қолдау тапты.

Жартылай фабрикаттар мен бұйымдардың өндірісі.

Вольфрам, молибден және тантал ұнтақтарын, созылмалы жартылай өнімдер және олардан әрі қарай бөлшектерді алу дәстүрлі престоу, пісіру, ыстық және суық деформациялау әдістері қолданылады. Жартылай өнімнің таза технологиялық құрамын барлық сатыларда қамтамасыз ету үшін, бастапқы ұнтақтардың химиялық таза және бөлшектердің тиімді өлшемде болуын қамтамасыз ету керек. Әсіресе мұндай талаптар молибден және вольфрам ұнтақтарына қойылады. Ұнтақ бөлшектерінің бастапқы өлшемдері кристалдау және тұндыру процестерін, сутегімен тотықсыздандыру, тотықсыздандыру газының жылдамдығын бақылау жағдайларына байланысты.

Жартылай фабрикаттарды жасағанда өлшемі 2–10 мкм вольфрам және молибден ұнтақтары қолданылады. Танталдың басқа жолмен алынған ұнтағының мөлшері 100 мкм-ге дейін жетеді, өйткені тантал жақсы деформацияланады. Сілтілік металдармен тотықсыздандырылып алынған танталдың ұнтағы ұсақ және кеуекті, ал электролиз жолымен алынған ұнтақ – ірі және тығыз болып келеді.

Жіптер мен пішінделген бөлшектер жасау үшін ұнтақтар болатты пресс-калыптарға салынып, гидравликалық престермен нығыздалады. Вольфрам ұнтағы қиын нығыздалатын болғандықтан престоуді жеңілдету үшін оны қоспалармен (стеараттармен немесе бензинде еріген парафинмен) араластырады.

Молибден және тантал ұнтақтарын қоспасыз престейді, бірақ қажет болған жағдайда пластификаторлар қолданылады. Вольфрамды $40\text{--}60\text{ кН/см}^2$, ұсақ тантал мен молибденді $20\text{--}30\text{ кН/см}$, ал ірі электролизбен алынған танталдың ұнтағын 80 кН/см^2 -ге дейін күшті қолданып престейді. Жарықшақтар пайда болмас үшін престоу қысымын максимумға жеткізіп, содан соң жайлап түсіреді.

Вольфрам, молибден және тантал ұнтақтарынан престелген дайындамалар, сонымен қатар арнайы қорытпаларды алуда қолданылатын осы металдар негізіндегі легірленген ұнтақтар олардан тікелей электр тоғын өткізу (Кулиджа әдісі) арқылы тікелей қыздырумен немесе жоғарытемпературалық пештерде жанама қыздыру арықылы жентектеледі.

Вольфрам тек қана Кулиджа әдісімен қыздырылады, ол бойынша алдын ала престелген (қимасы төрт бұрышты немесе квадратты), жентектелген ұзын дайындамалар арқылы электр тоғын өткізу арқылы тиісті температураға дейін жентектейді. Бұл әдіс өлшемі ншалықты үлкен емес бұйымдарға арналған (массасы 10 кг , қимасының ауданы – 50 см^2), үлкен өлшемділер – жанама қыздыру арқылы жентектеледі. Соңғы әдіс бірінші әдіспен салыстырғанда температураның престома бойында біртекті таралуын қамтамасыз етеді, осыдан құрылымы біртекті болатын өнімдерді алуға мүмкіндік береді, бірақ электр энергиясының көп мөлшерін қажет етеді және тікелей қыздырумен салыстырғанда шығынды әдіс болып табылады. Жанама қыздыру әдісі негізінен күрделі пішінді немесе өте үлкен өлшемді бұйымдарды алуда тиімді.

Тікелей қыздыру әдісімен престомені жентектегенде кейбір жағдайда рекристаллизация, содан кейін металдың балқуы да байқалады. Осыдан бұйымда кеуектер пайда болады, бұл құрылымның біртекті болуына әкелмейді. Осы себепке байланысты көбінде тікелей қыздыруға қимасының өлшемі үлкен емес престомаелер жіберіледі.

Вольфрам дайындамалары әдетте алыдмен $400\text{--}1400\text{ }^\circ\text{C}$ өтпелі пештерде сутегі атмосферасында алдын ала жентектеледі. Бұл кезде тазару (рафинилеу) процесі де қоса жүреді. Жентектеуден кейінгі вольфрамның тығыздығы – $10\text{--}13\text{ г/см}^3$.

Вольфрам дайындамалары 2800–3100 °С, ал молибден дайындамалары 2200 °С температурасында жентектеледі. Жентектеу атмосферасы ретінде шығыны 3–5 л/сағ сутегіні қолданады. Жентектеуде электр тізбегін үзетіндей болып үлгілер қатты шөгеді (вольфрамда – 16–18 %). Материалдың нығыздалу дәрежесі өскен сайын оның электрлік кедергісі төмендейді, материал жентектеу кезінде қатты қызатын болғандықтан, құрылым өзгермес үшін тоқтың күшін қадағалап отырған дұрыс. Жентектеудің үдеуі түйіршіктердің үлкеюімен жүреді, оны тоқтату үшін жентектеу уақытын азайту керек. Сонымен бірге түйіршіктің үлкеюін тоқтату үшін вольфрам ұнтағына 0,03–1,5 % (ThO_2 , Al_2O_3 , CaO , SiO_2) оксидтерді және сілтілік металдардың силикаттарын қосу қажет. Бұл компоненттер ірі түйіршіктердің пайда болуын тоқтатып қана қоймай, жоғары температураны қолдануды тежеп отырады. Компоненттердің көбі жентектеу кезінде ұшып шығып, тек қана аз ғана бөлігі қорытпаның құрамында қалады, солардың көмегімен рекристаллизация процесі тоқтайды.

Жентектелген бұйымдарды қосымша өңдеу.

Танталдан жентектелген материал бөлмелік температураның өзінде созылмалы болып, суықтай прокаттауға, айналдыруға, қақтауға икемді болады. Бұл құбылыс құрамдағы сынғыш қасиетті беретін Н, О, N и С элементтерінің жентектеу кезінде немесе бастапқы материалда жоюылуына байланысты. Екі рет жентектелген танталды өте жұқа 0,01 мм-ге дейінгі аралық күйдіріусіз ленталар алу үшін өте ыңғайлы. Бір рет жентектелген металды 50 %-ға дейін деформациялағаннан кейін оның бойында беріктік пайда болады. Сондықтан, суықтай деформациялау үшін вакуумда 1200–1450 °С температурасында аралық жентектеу процесін жүргізу қажет. Тантал өткізгішін созу үшін бұйым бетінде кемістіктер пайда болады, сондықтан оны 1 % – күкірт қышқылында анодтайды. 2–4 рет созудан өткеннен кейін анодтауды қайталайды.

Бөлмелік температурада вольфрам және молибденнің сынғыш үлгілері 1300 °С температурасында созылмалы болып келеді, сондықтан, оларды қақтауға, прокаттауға болады. Мысалы, вольфрам сымын алу үшін алдын ала 1400–1600 °С

температурасына дейін қыздырылған вольфрамның дайындамасы ротациялық-соққылық машинасында өңделіп, нығыздалады. Жартылай өнімнің талшықты құрылымы кристалдануға бейімді болады. Түйіршіктің үлкеюін тоқтату үшін алдын ала вольфрамдық ұнтақтарға қосымша заттар (присадкалар) қосады. Қызу лампаларының спиральдарын жасауға арналған вольфрам сымының (жұмыс температурасы 3000 °С болатын) құрамындағы арнайы қосымша заттар жаңа, кристаллиттердің орналасу тәртібін сақтай отырып, құрылымның пайда болуын басқаруы керек.

Қақтау, соққылау, созу және прокаттау арқылы вольфрамдық сымдар, таяқшалар, пластиналар, штифтер, қаңылтырлар алуға болады. Дайындамаларды өлшенген бөліктерге карборундты дискімен немесе арнайы пышақтармен кеседі. Оларды әрі қарай өңдеу жоғары температураларда 600 °С-дейін қыздырылған аспаптармен жүргізіледі.

Қиын балқитын металдарды қолдану.

Ұнтақты металлургия әдісі арқылы алынған вольфрамды, молибденді және тантал құрамды материалды немесе бөлшектерді негізінен электротехникада, электроникада және жоғары температуралы вакуумды техникада кеңінен қолданады. Танталдың жоғары төзімділік қасиетіне байланысты, оны химия саласында қолданады.

Ауыр балқымалар.

Ауыр балқымаларға вольфрам негізіндегі тотықты композициялық материалдар жатады. Олар тығыздығы және механикалық қасиеттерінің өте жоғары болуымен ерекшеленеді. Ауыр балқымалардың тығыздығы құрамына байланысты. Көбінде ондағы W үлесі 90 % дейін болады. Бұл материалдарда байланыстырғыш ретінде Ni – Cu, Ni – Fe немесе Ni – Fe – Cu қолданылады.

Бұл ұсақ вольфрамды бұйымды сіңіреді немесе сұйық фазамен бірге пісіру арқылы жасалады. Сіңіру үшін төменгі бастапқы ұнтақтың 10 %-ын құрайды. Ауыр металдардың өте жоғары тығыздығын алу үшін ең жақсы тәсіл ол сұйық фазамен бірге пісіру. Бұл жағдайда металл ұнтағын механикалық араластыру арқылы алмай, химиялық компоненттің тұнбаға пісіру арқылы алынады. Мұнда вольфрам қышқылының

ангидридi, нитраттарды немесе сульфаттарды Cu, Ni және Fe сiңiрiп, ауада ыдырап, сутегiде түзiледi. Осындай тәсiлмен бұйымның гомогендi компоненттер бұйымның көлемiне тең тарайды. Легiрленген ұнтақ жақсы пiседi. Ұнтақты $p = 20 \text{ кН/см}$ престейдi және гидростатикалық престоу арқылы тығыздайды.

Ауыр балқымалардың механикалық қасиетi пiсiру шартына байланысты бiрқалыпты пiсiру үшiн және оптималды сұйық фаза түзiлу үшiн үздіксіз изотермиялық тәртiппен қыздыру керек. Жоғары температура мен сол температурада ұстау ұзақтығы ауыр балқымалардың құрамының түзiлуiне себеп болады және максималды тығыздыққа ие болуды қамтамасыз етедi. Бұл мына жағдаймен түсiндiрiледi: қатты фазаны сұйық фаза сулайды және пiсiру процесiнде ерiтiндiде материалдардың араласуы қамтамасыз етiлiп, тұнбаға түседi. Вольфрам сұйық фазада темір және никель болғанда ғана еридi. Ерiтiндiде мыстың болуы балку температурасын төмендетедi. Пiсiрудi 1400°C температурасында жүргізедi. Ерiгенде және тұнбаға түскен кезде қалған ұнтақтар жоғалады, пiсiрiлiп жатқан бұйым тығыздалып, дөңгелек пішінге ие болып, вольфрамның ұнтақтары өседi.

Пiсiрiлген бұйымды суытқанда Ni_4W фазасы түзiледi, бұл ауыр балқыманың созылғыштығын аз мөлшерде төмендетедi. Бұл негiзiнен Ni-Cu қосылған ауыр балқымаларда болады. Осыдан, температуралардың шектi аралығында оларды мүмкiндiгiнше тез суыту керек. Ауыр балқыманың құрамында Fe және Ni болса Ni_4W түзiлмейдi. Ni және Fe байланысы бар ауыр металдың механикалық қасиетi өте жоғары болады. Бұл жағдайда Co құрамда болған жақсы. Ni:Co:Fe әсiресе 5:3:2 қатынасында болса балқыманың қаттылығын және берiктiгiн жақсартады, бiрақ аз мөлшерде металдың созылғыштығын төмендетедi. W-Ni-Fe-Cu негiздi ауыр балқымалардың тығыздығы өте жоғары, $17,6\text{--}17,8 \text{ кг/см}^3$, қаттылығы 250-320 HB, ал берiктiк шегi 500 МН/м .

5.7. Қатты қорытпалар және аса қатты материалдар

Аспап жасалатын ұнтақты қатты қорытпаларды техниканың бiрқатар облысында қолданудың маңызы өте зор. Металдарды кесiп өңдеу үшiн мұндай қорытпаларды қолдану металлургияда нағыз революция жасады. Қатты қорытпалардың көмегiмен кесу

жылдамдығы басқа әдістермен салыстырылғанда, мысалы, тез кесетін болатпен салыстырғанда, бірнеше есе арттырылды, сонымен қоса еңбек өнімділігі көбейді. Сонымен бірге қатты қорытпалар станоктарда қатты және абразивті металл емес бұйымдарды (шыны, фосфор, т.б.) өндеуге мүмкіндік берді. Металл өткізгіштерін жасау үшін қатты қорытпаларды пайдаланудың тиімділігі өте зор. Себебі, қатты қорытпадан жасалған тесіктерден бір қаттылық периодынан өткізілген өткізгіштердің мөлшері болат тесіктерден өткізілгендермен салыстырғанда мың есеге көп.

Қатты қорытпалар өндірісінің аяққа тұруы ТМД өңірінде 1920 жылдарының соңы мен 1930 жылдарының басына сәйкес келеді, яғни қиын балкитын металдар – вольфрам, молибден, тантал, ниобийдің өндірістерінің дамуымен тікелей байланысты болды. Бұл жағдайдың пайда болуына қатты қорытпалардың негізгі компоненті – вольфрамды өндірудің технологиясын әзірлеу мен жетілдіру себеп болды. 1923–1925 жж. аралығында вольфрам ұнтақты металлургиясының негізгі процестері, яғни ұнтақты престоу, жентектеу, пісіру, дайындамаларды қақтау және вольфрамды жіпке айналдыру процестері әзірленді.

Одан кейін ұнтақтарды престоу үшін қоспаларды дайындау және престоу процесінің өзіне бірқатар өзгерістер енгізілді. Престоу процесін жеңілдету үшін, сонымен бірге өте берік бұйымдарды алу үшін пластификатор – синтезделген каучук бензинде (резіңкелі желім сияқты) ерітілген күйінде қоспаға енгізілді. 1933–1934 ж.ж. вольфрам және кобальт карбидтерінің ұнтақтарын алудың жаңа технологиялық әдісі, яғни шарлы диірмендерде ұсақтап араластыру тәсілінің орнына ұсынылды. Бұл әдіс кобальтты оның аммиакты кешенді тұзды ерітіндісінен мырыш шаңымен карбид ұнтағы қатысында пульпаны үздіксіз араластырып тұндыруға негізделді. Реакция нәтижесінде екі компоненттің тығыз қоспасы алынып, ірі шарлы диірменде аз ғана ұсатылып, престелді. Алынған өнімнің өнімділігі артып, сапасы көтерілді. Қоспада кобальттың біркелкі таралуы қорытпадағы оның жалпы үлесін 8 %-ға дейін төмендетуге мүмкіндік беріп, беріктікпен қатар тозуға шыдамдылығын арттырды. 1923–1925 жж. ол әдіс РЭ4 деп аталып, қорытпа РЭ8 маркасымен белгіленді (8-қорытпадағы кобальттың %-бен

алынған үлесі). РЭ әдісімен балқымалар 1948 жылға дейін әзірленді. Қазіргі кезде зерттеуші-ғалымдардың бар зейіні қаттылығы өте жоғары, ауыр жұмыс жағдайына шыдайтын вольфрамсыз қатты қорытпаларды ойлап табуға бағытталған. Қатты қорытпалардың болашағы техниканың дамуына тікелей байланысты болып отыр.

Қатты қорытпалар. Қатты қорытпалар деп негізі қиын балқитын металдардың (вольфрам, титан, ванадий, ниобий және де басқа карбид түзуші материалдар) карбидтері болып табылатын құйылған немесе жентектелген материалдарды айтамыз. Жентектелген бұйымдардың қасиеттері негізінен бір немесе бірнеше карбид түзуші металдар және байланыстырушы-цементтеуші металл карбидтеріне, карбидті ұнтақтардың бастапқы бөлшектерінің дисперстілігіне байланысты болады.

Жентектелген бұйымдардың қасиеттері негізінен қиын балқитын карбидтерге, бір- немесе бірнеше карбид түзуші металдарға, цементтеуші тұтқыр байланыстырушы-металл карбидіне, бастапқы карбид бөлшектерінің дисперстілігіне тәуелді болады.

Байланыстырушы материалдар жентектеу кезінде сұйық фаза түзіп, қатты бөлшектерге жұғысуы қажет; карбидтердің бір бөлігін ерітіп, механикалық қасиеті төмен негізі карбид болатын қатты фаза түзбеуі керек, жентектеу кезінде түзілетін жұқа қабат тұтқыр әрі жеткілікті түрде берік, карбидті бөлшектермен берілетін кернеуге төзетіндей болуы қажет.

Қатты қорытпалар химиялық құрамы бойынша келесідей сыныпталады:

- вольфрамкобальтты қатты қорытпалар (ВК);
- титанвольфрамкобальтты қатты қорытпалар (ТК);
- титантанталвольфрамкобальтты қатты қорытпалар (ТТК).

Қатты қорытпалар тағайындалуы бойынша келесідей жіктеледі:

- Р - өңдеу кезінде жоңқалар пайда болатын болат құймалар мен материалдарға арналғандар;
- М - қиын өңделетін материалдарды өңдеуге арналғандар (әдетте тоттанбайтын болат);
- К - шойындарды өңдеуге арналғандар;

– N - алюминийді, сонымен қатар басқа түсті металдар мен олардың негізіндегі қорытпаларды өндеуге арналғандар;

– S - ыстыққа төзімді және титан негізіндегі қорытпаларды өндеуге арналғандар;

– H - қақталған болатты кесуге арналғандар.

Қолданылу мақсатына қарай қатты қорытпалардан жасалған бұйымдардың бастапқы материалдары ретінде: ВК-текті қатты қорытпа негізіндегі бұйымдар үшін вольфрамның монокарбиді және металдық кобальт, ал ТК, ТТК және т.б.-текті қорытпа үшін – күрделі карбидтер ұнтақтары мен металдық кобальт болып табылады. Байланыстырушы металл ретінде көбінде вольфрам карбидінің бір бөлігін ерітіп, өзінің карбидін түзбейтін және қатты қорытпаның жоғары беріктігі мен соққылық тұтқырлығын қамтамасыз ететін кобальт пайдаланылады.

Қатты қорытпалық бұйымдарды жасау технологиясы басқа материалдармен салыстырғанда қарапайым және келесі сатылардан тұрады:

- 1) карбидтер мен байланыстырушыны ұнтақ түрінде алу;
- 2) ұнтақтарды белгілі бір қатынаспен араластыру;
- 3) престеу және
- 4) жентектеу.

Алдын ала жентектеу кезінде пластификатор жойылып, дайындамалар соншалықты қатты беріктеледі, содан кейін оларды механикалық жолмен өндеуге, ұзақ сақтауға, тасымалдауға болады. Қатты қорытпалық бұйымдарды жасаудағы ыстық престеу ұсатқыш шарларды, сүзгілерлерді, айналдырғыш матрицаларды, т.б. дайындағанда қолданылады.

Кескіш аспаптарды дайындауға қолданылатын қатты қорытпалар құрылымы және қасиеттері бойынша екі топқа бөлінеді:

1-топ: ұсақ сынықтар беретін материалдарды өндеуге арналған (шойын, шыны, фарфор, т.б.) вольфрамкобальтті, құрамында басқа карбидтер қоспасы болатын вольфрамкобальт қорытпалары жатады. Осы топтың қорытпасынан аса қатты тозатын бөлшектер мен кескіш бұйымдар жасайды (фильерлер, матрицалар және т.б.).

2-топ: созылмалы сынықтар беретін материалдарды, мысалы болатты, өңдейтін көпкомпонентті қатты қорытпалар жатады. Олардың құрылымы негізінен екіфазалы, яғни вольфрам карбиді кристалы мен кобальт негізіндегі вольфрамның және көміртегінің аз мөлшерлерінің қатты ерітіндісі болатындай карбидті түйіршіктер арасындағы байланыстырушы фазаның қабаттық аудандарынан тұрады. ВК қорытпасындағы түйіршіктер өлшемі олардың атқаратын рөліне қарай 15–20, сирек түрде 250 мкм шектерінде жатады, ал байланыстырушы қабаттың қалыңдығы – 1–2 ден 5–10 мкм-ге дейін жетеді.

ВК қорытпасының қасиеттеріне кобальттің үлесінің әсері өте күшті, оның өсуімен қорытпаның беріктігі мен соққылық тұтқырлығы көбейеді, ал қаттылығы төмендейді. Қорытпаның механикалық қасиеттері түйіршіктердің өлшемдеріне байланысты: қорытпа ұсақ түйіршікті болған сайын оның беріктігі, қаттылығы, тозуға шыдамдылығы артады.

Қатты қорытпадан жасалған аспаптардың механикалық және пайдаланушылық қасиеттері карбидтердің бөлшектерінің өлшеміне байланысты. Қорытпаның карбидті фазасының түйіршіктерін сипаттау кезінде ірі түйіршікті құрылымын сипаттау үшін марканың соңына В әрпін (ВК, В), ал ұсақ түйіршіктіге – М (ВК, М) әрпін қосады.

Қатты қорытпалардың маңызды сипаттамасы болып олардың төзімділігі табылады. Қорытпа құрамында карбидтердің үлесінің жоғары болуы мен кобальттің аз болуы тозуға төзімділік пен қаттылықты арттырады, бірақ тұтқырлық пен беріктікті төмендетіп, сынғыштықты жоғарылатады. ВК-текті қорытпаларында 0,5 ТаС қоспасы болатын ұсақ түйіршікті вольфрам карбидін қолданғанда максималды тозуға төзімділік пен жоғары қаттылыққа жетуге болады.

ВК-текті қорытпаларының негізгі кемшілігі – тозуға төзімділігінің шамалы төмен және өңделетін материалға жабысуы болып табылады. ВК қорытпаларына $\text{TiC} - \text{WC}$, $\text{WC} - \text{TaC} (\text{NbC})$, WC-TiC-TaC/NbC түрлі күрделі карбидтерді және күшті карбид түзуші металдарды қосу олардың тотығуға қарсы тұрақтылығын жақсартып, қаттылығын, ыстыққа төзімділігін жоғарылатып, жабысқақтықты, т.б. төмендетеді.

WC–TiC–TaC–Co (ТТ7К12 текті) төрткомпонентті қатты қорытпалардың тұтқырлығы өте жоғары болып, кескенде ВК және WC–TaC–Co қорытпаларынан да жоғары тұрақтылық көрсетеді. Күрделі карбидтері бар қатты қорытпалардың кемшілігі – олардың төмен жылуөткізгіштігі.

Вольфрам негізді қатты қорытпалар көптеген өндіріс салаларында түрлі мақсаттарға арналған аспаптарды жасауға қолданылады. Металдарды өңдейтін өндірістерде оларды тесуге, егеуге, фрезерлеуге, жонуға, өте жоғары тозуға төзімділігі болатын аспаптар мен бөлшектер, мысалы фильерлер, штамтар, матрицалар, қатты тозатын машина мен қондырғылардың, бақылау-өлшеу аспаптардың бөлшектерін, тау-кен өндірісінің аспаптарын жасауға кеңінен қолданады.

Аса қатты материалдар.

Аса қатты материалдар (АҚМ) тобына микроқаттылығы 19,0 ГПа-дан жоғары болатын түрлі элементтер мен материалдардың қосылыстары жатады. Табиғатта бір ғана АҚМ белгілі, ол – алмас, осындай материалдардың тобы оларды синтездеу жолымен толықтырылады. Аса қатты материалдар тобына бор, алюминий, кремнийдің көміртегімен және азотпен қиын балқитын қосылыстарын да жатқызуға болады. Кеңінен қолданылатын аса қатты материалдар: электрокорунд, цирконий оксиді, кремний карбиді, бор карбиді, боразон, алмас.

Соңғы жылдары заманауи өнеркәсіптердің назары жаңа текті аса қатты материалдарды әзірлеуге және оларды, көміртегі нитридi, бор-көміртегі-кремний, кремний нитридi, титан карбиді – скандий карбиді қорытпасы, титан топшасындағылардың боридтері мен карбидтерінің лантаноидтардың карбидтері мен боридтерімен қорытпасы сияқты материалдарды ассимиляциялау. Ал фуллерендер негізіндегі аса қатты материалдарды жасау және өндіру технологиясы келесідей негізгі бағыттарды қамтиды:

- 1) бастапқы фуллерендерді синтездеу;
- 2) жоғары гидростатикалық қысымдарды жасауға арналған аппараттар мен престеу жабдықтарын жасау;
- 3) аса қатты және ультрақатты материалдарды синтездеу жағдайларын анықтау және оларды жетілдіру;
- 4) алу жағдайларына байланысты синтезделетін материалдардың физика-механикалық және химиялық қасиеттерін зерттеу;

5) жаңа материалдардың пайдаланушылық сипаттамаларын және оларды тиімді пайдалану облыстарын анықтау;

6) фуллерендерден аса қатты және ультра қатты материалдардың тәжірибелік-өндірістік және сериялық өндірістерін ұйымдастыру.

Фуллерендер негізінде материалдарды синтездеу технологиясын әзірлеу ультрақатты материалдардың жаңа түрлерін жасауға мүмкіндік береді. Ол табиғи алмастың қаттылығынан да жоғары қатты болатын көміртекті материалдарды алуды; қазіргі кездегі жабдықтарды ультрақатты материалдарды синтездеуге қолданылуын қамтамасыз етеді.

Табиғи алмас – көміртегіден тұратын минерал. Табиғатта пішіні әртүрлі кристалдар түрінде, 0,005-тен бірнеше каратқа (бір карат 0,2 г тең) дейінгі салмақпен кездеседі. Алмас ең қатты материал болып табылады.

Жоғары қаттылық алмаздың қатты металдар мен металл еместердің беткі қабаттарын жоғары кесу қасиетін қамтамасыз етеді. Алмастың ең негізгі кемшілігінің бірі – температуралық тұрақтылығының төмен болуы. Бұл жоғары температураларда – 800 °C алмастың графитке айналуын білдіреді.

Жасанды (синтетикалық) алмазды жоғары қысым мен температурада графиттен алады. Олардың қасиеттері табиғи алмаздың қасиеттерімен бірдей.

Өндірісте көптеп қолданылатын ұнтақты жасанды алмас алу әдісі ұнтақтық гафит пен металл қоспасын 4–6 ГПа-ға дейін тұрақты қысымда қысып, әрі қарай 1400 К-ге дейін қыздыру сатыларынан тұрады. Графит балқымада ериді де, одан кейін алмас кристалданады. Тазалап және оларды топтарға бөлгеннен кейін әртүрлі маркалы ұнтақтар алады.

Моно- және поликристалды аса қатты материалдарды, сонымен бірге композициялық материалдарды алу процестеріне ұнтақтық металлургияның негізгі процестері тән:

- пресеу,
- физика-химиялық өзара әрекеттесу мен фазалық айналымдарды активтендіру үшін термиялық әсер ету.

Осы процестермен қатар, аса қатты материалдардың (АҚМ) бастапқы қоспаларын дайындау үшін және АҚМ синтездеу үшін және синтезделген өнімдерді өңдеу үшін ұнтақты металлургияның сатылары қолданылады.

Дегенмен, алмасты, бордың кубты нитридін, т.б. АҚМ, сонымен қатар солардың негізіндегі композиттерді синтездеудің маңызды ерекшеліктері бар. Оларды алу үшін негізгі технологиялық параметрлердің тек қана жоғары мәндері қолданылады, атап шыққанда қысым – 10 ГПа-ға дейін және температура – 2300 К-ге дейін. Басқаша айтқанда АҚМ синтездеу – экстремалды параметрлердің технологиясы.

Графиттен жоғары тұрақты температура мен қысымда алмасты синтездеу әдісі осы ғана емес. Алмастарды көміртегіге динамикалық түрде ауыртпашылық түсіріп (жарылыс технологиясы), тікелей фазалық өзгерістерге түсіру арқылы алуға болады, сонымен бірге қысым бір атмосфера және одан да төмен болғанда көміртегі атомдарын бағыттап «аялдамаларда» алмас кристалдарын өсіреді. Алмас тәріздес қабықшаларды құрамында көміртегі бар плазма шоғырымен қозғалмайтын бұйымдарға – нысанаға әсер етумен де алуға болады. Графитті блоктарға лазерлік сәулелермен әсер еткенде алмас кристалдары түзілуі мүмкін.

Алмас пен басқа АҚМ-дың ерекше физика-химиялық қасиеттерінің жиынтығы кристалдық тордағы атомдардың бағытталған коваленттік байланысымен анықталады. Сонымен бірге олардың қасиеттері валенттік электрондардың барынша үлкен аралықта орналасуымен және субатомдық деңгейде энергетикалық жағынан ең тұрақты электрондық конфигурацияның түзілуімен түсіндіріледі.

Ең жоғары микроқаттылық ($9,8 \cdot 10^{10}$ Н/м³) алмаста, сондықтан оны басқа жоғары қатты материалдарды өндеуге көптеп қолданады. Алмас түйіршіктерінің жоғары қаттылығы олардың ерекше қырғыштық қасиеттерін анықтайды.

Алмасты қолданғанда оның қасиеттерінің (жоғары жылу өткізгіштігі және серпімділік модулі, жылу сыйымдылығының төмен болуы, сызықты температуралық кеңеюдің төмен коэффициенті) мәні өте зор. Қаттылық жағынан алмастан кейінгі материал – кубты бордың нитридін (КБН). Алмасқа қарағанда ол ауада тотығуға тұрақты және темірге жоғары инерттілік қасиеті бар,

сондықтан оның негізіндегі аспаптарды қатайтылған шойын мен болатты өңдеу үшін тиімді түрде қолдануға болады. АҚМ-дан түсті металдардың қорытпалары мен болаттарды, шойынды, табиғи тастарды, темірбетонды, шыныны, керамиканы, жартылай өткізгіш материалдарды өңдейтін қырғыш ұнтақтар, әртүрлі жоғары өнімді аспаптар, пасталар және суспензиялар жасайды.

АҚМ-дың ұнтақтары кенбұзғыш және түзеткіш аспаптарды жабдықтау үшін қолданылады.

Алмас пен басқа АҚМ-ды өндірісте алу әдістерінің тарихы өте ұзақ, жуықтап алғанда екі жүз жыл ізденісте болған. Алмасты жасанды жолмен алу, атом ядросының ыдырауы, лазердің ашылуы және басқа жаңалықтар сияқты ғылыми-техникалық революцияның заңдылықты нәтижесі болды. Алмасты және басқа АҚМ-ды жасанды жолмен алу – жоғары қысым физикасы мен техникасындағы, термодинамикадағы, кристаллизация процестерінің физика-химиялық талдауындағы, қатты денелер физикасындағы және басқа фундаментальды ғылымдардағы жетістіктермен тығыз байланысты болды.

Алмасты алу әлемде бірінші болып 1953 жылы Швецияда, Х. Лиандер мен Э. Лундбладпен жоғары қысымдық аппаратымен жабдықталған арнайы престеуші қондырғыда жүзеге асырылды.

ССРО-да жасанды алмас 1960 жылы Жоғары қысымдар физикасы институтында академик Л. Ф. Верещагиннің (1909–1977 ж.) басшылығымен алынды. Қазіргі кезде әлемде жоғары қысымдар техникасының дамуымен қатар әртүрлі АҚМ негізінде қырғыш ұнтақтар, поликристалдар, композиттер, т.б. бұйымдар алынып жатыр.

Қиын балқитын қосылыстар негізіндегі қатты композициялық материалдар.

Құрамы мен әртүрлі қасиеттеріне қарай қиын балқитын қосылыстар негізіндегі қатты композициялық материалдар үш топқа бөлінеді:

1) WC-Co балқымалары (осы топтың кейбір маркаларында басқа карбидтердің – ванадий, ниобий, тантал, хром карбидтерінің қоспасы болады);

2) WC-TiC-Co қорытпалары;

3) WC-TiC-TaC (NbC)-Co қорытпалары;

4) TiC(TiN)-Ni-Mo негізіндегі вольфрамсыз қатты қорытпалар.

Осы күнге дейін белгілі жентектелген қатты қорытпалардың ішіндегі ең берік қорытпа – WC-Co, бірақ олардың қаттылығы мен тозуға тұрақтылығы жоғары емес. Осы композиттің ішіндегі карбидті фазаның түйіршіктерінің өлшемі бойынша қорытпалар ерекше ұсақ түйіршікті (ЕҰ), ұсақ түйіршікті (Ұ), орташа түйіршікті (О), ірі түйіршікті (І), ерекше ірі (ЕІ) түйіршікті болып бөлінеді. Мысалы, ВК6-ЕҰ (вольфрамкарбидті, ерекше ұсақ), ВК6-Ұ, т.б. Құрамындағы кобальттың үлесі бойынша мұндай композитті үш топқа бөледі: аз кобальтті (3–8 % Co), орташа кобальтті (10–15 % Co), жоғары кобальтті (20–25 % Co).

Бірінші топшадағы қорытпалар ең қатты және беріктігі жеткіліксіз ретінде шойынды, металл емес материалдарды, болат пен ыстыққа төзімді кейбір қорытпаларды кесу үшін, жұмсақ кендерді қазу, бұрғылардың қаптамаларын жасау үшін қолданылады.

Екінші топшадағы қорытпалар соққылауда оншалықты күшті емес, негізінен қаттылығы жоғары шойындарды және ыстыққа төзімді кейбір қорытпаларды тесу, қатты кендерді қазу, металдарды өңдеу үшін қолданылады. Бұл топтың қорытпалары ТК деп белгіленеді (мысалы, Т15К6 – 15 % титан, 6 % кобальт).

Үшінші топшаның қорытпалары ең берік және «созылмалы», бірақ жеткілікті дәрежеде қатты (себебі құрамында кобальты көп), негізінен соққылық ауыртпалық көп болатын жағдайда жұмыс жасайтын аспаптарда қолданылады.

WC-TiC-Co қорытпалары болаттарды кесуге арналған аспаптарда қолданылады. Бұл қорытпалар WC-Co қорытпаларына қарағанда жоғары температураға тұрақты, тозуға тұрақты.

WC-TiC-Co қорытпалары құрамындағы титанның үлесіне қарай 3 топқа бөлінеді:

1) аз титанды (5–10 % TiC, Т5К10) беріктігі және қаттылығы төмен, ауыр жағдайларда соққылап болатты кесуге арналған;

2) орташа титанды қорытпалар 10–20 % TiC, Т15К6) орташа ауыртпалық түсетін жағдайларда қолданылады;

3) көп титанды қорытпалар (25–60 % TiC, Т30К4, Т60К6), қаттылықтары жоғары, бірақ беріктіктері төмен жоғары жылдамдықпен кесетін, соққыларсыз жұмыс жасауда қолданылады.

WC-TiC-TaC (NbC)-Co қорытпалары кесіп өңдеуге арналған. Осы топ қорытпаларының құрамында 5–15 % TiC, 2–50 % TaC(NbC), 5-15 % Co, қалғандары – WC. Бұл қорытпалар беріктігі жағынан WC-Co, ал қаттылығы бойынша WC-TiC-Co жақын, осы қасиеттері бойынша оны шойынды да, сондай-ақ болатты да өңдеуге қолданылады.

Төртінші топтағы қорытпалар – TiC(TiN)-Ni-Mo бірінші және екінші топтағы қорытпаларды алмастырушы ретінде әзірленген. Бұл қорытпаларды жасау технологиясы түпкілікті әзірленбеген, әлі де даму барысында.

Жаңа материалдарды қолданудың болашағы үлкен облыстар болып келесілер табылады: тау-металлургия өнеркәсіптері, конструкциялық материалдар, ракета-космостық техника, жартылай өткізгіштік қасиеті бар және жылусыйымдылығы төмен аса қатты материалдар қолданылатын микроэлектроника. Кейбір АҚМ қасиеттері 5.1-кестеде келтірілген.

5.1-кесте

Аса қатты материалдар

Материал	Сауда атауы	Виксер бойынша қаттылығы (HV), МПа (кгс/мм.кв.)
Жасанды алмас	Мегадиамант	10 000
Кубты бор нитриді, (КБН)	Боразан, кубонит, эльбор	9 000
Поликристалды кубты бор нитриді	Эльбор Р	7 800-8 500
Көпфазалы поликристалды бор нитриді (ворцит тәрізді гексогональді және сфалерит-кубты модификация)	Гексанит	6 000
Металдық байланыстырғышы бар кубты нитрид негізіндегі композит	Исмит	-
Металдық байланыстырғышы бар алмас негізіндегі композит	Славутич	-

Алмасқа қарағанда BN химиялық активтілігі төмен. Қара металдарды алмас аспаптарымен өңдеу кезінде темірдің көміртегімен өзара әрекеттесуі жүреді, сондықтан мұндай үйлесім тиімді емес. 1000 °C жоғары температурада көміртегінің тотығуын ескеру қажет. Осы себепке байланысты алмас аспаптарымен алмас балқымаларын, мыс, керамика, графит және жасанды материалдарды өңдейді. Бор нитридің негізінен никель мен кобальт балқымаларын, сонымен қатар әртүрлі маркалы болаттарды өңдеуге қолданылады.

Жалпы, қатты қорытпалар қолданылу облыстары бойынша келесі топтарға бөлінеді:

Әртүрлікескіш аспаптар – жалпы шығарылымнан шамамен ~ 60 % құрайды.

Бұрғылау аспаптары (кескіштер, қазғыш тістер, т.б.). Бұл заттар енгізінен тау-кен-металлургия және құрылыс өндірістерінде қолданылады, жалпы шығарылымнан шамамен ~ 27 %.

Арнайы мақсатта қолданылатын аспаптарға арналғандар (ағаш өңдеу, конструкциялық бөлшектер, металдарды қысыммен өңдеу) жалпы өндірілгендерден шамамен ~ 5–7 % құрайды, соның ішінде:

- тозуға тұрақты штамптау және конструкциялық аспаптарға арналғанда (матрицалар, пуансондар, конструкциялық бөлшектер, электрод-аспаптар, т.б.);

- жоғарытемпературалық, коррозиялық, қақтауға тұрақты заттар;

- қорғаныс өнеркәсібіне арналғандар.

5.8. Композициялық материалдар

Композициялық материалдар (КМ) деп араларындағы бөлу шекарасы анық болатын химиялық әртекті компоненттердің көлемдік үйлесімімен түзілген материалдарды айтады. Олардың әрқайсысының қасиеттері жеке алғанда әртүрлі. КМ-да құраушы фазалардың ең жақсы қасиеттері – беріктік, созылмалық, тозуға тұрақтылық, аз тығыздық, т.б. үйлестіріліп бірігеді.

Негізінен бұл материалдар созылмалы байланыстырушы рөлін атқаратын негізден – матрицадан, сонымен бірге араластыруға оңай, әрі престоуге мүмкіндік беретін, арнайы

қоспалардан армирлеуші -материалдардан ұнтақ, талшық, пішіні әртүрлі болатын бөлшектер жоңқасынан тұрады. Матрица бұйымды байланыстыратын және оған пішін беретін материал рөлін атқарып қана қоймай, сонымен бірге қоспалардың беріктік қасиеттерін, яғни материалда кернеудің таралуын, оның бұзылған бөлшек пен талшықтан бұзылмағандарға берілуін қолдануды қамтамасыз етеді. Қоспалар матрицаның беріктігі мен қаттылығын, ал байланыстырушы материал оны құраушылардың арасындағы адгезиялық байланысты қамтамасыз етеді.

Материалға механикалық және т.б. ауыртпалық түскенде оның беріктігі мен созылмалығын тұтастай, бір дененікі сияқты матрица қамтамасыз етеді. Кейбір кезде байланыстырушы материал толтырғыштарды қоршаған зиян ортадан да қорғайды.

Композициялық материалдардың (КМ) сыныптамасы

КМ келесі белгілер бойынша сыныпталады:

- 1) матрица мен армирлеуші материалдардың түрі бойынша;
- 2) компоненттердің геометриясы, құрылымы және

орналасуы бойынша

- 3) алу әдісі бойынша.

Кейбір кезде КМ тағайындалуы бойынша да сыныпталады, себебі бір КМ әр түрлі мақсатта қолданылуы мүмкін, бірақ бұл сыныптама сирек қолданылады.

КМ жалпы атауы әдетте, матрицаның материалына байланысты анықталады. Металл матрицасы бар КМ металдық КМ, полимерлік матрицасы бар КМ полимерлік КМ және т.с.с. Құрамы мен табиғаты бойынша екі немесе одан да көп түрлі матрицасы бар КМ полиматрицалы деп аталады.

Кейбір КМ атауы екі бөліктен тұрады: біріншіде талшық материалының атауы көрсетіледі, екінші болып не «пластик» не «волокнит» сөзі табылады. Мысалы шыны талшықтарымен армирленген поликомпозициялық материал шыныпластиктер немесе шыныволокниттер деп аталады, металл талшықтары бар КМ — металлопластиктер (металловолокниттер), органикалық талшығы барлар — органопластиктер (органоволокниттер), бор талшықтар барлар — боропластиктер (бороволокниттер), көміртегі талшықтары барлар — көмірпластиктер (көмірволокниттер) және т.б.

Металл және бейорганикалық КМ үшін әзірше белгіленген номенклатура жоқ. Көбінде мұндай КМ үшін қос атау қолданылады: алдымен матрицаның атауы, содан кейін талшықтың материалы жазылады. Мысалы, мыс — вольфрам (немесе Си — W) КМ атауындағы матрица - мыс, талшық — вольфрам болып табылады; алюминий оксиді — молибден (немесе Al_2O_3 -Мо) — молибден өткізгіштері бар Al_2O_3 негізіндегі КМ. Дегенмен кейбір кезде алдымен талшықтың атауы, содан кейін матрицаның атауы келтіріледі, мысалы, бороалюминий, көміралюминий және т.б.

Құрамында екі немесе одан да көп армирлеуші элементтері бар КМ полиармирленген КМ деп аталады. Полиармирленген КМ екіге бөлінеді:

1) егер армирлеуші элементтердің табиғаты әртүрлі, бірақ геометриясы біртекті болатын болса (мысалы, шыныкөмірпластик — шыны талшығымен және көміртегі талшығымен армирленген полимер) олар *қарапайым/жай КМ* деп аталады.

2) егер армирлеуші элементтердің табиғаты да және геометриясы да әр түрлі болатын болса (мысалы алюминий матрицасынан, бор талшықтарынан және титан фольгасы қабатынан тұратын болса) олар *комбинирленген КМ* деп аталады.

Беріктендіру механизмі бойынша КМ екі топқа бөлінеді:

— *ауыртпалықты көтеретін беріктігі жоғары элементтермен армирленген матрицасы бар КМ*, мысалы, темірбетон, шыныпластик және т.б.

— *дисперсті-беріктендірілген КМ*. Мұнда құрылымдық фактор шешуші рөлді атқарады.

Композициялық материалдар компоненттерінің табиғаты бойынша, әдетте матрицаның материалы бойынша келесі топтарға бөлінеді:

- *металдық КМ*;
- *полимерлік КМ*;
- *сұйықкристалдық КМ*;
- *керамикалық КМ*;
- *басқа да бейорганикалық материалды КМ* (көміртегі, бор оксиді, оксидтер, боридтер және т.б.

Егер композиттегі бір компонент бүкіл көлемде үздіксіз болып, ал екінші компонент үздікті болатын болса бірінші компонент *матрица* (байланыстырушы), екіншісі *арматура* (*армируеші элемент, толтырғыш, беріктендіргіш және т.б.*) деп аталады. Композиттегі матрица материалдың тұтастығын, толтырғышқа түсетін кернеудің басқаға берілуін және таралуын қамтамасыз етеді, материалдың жылу-, ылғал-, от және химиялық тұрақтылығын анықтайды. Сондай-ақ матрица мен арматура ұғымы қолданылмайтын КМ бар олар әр түрлі қабаттардан тұратын қабатты композициялық материалдар немесе каркасты құрылымы бар псевдоқорытпалар.

Псевдоқорытпаларды кеуекті дайындаманы жеңіл балқитын компоненттермен сіңдіру арқылы алады. Олардың құрылымы өзара байланысып кеткен үздіксіз каркас болып табылады. Әдетте композиттердің атауы матрицаның материалы бойынша аталады.

Композиттер құрылымы бойынша *каркасты, матрицалы, қабатты және комбинирленген* болып бөлінеді.

Армируеші компоненттердің (толтырғыштардың) геометриясы бойынша:

- *ұнтақты және түйіршіктелген/дисперстелген КМ* (бөлшектермен армирленген);

- *талшықты КМ* (талшықтармен, жіп тәрізді кристалдармен армирленген КМ, олар дискретті және үздіксіз талшықтары бар КМ деп те бөлінеді),

- *қабатты КМ* (пленкалармен, пластиналармен, қабатты толтырғыштармен беріктендірілген КМ)

Компоненттердің орналасуы бойынша келесідей сыныпталады :

- *изотропты немесе квазизотропты КМ* (ұнтақты, дисперсті-беріктендірілген, дисперсті бөлшектермен хаосты армирленген КМ, дискретті немесе үздіксіз талшықтармен және т.б. армирленген КМ);

- *анизотропты КМ* (матрицада армируеші элементтер белгілі бір бағытпен орнатылған талшықты, қабатты КМ).

Изотропты материалдардың қасиеттері барлық бағыт бойынша бірдей, ал анизотропты КМ қасиеттері барлық бағыттар бойынша әр түрлі болады.

Изотропты КМ болып псевдокорытпалар мен хаосты армирленген КМ табылады.

КМ-ға ұнтақты металлургиямен жасалған көп материалдар жатады, атап шыққанда олар: антифрикциялық, фрикциялық, электртүйісу, диспертіберіктенген және т.б.

Талшықтар ретінде жіп тәрізді кристалдар (мұртшалар), сымдар, бейорганикалық және органикалық талшықтар қолданылады. Металдық талшықтар болат сымдары түрінде, қиын балқитын, т.б. металдар түрінде жеткілікті болғандықтан өте көп қолданылады.

Металл емес талшықтардың механикалық әсерлерге шыдамсыз және сынғыш болуына байланысты қолданылуы шектелген. Бірақ олардың беріктігі жоғары, тығыздығы аз және химиялық өте тұрақты болуына байланысты пластмассалар мен металдарды армирлейді. Осы мақсатта шыныдан, көміртегіден, бордан, кремний карбидінен, кварцтан, алюминий оксидінен жасалған талшықтар көп қолданылады.

Негізінен металдық сымдармен, жіптәрізді кристалдармен (мұртшалар), алюминий тотығымен, магниймен, кремниймен, т.б. жасалған поликристалды талшықтармен металдарды беріктейді. Металдарды армирлеу үшін тығыздықтары аз, беріктігі мен химиялық тұрақтылығы жоғары болуына байланысты кварцты, кварцoidты, цирконды және алюмосиликатты талшықтарды қолданудың болашағы өте зор.

Армирлеу үшін металдардан жасалған жеке сымдар, металдан жасалған маталар мен торлар кеңінен қолданылады. КМ-дың физика-механикалық қасиеттері беріктеуші фазаның мөлшеріне, олардың өзара орналасуына, өлшеміне және қоспа-негіз шекарасындағы байланыс күші мен қасиетіне өте көп дәрежеде тәуелді. Қоспа талшық түріндегі болғанда КМ-дың физика-механикалық қасиеттері бір немесе екі ретке бағытталуына байланысты айырмашылықтары болады. КМ-ның соңғы құрылымында компоненттер бағытталған немесе еркін таралған болса да, ереже бойынша өздерінің бастапқы қасиеттерін сақтайды. КМ-да беріктеуші фаза мен (талшықтармен немесе бөлшектермен) матрица материалы арасындағы әсерлесу, яғни өзара ерігіштік болмайды (оларды дайындау кезіндегі жылулық өңдеуде де, пайдалану кезіндегі температурада). Бұл құбылыс олардың қасиеттерінің барлық кезде тұрақты болуын қамтамасыз етеді.

КМ-ды алу технологиясы.

КМ негізінен ұнтақты металлургия әдісімен өндіріледі. Негізді құрайтын ұнтақтардан және талшық немесе басқа қоспалар қосылып, араластырылып, шихта жасалады, содан кейін престоу, жентектеу (немесе ыстық престоу, прокаттау), экструзиялау, штамптау немесе басқа да өңдеу әдістері жүргізіледі. КМ-ды қаңқаларды балқыған металмен қанықтыру, плазмалық тозаңдату, химиялық немесе электролиттік тұндыру, диффузиялық пісіру, бағыттап кристалдау, импульсті престоу жолдарымен де алуға болады.

Қысқа талшықтары бар қоспаны престоуменнен кейін армирулаушы қосылғыштар хаосты орналасқан құрылымда түзіледі, ал оған бағытты материалды экструзиялаумен беруге болады. Бағытталған құрылымды престоуге дейін, тікелей прес-калыпта діріл көмегімен, магнитті немесе электр өрісімен беруге болады. Шихтаның компоненттері арнайы барабандарда, конусты араластырғыштарда немесе басқа қондырғыларда бензин және спирт немесе суда араластырылады.

Қоспаны престоуді пресс-формаларда, балғаларда, экструзиямен, прокаттаумен, дірілдік нығыздаумен, жарылыспен, т.б. жүргізеді.

Негізгі металдың балку температурасының 0,7–0,8 бөлігін құрайтын температурада материалдың бойында физика-химиялық қасиеттерінің қалыптасуы қорғаныс ортасында жентектеу кезінде (сутегі, диссоциацияланған аммиакта) жүргізіледі. Физика-химиялық қасиеттерді жақсарту, коррозиядан қорғау, оларға соңғы пішін мен өлшем беру үшін кейде бұйымдарды жентектеуден кейін қайталап престоу және жентектеуді термиялық немесе физика-химиялық процестерімен өңделеді. Ыстық престоуді негізгі металдың балку температурасының 0,5–0,8 бөлігін құрайтын температурада қолдану мүлдем кеуексіз материалдар алуға мүмкіндік береді.

Балқыған металдармен қанықтыру арқылы КМ-ды жасау кеуекті қаңқаларды, кесінді сымдармен немесе жіптірізді кристалдардан тұратын престелген металдық киізді немесе белгілі бір тәртіппен орналастырылған ұзын талшықтарды вакуумда немесе инертті ортада балқыған металмен негізді қанықтырып алып, жайлап суытады.

Сіндірілген металл армирлеуші фазаны шаю керек (бірақ ерімеуі қажет). Оның балқу температурасы талшық материалының балқу температурасынан көп төмен болуы қажет. Металл емес армирлеуші фазаның бет қабатын балқыған металмен жұғысуын жақсарту үшін оны металдандырады.

КМ-ды сонымен бірге шихта компоненттерін металл бетіне электролиттік жолмен тұндыру арқылы алады. Одан кейін оны термиялық өңдейді, вакуумда, қысыммен құяды, т.б. жолдармен әрі қарай өңдейді.

Алюминий негізіндегі КМ-ды жасау технологиясының өте жақсы зерттелген процестерге – ыстықтай престеу, біріктіріп экструзиялау, сұйық металмен сіндіру, жарылыспен пісіру, плазмалық тозаңдату және электролиттік тұндыру жатады. Бұл процестерге бастапқы материал ретінде фольга, таспа, қалақшалар, ұнтақтар, плазмалы тозаңдатылған ұнтақтар қолданылады. Осы әдіспен көпқабатты фольга, таспа, қалақшалар, күрекшелер және түтіктер жасалады.

Магний негізіндегі КМ-ды көбінде қанықтыру арқылы, үздіксіз құю және диффузиялық пісірумен алады. Беріктеуші фазалар ретінде бор, көміртегі, кремний карбиді, болат, алюминий тотықтары талшықтары қолданылады.

Титан негізінде КМ-дар титан – армирлеуші фаза бөлу беттерінде әсерлесуді тоқтатуды талап етеді. Сондықтан мұндай материалдардан бұйымдарды плазмалы тозаңдату және жылдам прокаттау арқылы алады. Цилиндрді жабатын титанды фольгаға борлы талшықтарды орап, оған плазмалық тозаңдату әдісімен құрамында 6 % алюминий және 4 % ванадий бар титанның қорытпасымен қабаттайды. Алынған ленталарды вакуумда ыстық престеуге салады.

Мыс және вольфрам талшықтарының негізіндегі КМ-ды вольфрам сымдарының шоғырын балқытылған мыспен қанықтыру арқылы алады. Сонымен бірге динамикалық ыстық престеу технологиясы 950–1000 °С температурасында, 45 МПа және 2 сағ ұстау арқылы және 550–800 °С температурасында диффузиялық пісіру қолданылады.

Никель негізіндегі КМ-ды жасауда ұнтақты металлургия, динамикалық ыстық престеу және балқымамен қанықтыру әдістері қолданылады. Бұл композицияларды алудың негізгі

есептері болып никель вольфрамда, молибденде, т.б. металдарда еритін болғандықтан, матрица мен армирлеуші талшықтар арасындағы әсерлесуді болдырмау. Оны болдырмау үшін армирлеуші сыдардың бетіне кедергі қабаттар жасап немесе металдың сымдарын никель ерімейтіндей етіп легірлейді.

Кобальт негізіндегі КМ-ды жасауда армирлеуші материалдар ретінде вольфрам және молибден сымдарын пайдаланады. Оларды жасау технологиясы никельді КМ-жасау технологиясына өте ұқсас.

Материалдардың құрамы мен қасиеттері.

Жаңа талшықтармен армирленген КМ-ды жасаудағы жұмыстар негізінен мына металдармен: алюминий, магний, титан, мыс, никель және кобальтпен жүргізілуде. Бұл металдардың созылмалдылығы жоғары, матрицаны жақсы қасиеттермен қамтамасыз етіп, оңай беріктендіріледі.

Алюминий және оның қорытпалары негізіндегі КМ беріктігі жоғары талшықтармен армирленгенде меншікті беріктігі мен ыстыққа төзімділігі, қаттылығы өте жоғары болады және қасиеттерін анизотропиялық жағынан реттеуге болады. Алюминий негізіндегі КМ алу үшін алюминий мен оның қорытпалары болат, бор және борсик, көміртегі, кремний оксиді мен карбидінен жасалған талшықтармен, сонымен бірге қиын балқитын металдардың талшықтарымен (вольфрам, молибден, бериллий, т.б.) әртүрлі қатынаста қолданады.

Алюминийлі қорытпаны армирлеу үшін беріктік қасиеттерін өте жоғары дәрежеде қамтамасыз ететін көміртекті талшықтарды қолданған болашағы өте зор.

Қазіргі кезде сынау температурасына қарай алюминий қорытпасын металл емес талшықтармен беріктендіру жұмыстары жүріп жатыр. Ыстықтай престелген алюминий – SiO_2 талшықтары КМ-дың шыдамдық шегі $450\text{ }^\circ\text{C}$ температурасына дейін жетеді.

Кремний карбиді талшықтарын материалға қосу беріктік қасиетін жоғарылатады:

КМ құрамы (жалпы үлесі), $\sigma_{\text{в}}$, МПа

Al- SiC (90:10) 270

Al- SiC(70:30), 10

КМ-да жоғары қасиеттерді қалыптастыруға оларды дайындау әдістері өз әсерін тигізеді. Соңғы уақытта титан және оның қорытпасының негізіндегі КМ-ды жасауға өте үлкен көңіл бөлініп жатыр. Құрамында 6 % алюминий және 4 % ванадий бар титан негізіндегі қорытпа материалдары қасиеттері өте жақсы болғандықтан кеңінен қолданыс табуда. Бұл қорытпа бор, борсик, кремний карбидін және бериллийден жасалған талшықтармен үйлестірудің нәтижесінде өте жоғары қасиеттерді көрсетеді.

Материалдың құрамына кремний карбидінің талшықтарын енгізу жоғары дәрежелі қасиеттерді береді. Жоғары беріктікті құрамға борсик талшықтарын енгізгенде алуға болады.

Металл емес талшықты композиттердің ішінде қолдау шыны талшықтармен (GFP) беріктендірілген полимерлер кеңінен қолданыс тапқан. Басқа материалдар жұмыс жасай алмайтын жағдайларда оның қымбаттығына қарамай олар көптеп қолданылады. Бұл топтың материалдарына тән беріктік қасиеттерімен бірге негізінен олардың таң қалдырар коррозияға тұрақтылық қасиеті қолданылады. Олар түтіктердің, үлкен ыдыстардың, машина бөлшектерінің қабықшаларын, құрылыс профильдерін жасауда, сонымен бірге окшаулағыштар ретінде қолданылады. Талшықты материалдарды жеңілдетілген конструкциялар жасау үшін де қолданады.

Сонымен бірге металдармен, шынымен және отқа төзімдімен беріктенген жаңа композиттерді жасау бағыты даму барысында.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы. Под. ред. В. Шатта. – М.: Металлургия, 1983. – 495 б.
2. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения. Справочник. – Киев.: Наукова думка, 1985. – 624 б.
3. *Кипарисов С. С., Либенсон Г. А.* Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1991. – 432 б.
4. *Ржевская С. В.* Материаловедение: Учебник для вузов – М.: Горная книга, 2003. – 447 б.
5. *Елютин В. П., Павлов Ю. А.* Высокотемпературные материалы. В 2-х т. – М.: Металлургия, 1972.
6. Gill P.S. Principles of Powder Metallurgy. – Kataria S.K. & Sons, 2015. – 275 p.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе.....	3
1. Металдық ұнтақтарды алу әдістері.....	5
1.1. Металдық ұнтақтарды алу әдістері.....	5
1.1.1. Ұнтақтарды алудың механикалық әдістері.....	5
1.1.2. Металдық ұнтақтарды алудың физика-химиялық әдістері.....	17
2. Металдық ұнтақтардың қасиеттері.....	28
2.1. Металдық ұнтақтардың химиялық қасиеттері.....	28
2.2. Металдық ұнтақтардың физикалық қасиеттері...	32
3. Престеу.....	43
3.1. Металдық ұнтақтарды престеу (қалыптау).....	43
3.1.1. Металдық ұнтақтарды престеуге дайындау.....	45
3.2. Престеу әдістері.....	47
4. Жентектеу.....	55
4.1. Жентектеудегі негізгі процестер.....	55
4.1.1. Қаттыфазалық жентектеу.....	55
4.1.2. Сұйықфазалық жентектеу.....	69
5. Металдық ұнтақтар негізінде алынатын арнайы материалдар.....	75
5.1. Кеукті материалдар және заттар.....	75
5.2. Электротехникалық материалдар.....	80
5.3. Фрикциялық материалдар.....	88
5.4. Антифрикциялық материалдар.....	95
5.5. Конструкциялық материалдар.....	101
5.6. Жоғарытемпературалық материалдар.....	111
5.7. Қатты қорытпалар және аса қатты материалдар.....	117
5.8. Композициялық материалдар.....	128
Библиографиялық тізім.....	137

Оқулық басылым

Күлзира Қалдыбекқызы Мамырбаева

АРНАЙЫ МАТЕРИАЛДАРДЫ АЛУ НЕГІЗДЕРІ

Оқу құралы

БДДБ

Редактор

Компьютерлік теру

Л. Т. Қасжанова

Т. С. Жақсыбаева

А. А. Кадирсизова

Басуға қол қойылды 20.07.2017 ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60х84х 1/16.

№ 1 баспаханалық қағаз.

Е.-б.т. 8,7. Ш.б.т. 8,0. Тапсырыс № 811

Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық
зерттеу университеті басылымы
Маркетинг және коммуникациялар департаменті,
Баспа басқармасы

Алматы қ., Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-323-063-4



9 786013 230634