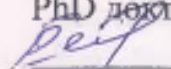


ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Ә.Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік инженерия институты
Инженерлік физика кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

«Инженерлік физика»
кафедра меңгерушісі
PhD доктор

 Р.Е. Бейсенов

«20» мамыр 2019 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Термиялық өңдеу режимі мен пластикалық деформацияның алюминий қорытпасының қасиеттеріне әсері»

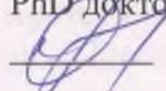
5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы

Орындаған

Ербол Талшын

Пікір беруші:

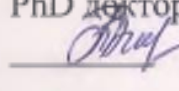
PhD доктор

 Омарбекова А.О

«20» мамыр 2019 ж.

Ғылыми жетекшісі:

PhD доктор

 Телешева А.Б

«20» мамыр 2019 ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институты

Инженерлік физика кафедрасы

5B071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы

ҚОРҒАУҒА

ЖІБЕРІЛДІ

«Инженерлік физика»

кафедра меңгерушісі

PhD доктор

Р.Е. Р.Е. Бейсенов

«20» мамыр 2019 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: *Ербол Талшын*

Тақырыбы: Термиялық өңдеу режимі мен пластикалық деформацияның алюминий қорытпасының қасиеттеріне әсері

Университет ректорының «06» қараша 2019 ж. №1252-б бұйырығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «21» мамыр 2019 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері: Диплом алды практикада алынған материалдар; ғылыми техникалық дереккөздер.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

а) Ыстық деформациялаудың және салқындатудың технологиялық параметрлерінің алюминий қорытпаларының механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу

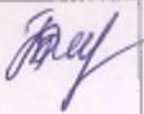
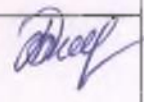
б) Ыстық деформация кезінде алюминий қорытпаларынан жасалған шалафабрикаттардың көлемі бойынша механикалық қасиеттерінің таралуын белгілеу.

Ұсынылған негізгі әдебиет атауы: Колачев Б.А., Бецофен С.Я., Бунин Л.А., Володин В.А. Физико-механические свойства легких конструкционных сплавов. М.: Металлургия, 1995, 442 с. Квасов Ф.И., Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы типа дуралюмин. – М.: Металлургия, 1954, 204 с.

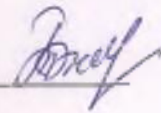
Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдер	Ескертулер
Әдеби шолу	қантар 2019 ж	
Тәжірибелік бөлім	наурыз 2019 ж	
Дипломдық жұмысты қорғау	мамыр 2019 ж	

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған қолтаңбалары
(жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлім атауы	Кеңесшілер, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Тәжірибелік жұмыстар	Телешева А.Б. PhD доктор	20.05.2019	
Нормоконтролер	Телешева А.Б. PhD доктор	20.05.2019.	

Ғылыми жетекші

 Телешева А.Б

Тапсырманы орындауға алған білім алушы

 Ербол Т.

Күні

«20» мамыр 2019 ж

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс
Ербол Талшын

5B071000 -Материалтану және жаңа материалдар технологиясы

Тақырыбы: Термиялық өңдеу режимі мен пластикалық деформацияның алюминий қорытпасының қасиеттеріне әсері

Орындалды:

- а) графикалық бөлім слайд
- б) түсініктеме бет

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ

Дипломдық жұмыс Қ.И. Сатпаев атындағы ҚазҰТЗУ - дың Ә. Бүркітбаев атындағы өнеркәсіптік инженерия институтының Инженерлік физика кафедрасында орындалған. Пластикалық деформация сипаты тікелей термиялық өңдеу түріне байланысты болғандықтан, термиялық өңдеудің режимдеріне байланысты қорытпаның катты ертіңдідегі және жеке фазаларындағы пластикалық деформацияның сипаты анықталған.

Ербол Талшынның дипломдық жұмысы 3 тарауда орындалған және тақырыбы бойынша әдеби шолу жасалынған. Зерттелінетін Д16 деформацияланатын қорытпаның химиялық құрамын, механикалық қасиеттері мен құрылымы көрсетілген. 2 тарау бойынша қарастырылған әдістерге толық түсіндірме берілген.

Ескертулер:

1. Жұмыстың мазмұнында статистикалық және грамматикалық қателіктер кездеседі, кейбір кестелерге сілтемелер дұрыс келтірілмеген;
2. Термиялық өңдеумен беріктенбейтін алюминий маркасымен салыстыру қарастырылмаған;
3. Бөлімдердің бір-бірімен логикалық байланысы толық ашылмаған;
4. Шағын құрылым суреттерінде масштаб көрсетілмеген;
5. Ізденуші дипломдық жұмысқа қатысты және теориялық сұрақтарға дайындығын толықтыра түсу қажет.

ЖҰМЫСТЫҢ БАҒАСЫ

Ербол Талшын дипломдық жұмысын 90% -ға (өте жақсы) бағалауға болады деп санаймын, ал студент 5B071000 «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы бойынша бакалавр академиялық квалификациясын алуға мүмкіндігі бар.

Рецензент

PhD доктор,
«Компьютерлік инженерия және
ақпараттық қауіпсіздік» кафедрасының
ассистент-профессоры

Ербол Талшынның 5В071000 – «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандығы бойынша «Термиялық өңдеу режимі мен пластикалық деформацияның алюминий қорытпасының қасиеттеріне әсері» тақырыбына жазылған зерттеу жұмысына

ШКІР

Ербол Талшынның зерттеу жұмысы Термиялық өңдеу режимі мен пластикалық деформацияның алюминий қорытпасының қасиеттеріне әсерін зерттеуге арналған.

Зерттеу жұмысы 3 бөлімнен тұрады. Осы жұмыста МҚӨ әдісі бойынша дайындалатын алюминий қорытпаларынан жасалған шалафабрикаттардың механикалық қасиеттерін болжау әдісі ұсынылған. Металдың пластикалық ағысын басқару мүмкіндігі берілген қасиеттері бар бұйымдарды алуға мүмкіндік береді. Осыған байланысты, дипломдық жұмыстың тақырыбы өзекті болып табылады. Теориялық бөлімінде Д16 қорытпасына жасалған бұйымдардың механикалық қасиеттері, құрылымы мен химиялық құрамы берілген. Әдістемелік бөлімінде материал таңдау негіздемесі мен оның металлографиялық анализі және механикалық қасиеттерін анықтау әдістері қарастырылған. Тәжірибелік бөлімінде металлография әдісімен бастапқы күйдегі және арнайы өңдеуден кейін құрылымы салыстырмалы түрде қарастырылады.

Дипломдық жұмыстың көлемі: 35 бет, 18 сурет, 6 кесте, 2 сұлба және 15 әдебиет тізімі.

Жұмысты орындау барысында Ербол Талшын тақырыпқа қатысты кең көлемде әдебиет ізденіс жасады. Нәтижесінде маңызды нәтижелерге баса назар аударды және оларды өзінің эксперимент нәтижелерін талдау кезінде сауатты қолдана білді.

Ербол Талшынның «Термиялық өңдеу режимі мен пластикалық деформацияның алюминий қорытпасының қасиеттеріне әсері» тақырыбына жазылған зерттеу жұмысын қорғауға ұсынуға болады деп санаймын.

Ғылыми жетекші:
«Инженерлік физика» кафедрасының
лекторы, PhD

АҢДАТПА

Қазіргі таңда материалтану дамуының болашағы зор бағыттарының бірі болып ыстық пластикалық деформациядан кейін метал материалдарының құрылымын және қасиеттерін басқаруға негізділген, ғылыми дәйектелген тәсілдерді әзірлеу табылады. Өнеркәсіптің әртүрлі салаларында, оның ішінде авиа- және ракета жасауда, алюминий қорытпаларының кеңінен қолданылуына байланысты, осы зерттеуде дәл сол алюминий негізіндегі қорытпаларды пайдалану туралы шешім қабылданған. Олар басқа материалдардан жоғары икемділігімен, жылу және электр өткізгіштігімен, жоғары тот басуға қарсы қасиеттерімен және шағын тығыздығымен ерекшеленеді.

Бастапқы Д16 материалын таңдау қажет етілетін сипаттамалардың жиынтығымен анықталады. Механикалық қасиеттерін болжауға арналған үлгілерді дайындау қыздыруды, жұқартуды және бастапқы дайындамаларды салқындатуды, үлгілерді кесуді, механикалық қасиеттеріне сынақ жүргізуді, металлографиялық зерттеулерге арналған шлифтерді дайындауды қамтыды.

АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день одним из перспективных направлений развития материаловедения является разработка научно обоснованных подходов, направленных на получение деталей с наилучшими эксплуатационными характеристиками, основанных на управлении структурой и свойствами металлических материалов после горячей пластической деформации. Ввиду широкого применения алюминиевых сплавов в различных отраслях промышленности, в том числе в авиа и ракетостроении, в данном исследовании принято решение об использовании именно сплавов на основе алюминия. Они отличаются от других материалов высокой пластичностью, тепло и электропроводностью, высокими коррозионными свойствами и малой плотностью.

Выбор исходного материала Д16 определялся набором требуемых характеристик. Изготовление образцов для прогнозирования механических свойств включало в себя нагрев, прокатку и охлаждение исходных заготовок, резку образцов, проведение испытаний на механические свойства, изготовление шлифов для металлографических исследований.

ANNOTATION

O date, one of the promising areas for the development of materials science is the development of scientifically based approaches aimed at obtaining parts with the best performance characteristics based on controlling the structure and properties of metallic materials after hot plastic deformation. In view of the widespread use of aluminum alloys in various industries, including aircraft and rocket construction, this study has decided to use aluminum alloys. They differ from other materials by their high plasticity, thermal and electrical conductivity, high corrosion properties and low density.

The choice of the initial material D16 was determined by a set of required characteristics. The production of samples for the prediction of mechanical properties included heating, rolling and cooling of the initial blanks, cutting samples, conducting tests for mechanical properties, and making polished sections for metallographic studies.

МАЗМҰНЫ

	КІРІСПЕ	9
1	Дюралюминийдың шығу тарихы	10
1.1	Алюминий қорытпасының классификациясы	12
1.2	Алюминий қорытпасының құрылымына температураның әсері	13
1.3	Алюминий қорытпасын термиялық өңдеу	14
1.4	Д16 алюминий қорытпасын қолдану аймағы	16
2	Зерттеудің материалдары мен әдістері	17
2.1	Д16 қорытпасының жалпы сипаттамасы	17
2.2	Тәжірибелік зерттеулердің, механикалық сынақтан өткізудің әдістері, қолданылатын жабдықтар мен құралдар	20
3	Жасау әдісін әзірлеу	23
3.1	Бұйымның құрылымын және қасиетінің қалыптасу үрдісін анықтайтын факторлар	23
3.1.1	Зерттелетін қорытпалардың өңдеу температурасының өзгеру диапазонын анықтау	23
3.1.2	Деформация дәрежесінің өзгеру диапазонын анықтау	24
3.1.3	Салқындау жылдамдығын анықтау	25
3.2	Сыналық үлгілерді ыстық өңдеу барысында материалдың механикалық сипаттамаларын және құрылысын тәжірибелік анықату	28
3.2.1	Деформациялау үрдісінің кернеулі-деформацияланған жағдайының және температуралық-жылдамдықтық жағдайларының қорытпалардың механикалық қасиеттеріне әсері	29
3.2.2	Деформациялау үрдісінің кернеулі-деформацияланған жағдайының және температуралық-жылдамдықтық жағдайларының қорытпа құрылымының қалыптасуына әсері	36
	Қорытынды	40
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	
	А-қосымша	
	Б-қосымша	
	В-қосымша	
	Г-қосымша	

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Техника мен технологиялардың дамуы металдарды қысыммен өңдеу (МҚӨ) әдістерімен алынатын жартылайфабрикаттарды жобалаудың және дайындаудың ғылыми тәсілдерінің жаңаларын жасаумен және қолда барын жетілдірумен тығыз байланысқан. Қазіргі кезде әзірлеушілер мен өндірушілердің алдында тұрған негізгі міндеттердің бірі болып, құрастыру материалдарының салмағын біруақытта азайта отырып, құрастырмалардың беріктігін және сенімділігін қамтамасыз ету табылады.

Материалдардың механикалық сипаттамалары деформациялау барысында ғана емес, нәтижесінде тынығу үрдістері жүруі мүмкін ыстық деформациядан кейін салқындату кезінде де қалыптасады. Сондықтан, жартылайфабрикаттардың көлемі бойынша қасиеттерінің таралуын болжау үшін НДС таралуының сипаты туралы ғана емес, кейінгі жылумен өңдеу режимімен және деформациядан кейін салқындау нәтижесінде металда жүретін үрдістермен өзара байланысы туралы ақпарат қажет етіледі.

Осы жұмыста МҚӨ әдісі бойынша дайындалатын алюминий қорытпаларынан жасалған жартылайфабрикаттардың механикалық қасиеттерін болжау әдісі ұсынылған. Металдың пластикалық ағысын басқару мүмкіндігі берілген қасиеттері бар бұйымдарды алуға мүмкіндік береді. Осыған байланысты, дипломдық жұмыстың тақырыбы өзекті болып табылады.

Келесі міндеттер шешілді:

1. Ыстық деформациялаудың және салқындатудың технологиялық параметрлерінің алюминий қорытпаларының механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу
2. Ыстық деформация кезінде алюминий қорытпаларынан жасалған жартылайфабрикаттардың көлемі бойынша механикалық қасиеттерінің таралуын белгілеу.

1 Дюралюминийдың шығу тарихы

Дюраль (Dural) фирмалық атауы орыс тіліндегі бастапқысында алюминий негізіндегі қорытпалардың тұтас бір тобына арналған ауқымды мәніне ие болған, олар мыспен, магниймен және марганецпен қоспаланған. Сонымен қатар дюралюминнің көне (негізі 1940 жж. дейін қаланған) формасы мен дюралюминийдің ағылшын нұсқаларының да кездесетіні бар. Оның атауы неміс Дурен қаласының құрметіне, немісше Duren беріліп, 1909 жылы оның өндірістік шығарылуы басталған, алайда бұл атауында қорытпаның басты сипаттамасы ретінде латынша Durus – «қатты», «берік» деген аллюзиясы да күмәнсіз.

Дюраль Dürener Metallwerke AG металлургиялық зауытының жұмысшысы неміс металлург-инженері Альфред Вильммен (Alfred Wilm) шығарылған. 1903 жылы Вильм жылдам суытқан (шынықтырылған қорытпаның температурасы +500 °C) соң, 4 % мыс қоспасы бар алюминийдің бөлме температурасында 3-4 тәулік бойында тұрып, бара-бара өз илемділігінен айырылмай, едәуір қатты және берік болып шығатынын анықтаған. Осы жүйедегі қорытпалармен жалғасқан тәжірибелер 1909 жылы Dürener Metallwerke зауытымен дюралюминий қорытпасының меңгеріп шығаруына жетеледі. Вильмнің алюминий қорытпаларының құрылымын ашқан, дюралюминий беріктігін 350-370 МПа дейін, таза алюминийдің 70-80 МПа ұқсатып өсіруге мүмкіндік берді. Еуро Одақта (Ұлыбритания мен Швейцарияда) шығарылған Hiduminium және Avional маркалы қорытпалары өзге өндірушілердің дюралюминнің қорытпаларын құрамынан алшақ емес болып туындайды [1].

ТМД-да дюралюминийді Al-Cu-Mg жүйесінің деформацияланатын қорытпалары деп атайды, оларға қосымша марганец қосылады. Дюралюминнің мәні ретінде Д1 қорытпасы болып табады, бірақ шағын механикалық қасиеттері салдарынан, оның қолданысы айтарлықтай қысқарған: Д1 қорытпасы қаңылтыртар мен профильдер үшін Д16 қорытпасымен алмастырылады. АҚШ пен Еуро Одақта дюралюминдер ең бірінші кезекте 2024, 2017 және 2117 қоспалары түрінде ұсынылуда. Интернационалдық әмбебап жіктемесі бойынша Al- Cu-Mg деформацияланатын алюминий қорытпаларының тобына 2000 бастап 2999 дейінгі тобы беріледі.

Қорытпаның құрамы мен термиялық беріктігі Бірінші Дүниежүзілік соғыс кезінде құпиялы ақпарат болатын. Дюралюминийдің жоғары меншікті беріктігінің арқасында, 1920 жж. бастап, ұшақтар құрылысында негізгі конструкциялық материал болып танылады. Қорытпаның тығыздығы 2500 - 2800 кг/м³, балқу температурасы шамамен 650 °C. Бұл қорытпа авиация құрылысында да, экспресс-пойыздар өндірісінде де (мысалы, Синкансэн пойыздарында) және машина жасаумен байланыты басқа да аумақтарда еркін қолданылады (өйткені таза алюминийге қарағанда, елеулі беріктігімен ерекшеленеді). Ескірген соң (табиғи жолмен: +20 °C + 30 °C - бірнеше

тәулікте; жасанды жолмен, жоғары температурада бірнеше сағатта) қатты және берік болып шығады.

Қазіргі уақытта марганец қосылған алюминий мыс магний қорытпалары дюралюминдер деген жалпы атауымен белгілі. Олардың қатарына осыдан шығатын кеңестік маркалар да кіреді, олар: Д1, Д16, Д18, В65, Д19, В17, ВАД1. Дюралюминдердің беріктігін термиялық өңдеумен арттырады: әдетте, шынықтыруға және табиғи немесе жасанды ескіруге ұшыратады. Бөлме температурасында жоғары статикалық беріктігінің (450 - 500 МПа дейін) және жоғары температурада, жоғары (+150 - +175 °С дейін) шалдығу беріктігімен және қирау тұтқырлығының үйлесіуімен сипатталады. [2]

Магний құрамының өсуі S-фаза санының өсуіне және қорытпа беріктігінің өсуіне жетелейді (Д16). Қасиеттеріндегі айырмашылық әсіресе беріктігін көтеретін термиялық өңдеуден соң аз емес (Кесте 1), оның құрамына шынықтыру мен табиғи ескірту кіреді. Шынықтыру барысында Д16 және Д18 қорытпаларын 490-500 °С дейін, ал Д1 – 500-510 °С қыздырады, содан кейін 40 °С суда суытады.

Шынықтырған соң, құрылымы әбден қаныққан қатты ерітіндіден және қоспалармен түзілетін ерімейтін фазалардан тұрады. Табиғи ескіруінде мыс пен магнийге бай Генье-Престон аумақтарының түзілісі жүреді.

Ескіру 3-4 тәулік бойында жалғасады. Ескірудің жалғасуы температураны 40 °С дейін және әсіресе 100 °С дейін арттырғанда айтарлықтай артады. Пайдаланған шыбықтардың σ_b және $\sigma_{0,2}$ едәуір жоғары мәндері пресс-әсерімен түсіндіріледі. [3]

1 Кесте – Деформацияланатын алюминий қорытпаларының химиялық құрамы (МЕМСТ 4784-74) және механикалық қасиеттері. [4]

Қорытпа маркасы	Құрамындағы элементтер (қалғаны Al), %				σ_b	$\sigma_{0,2}$	σ_{-1}	НВ
	Cu	Mg	Mn	Басқалар				
Амц	-	-	1-1,6	-	130	50	55	30
Амг2	-	1,8-2,6	0,2-0,6	-	190	100	125	45
Амг6	-	5,8-6,8	0,5-0,8	0,02-0,1Ti	340	170	-	70
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	400	240	105	95
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	440	330	115	105
Д18	2,2-3	0,2-0,5	-	-	300	170	95	70
В95	1,4-2	1,8-2,8	0,2-0,6	0,01-0,25Cr	540	470	150	150
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2Si	400	299	299	100
АК8	3,9-4,8	0,4-0,8	0,4-1	0,6-1,2 Si	480	380	380	135

Дюралюминдерді берік нығайту үшін, әдетте, табиғи ескірумен шынықтыруды қолданады, өйткені бұл жағдайда қорытпалардың илемділігі жақсы болып, олар кернеу концентраторларына бейімділігі едәуір кем болады.

Жасанды ескіруге тек температураны (190°C, 10 сағ) дейін көтергендегі жұмыстарда қолданылатын бөлшектер ғана түседі. Тәжірибелік мәні жоғары деп бірінші, «инкубациялық» ескіру (20-60 мин) уақыты саналады, онда қорытпа айтарлықтай илемділік және шамалы қаттылығын сақтайды. [5] Бұл тойтарма, түзету және т.б. сияқты технологиялық операцияларды жүргізуге рұқсат береді. Ұқсас операцияларды жүргізу үшін табиғи ескірген қорытпалар мен олардың бөлшектерін «қайтаруға» өңдеуге болады, ол 230-300 °C кезінде қорытпаның қысқа мерзімді ұстауынан (1-2 мин) тұрады. Қыздыру кезінде Гинье-Престон аймақтары сорылып, құймаларға тікелей тән пластикалы қалпына келтіріледі. Алайда, «қайтаруға» өңдеуді қолдану жұқа қабырғалы бұйымдарда коррозиялық төзімділіктің азаюымен шектеледі, ал қысқа уақыт ішінде қалың қабырғалы ұстамаларда бүкіл қима бойынша икемділікті қалпына келтіруге үлгермейді. Ұстамдылықтың жоғарылауы бұйымның бетінде қорытпаның жасанды қартаюуына алып келеді, бұл иілгіштіктің төмендеуіне әкеледі. [6]

1.1 Алюминий қорытпаларының классификациясы

Al-Cu-Mg, Al-Cu-Si, Al-Mg, Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Si, Al-Mg-Si, сонымен қатар Al-Zn-Mg-Cu қорытпалары анағұрлым кең таралған. Тепе-теңдік күйінде бұл қорытпалар төмен қоспаланған қатты ерітіндіні және интерметаллидті CuAl_2 (θ -фаза), Mg_2Si , Al_2CuMg , (S-фаза), Al_6CuMg_4 (T-фазасы), Al_3Mg_2 , $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$ (T-фаза) және басқалары түрінде шығады.

Алюминийдің осы қоспаларын үш топқа біріктіруге болады:

1) деформацияланатын, олар жартылай фабрикаттарды (қаңылтырларды, плиталарды, шыбықтарды, профильдерді, құбырларды және т.б.), сондай-ақ илемдеу, престеу, соғу және штамптау жолымен соғулар мен штамптар алуға арналған. Деформацияланатын қорытпалар термиялық өңдеумен нығыздалу қабілеті бойынша мыналарға бөлінеді: термиялық өңдеумен нығыздалмайтын қорытпалар және термиялық өңдеумен нығайтылатын қорытпалар

2) құйылатын қорытпалар – бұл қорытпалар үлгілер құюда кеңінен қолданылады.

Оларға келесідей талаптар қойылады:

1) эвтектикалық құрылыммен жақсы сұйық аққыштығы немесе эвтектиканың басымдылығы;

2) модификациялаумен және термиялық өңдеумен (ескіру) түзілетін жоғары төзімділігі;

3) кесуші сайманмен жақсы өңделуі. Алюминийдің қойылатын қорытпаларының құрамына кіретін негізгі элементтер ретінде кремний, мыс, магний мен мырыш шығады, олардың елеулі мөлшерде орын алуы ескіруден кейін нығыздалу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. Ол қатардан ерекшесі – екілік

Al-Si, аздау санындағы қорытпалар және олар нығыздалуға кемдеу әсерін тигізеді. Темір қорытпалардың қызуға төзімдісінен басқаларына қарағанда, басым түрлері үшін зиянды қоспа болып табылады. Титанның, натрийдің және церийдің қосымдары, олардың елеусіз санына қарамастан, алюминий қорытпаларының бізге қалаулы бағытында құрылымы мен қасиеттерін қатты өзгертуге қабілетті. Алюминийдің құйылмалы қорытпалары негізінде 4,5 бастап 13% дейін Si құрайды да, эвтектикалыққа дейінгі және балқуының температурасы жоғары емес және жасқы аққыштығына ие эвтектикалықтан кейінгі қорытпалар түрінде шығады. Олар қалыпты жақсы толтырып, шамалы ғана шөгеді. Бұл қорытпалар қатайғанында айтарлықтай тоңазытушылықты мүмкін көріп, модификациясында өз құрылымын, механикалық қасиеттерін жақсартады. Үйреншікті Al-Si эвтектикалық қорытпасы құрамына 11,6% Si кіреді; жылдам суытқанда 13–14% Si болғанында да құрылымы бастапқы кремнийсіз бір эвтектикадан құрылатын қорытпаны алуға болады. Тура сондай әсері модификациясында - 0,05–0,10 % Na немесе 2/3 NaF және 1/2 NaCl тұратын қосындының шамалы мөлшерін қосуда да алынады. Бұл кездегі эвтектикалық температура 577 бастап 564 °C дейін төмендейді. Құйылмалы қорытпалардың маркалары: Ал2, Ал4, Ал5, Ал9, Ал11;

3) ұнтақты металлургия жолымен алынатын қорытпалар (ҚАҰ - қақталған алюминий ұнтақтары, ҚАҚ – қақталған алюминий қорытпалары). [7]

1.2 Алюминий қорытпаларының қасиеттеріне температураның әсері

Алюминий қорытпаларын кеңейтудің желілік еселігі болатын желілік кеңейту еселігінен екі есе дерлік үлкен ($23,8 \cdot 10^{-6}$ қарсы $11,2 \cdot 10^{-6}$). Алюминий қорытпаларында элемент ұштарын қатты бекіткенде туындайтын температуралық кернеулер қорытпалар иілгіштігі модулінің төмен мәндерінің салдарынан болат конструкцияларындағы кернеулерден бір жарым есе аз.

Шамамен 100° температурада алюминий қорытпаларының сырғуы басталады. Сондықтан алюминий конструкцияларын жобалаудағы техникалық шарттармен конструкция 80-120°C температурасында пайдаланылатын болса, есепті кедергілерге төмендететін еселіктерді кіргізу ұсынылады. Шынықтырылған қорытпаларды босандату болат үшін температуралық иілгіштік түскеннен ертрек 350-400 °C өтеді. Қорытпаларды балқытудың төмен температурасына қарамастан (650-750°C), алюминийді балқыту үшін жылу энергиясының көп мөлшерін шығындау қажет, өйткені бұл металл балқытудың үлкен жасырын температурасына ие. Осы қасиеттерінің арқасында алюминий конструкциялар алаумен қирауға аз бейімделген, ол құрылыстарды өрттен кейінгі зерттеулерімен расталып отыр. Қарастырылып отырған қорытпалардың құндылығы ретінде төмендеткен температураларда олар өзінің механикалық көрсеткіштерін нашарлатпай, ескіру үдерісінің күшеюі алдарынан едәуір берік болып шығатыны аталады.

Сондықтан солтүстік белдеудегі құрылыстарда және полярлық

экспедициялар үшін болаттан гөрі, алюминий қорытпаларынан конструкцияларды дайындаған артығырақ көрінеді. [8]

1.3 Алюминий қорытпаларының термиялық өңдеуі

Алюминийден құйылатын қорытпалардан дайындалатын бұйымдар басым жағдайда жылу (термиялық) өңдеуіне түседі. Өңдеудің сипаты мен режимы қорытпаның маркасына, бұйымды әзірлеу амалына және оның тағайындалуына байланысты.

Алюминий қатты ерітіндідегі қоспалаушы компоненттердің мөлшері шынығудан кейін бөлме температурасында олардың шекті тепе-тең концентрациясынан асып түседі, яғни бөлме температурасында қатты ерітінді аса қаныққан болады (және, әдеттегідей, өте күшті дәрежесінде). Осылайша, Al+4% Cu қорытпасын t_3 температурасына дейін қыздырып, Al₂Cu біршама алюминийде толық ерігенге дейін жеткілікті уақыт төздірсе, және бөлме температурасындағы суда суытса, онда құрамына 4,0% Cu енген қатты ерітінді жылдам суытудың нәтижесінде сақталады немесе, жиі айтып жүргендей, бөлме температурасында тіркеледі. Мыстың алюминийдегі тепе-теңдікті ерігіштігі төмен температураларда шамамен 0,2% құрайтындықтан, Al+4% Cu шынықтырылған қорытпасындағы қатты ерітінді мыспен 20 еседен астам мөлшеріне аса қаныққан болады.

Шынығу нәтижесінде қорытпаларда алынатын алюминийдегі легірлеуші компоненттердің қаныққан қатты ерітіндісі шынығудан кейін беріктіктің жоғарылауын және қартаю кезінде одан әрі беріктендіру мүмкіндігін анықтайды.

Алюминий қорытпаларындағы шынықтыру режимдерінің құндылық қағидаттарын қарастырып көрелік. Шынықтыруға арналған қыздыру температурасы алюминийдегі интерметаллидті фазалардың едәуір артық толық ерігіштігін қамтамасыз етуге міндетті. Егер қорытпалардағы легірлеуші компоненттердің құрамы эвтектикалық температурадағы олардың шекті ерігіштігінен аспаса (мысалы, Al-Cu қорытпаларындағы 5,65% Cu), онда легірлеуші компоненттер шынықтыруға арналған температурада толығымен дерлік еруі мүмкін; бұл жағдайдағы қыздыру температурасы сындарлы нүктесінен артық болуы шарт.

Егер легірлеуші компоненттердің құрамы шекті ерігіштігінен асып отырса, яғни қорытпа құрылымында тепе-теңдік шарттарда эвтектикалық немесе интерметаллидті фазалардың бастапқы кристалдардың (мысалы, 10% Cu бар қорытпасында) кірмелері болса, онда интерметаллидті фазалардың толық еруі мүмкін емес. Бұл жағдайда шынықтыруға арналған қыздыру температурасын таңдау үшін солидус температурасы (әдетте, анағұрлым жеңіл балқитын эвтектикті балқыту температурасы) шығады; қыздыруды солидус сызығынан 5-15 °C төмен температураға дейін жеткізеді.

Құйылатын алюминий қорытпаларын шынықтыруда қорытпалардың құрылымында тепе-теңдікті емес эвтектика бола алатынын ескеру қажет. Сондықтан құйылмалы қорытпаларды шынықтыруға арналған қыздыру

температурасы тепе-теңдікті емес эвтектиктен аспауы керек. Жоғарыда гомогендеу температурасын таңдау бойынша келтірілген ой тұжырымдамалары құйылмалы алюминий қорытпаларын шынықтыруға арналған температураны таңдауға қатысты. Түрлі өндірістік қорытпаларды шынықтыруға арналған қыздыру температурасы 450 °С бастап 560 °С дейінгі шегінде ауытқиды.

Қыздыру температурасында ұстау интерметаллды фазалардың еруін қамтамасыз етуі тиіс, сондықтан ол бөлшектердің шамасына және олардың таралу сипатына байланысты.

Деформацияға ұшыраған бұйымдарда интерметаллидті фазалар негізінде ұсақ екіншілік кристалдар түрінде (қорытпа гомогендеуге және бірқатар технологиялық қыздыруларға түскен), ал құймаларда – мейлінше дөрекі эвтектикалық кірмелер түрінде болады. Осыдан шынықтыруға арналған қыздыру температурасындағы ұстау ұзақтығының айырмашылықтары шығады: деформацияға ұшырайтын қорытпалар үшін ол ондаған минуттармен, ал құйылмалы түрлері үшін – сағаттармен немесе керек болса, бірнеше ондаған сағаттармен өлшенеді.

Шынықтыру кейінгі салқындату процесінде қатты ерітіндінің ыдырамауын қамтамасыз ететін жылдамдықпен жүргізу керек. Бұл жылдамдық әр қорытпа үшін біршама белгілі сындарлы суыту жыламдығынан $V_{\text{сынд}}$ артық болуы керек, ол қорытпаны суытудың кемдеу жылдамдығы ретінде анықталады, сол кезде қатты ерітіндінің суыту кезіндегі ыдырауы әлі өтпейді. [9]

Күйдірілген күйімен салыстырғанда беріктік күйіне ие қорытпаларды шынықтырған соң, қорытпалар жоғары илемділік сақтайды. Бірақ, шынықтырудың рөлі оның қасиеттеріне тікелей әсерімен шектелмейді. Қоспалайтын элементтердің асақаныққан қатты ерітінділерін алуға алғы шарт бола тұра, шынықтыру ескіру кезінде келесі төзімділігін арттыру мүмкіндігін қамтамасыз етеді. 2 - кестеде Д16 анағұрлым кең таралған термиялық төздіретін алюминий қорытпаларының алюминий қоспаларының түрлі термиялық өңдеу түрлерінен кейінгі механикалық қасиеттеріндегі өзгерістерінен мысал келтірілген. [10]

2 Кесте – Д16 қаңылтырларының механикалық қасиеттері. [10]

Күйі	Механикалық қасиеті		
	σ_b , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %
Жасытудан кейін	200	100	25
Тікелей шынықтырудан кейін	300	220	23
Шынықтыру және ескіруден кейін	450	340	18

Көптеген шынықтырылған алюминий қорытпаларындағы ыдыраудың, ал кейде меншікті ыдырауының дайындық кезеңдері, цехтағы, қоймадағы немесе бұйымдар сақталатын, әдеттегі температурасы 0-ден 30°С шегінде

болатын басқа да орын-жайларындағы табиғи сарылажатуда, арнайы қыздырусыз өте береді. Бірқатар алюминий қорытпаларында (Al-Cu-Mn) ыдырауға дайындық пен ыдыраудың бастапқы кезеңдері тек шынықтырылған ерітіндіні 100 – 200°С температурасына дейін қыздырғанда ғана орын алады. Ондай қыздырудың мәні – диффуздық үдерістерді термиялық белсендіруде.

Алюминий қорытпаларын құрылымындағы және қасиеттеріндегі белгілі бір өзгерістерге жетелейтін (беріктігі, әдетте, артады) табиғи жағдайларда (қоршаған орта температурасында) ұстауды табиғи ескіру деп атайды.

Шынықтырылған алюминий қорытпаларын салыстырмалы түрде жоғары емес температурасына дейін (әдетте 100 - 200°С аралығында) қыздыру мен осы температураларда ұстауды (бірнеше сағаттан астам бірнеше ондаған сағатқа дейінгі аралықта) жасанды ескіру деп атайды.

Көптеген алюминий қорытпаларының бөлме температурасында ескіруге қабілеті алюминий қорытпаларына қатысты қолданымды «жаңадан шынықтырылған болат» деген терминнің туындауына алғы шарт болған, яғни бұл қорытпаның тікелей шынықтырудан кейінгі күйі.

Алюминий қорытпаларының жаңадан шынықтырылған күйіндегі қасиеттері олардың шынықтырудан белгілі уақыт өтісімен олардың қасиеттерінен (табиғи ескірудің нәтижесінде) айтарлықтай ерекшеленуі мүмкін. Табиғи және төмен температурадағы жасанды ескіру құрылымындағы нәзік өзгерістерге байланысты, олар жарық, ал бірқатар жағдайларда электрондық микроскопта да көріне бермейді. [11]

1.4 Д16 алюминий қорытпаларының қолдану аймағы

Ең көп таралған алюминий қорытпалары коррозияға қарсы өзінің жоғары төзімділігінің арқасында тек арнайы - ерекше агрессивті орта жағдайында пайдаланылатын құрылыстарда ғана емес, сондай-ақ атмосфералық әсерлерді сынайтын элементтерге арналған қарапайым азаматтық және өнеркәсіптік ғимараттарда.

Д16 қорытпасы жоғары төзімділігінің, төзімділігінің және жеңілдігінің арқасында түрлі металл прокаты үшін қолданылады. Ол түрлі өнеркәсіп аяларында талапқа ие:

- ұшақтардың және ғарыш құрылғыларының конструкцияларында;
- машиналар мен білдектердің детальдарын дайындау үшін;
- автокөліктердің, ұшақтардың, тікұшақтардың қаптамалары мен лонжерондарының өндірісі үшін;
- жол белгілері мен көше тақталарын әзірлеу үшін.

Д16 құбырлары мұнай сортаментін өндіруде таптырмас материал. Олардан жиналған эксплуатациялық колонналар ұңғыманың 8 жыл бойындағы үздіксіз эксплуатациясын қамтамасыз етуге қабілетті. [12]

2 ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

2.1 Д16 қорытпасының жалпы сипаттамасы

Бастапқы материалды таңдау қажетті сипаттамалардың жиынтығымен анықталды. Негізгі сипаттамаларға жатады: икемділігі және тот басуға төзімділігі, тығыздығы, дәнекерленуі, беріктігі, статикалық және дірілдік жүктемелерге төзімділігі.

Алюминий қорытпаларының өнеркәсіптің әртүрлі салаларында, оның ішінде авиа- және ракета жасауда кеңінен қолданылуына байланысты [28, 29, 30], осы зерттеуде дәл сондай алюминий негізіндегі қорытпалардың қолдану туралы шешім қабылданды. Олар басқа материалдардан жоғары икемділігімен, жылу және электр өткізгіштігімен, жоғары тот басуға қарсы қасиеттерімен және шағын тығыздығымен ерекшеленеді. Деформацияланатын алюминий қорытпаларының ішінде екі үлкен топты ерекшелеуге болады: жылумен мекемделмейтіндер және жылумен мекемделетіндер.

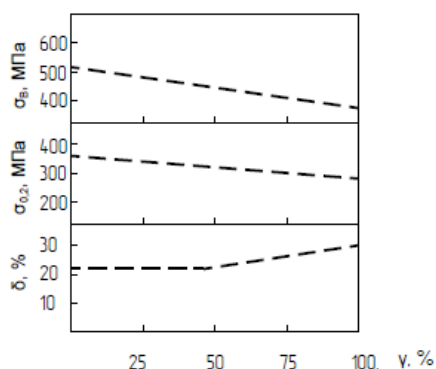
Д16 қорытпасы дюралюминийлер Al-Cu-Mg жүйесінің жылумен мекемделетін қорытпаларының тобына жатады. Қорытпаның химиялық құрамы 3- кестеде көрсетілген [13].

3 Кесте-Д16 қорытпасының химиялық құрамы. [13]

Бөлім	Негізгі компоненттері, %			Қоспалар, % (артық емес)				
	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	Cr
Негіз	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	0,5	0,5	0,25	0,15	0,1

Қорытпа негізінен табиғи ескірілген жағдайда қолданылады, бұзылу тұтқырлығының, төзімділіктің, шаршау жарықтарының өсу жылдамдығының жақсы көрсеткіштеріне ие. Соның салдарынан қорытпа созылмалы кернеу жағдайларында жоғары төзімділік қажет етілетін бөлшектер үшін қолданылады.

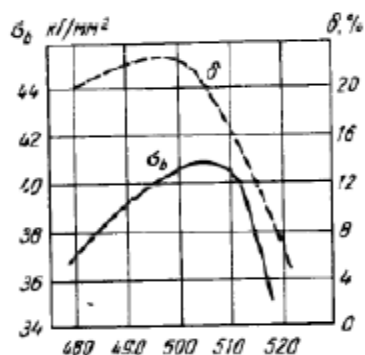
Д16 қорытпасынан механикалық қасиеттері көп жағдайда қайта кристалдану дәрежесіне байланысты (1 Сурет) [14].



1 Сурет- Қайта кристалдану дәрежесінің (γ) Д16 қорытпасының механикалық сипаттамаларына әсері [14]

Қайта кристалданбаған құрылым беріктіктің, бұзылу тұтқырлығының, кернеудің әсерімен тот басуға қарсыласудың және төзімділіктің жоғарырақ көрсеткіштерін көрсетті. Қайта кристалданбаған құрылымды сақтауға температураны арттырумен және деформация дәрежесін азайтумен, шынықтыруға арналған температура мен ұстау уақытын азайтумен қол жеткізіледі [15].

Қорытпа кейіннен 4 тәулік бойы табиғи ескірітіліп, температурасы 495-510 °C суда шынықтырылады [16]. Шынықтыруға арналған қыздыру температурасы механикалық қасиеттердің деңгейіне айтарлықтай әсер етеді. Ол эвтектиканың балқу температурасынан бар болғаны 7-10 °C ғана төмен, сондықтан қыздыру кезінде түйіршік шекараларының балқуы мүмкін, соның нәтижесінде беріктік азаяды (1 Сурет) [17].



2 Сурет – Шынықтыру температурасының Д16 қорытпасының механикалық қасиеттеріне әсері

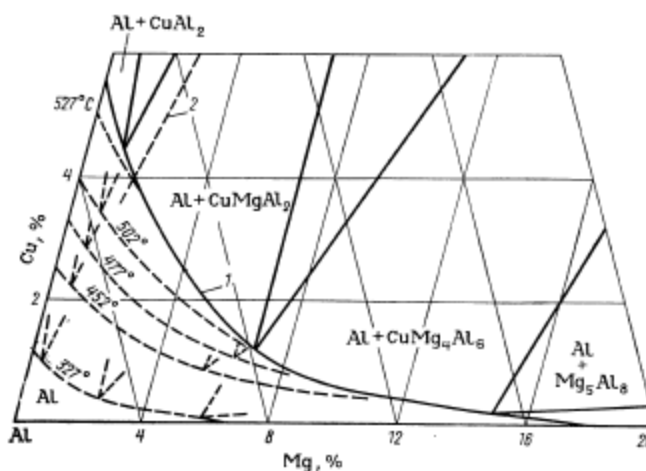
Күйдіру екі режимде жүргізіле алады [16]:

1) Ескірітілген және шынықтырылған материалды күйдіру – күйдіру температурасы 380-420 °C, ауада салқындату – ең жақсы икемділікті қамтамасыз етеді. Күйдірудің осы түрі мекемдеуші фазалардың ыдырауына және коагуляциясына алып келеді;

2) Деформацияланған материалды қайта кристалдау үшін күйдіру 350-370 °C температурасында жүргізіледі, ауада немесе суда салқындатылады.

Жалатылған материалды өңдеу 240-250 °C температурасында 20-45 сек бойы жүргізіледі [16].

Д16 қорытпасының құрылымы α -қатты ерітіндіден және CuAl_2 (θ -фаза), CuMgAl_2 (S-фаза), CuMg_4Al_6 мекемдеуші фазалардан тұрады (3 Сурет) [18]. Темір мен кремнийдің қоспалары алюминиймен, мыспен және магниймен алюминийде ерімейтін, ыстықпен өңдеп мекемдеуге қатыспайтын және технологиялық икемділікке және тот басу төзімділігіне теріс әсер ететін интерметаллдік фазаларды түзеді. Марганецті қайта кристалдану температурасын, беріктік қасиеттерін арттыру үшін және ескірту әсерін арттыру үшін қосады [19].



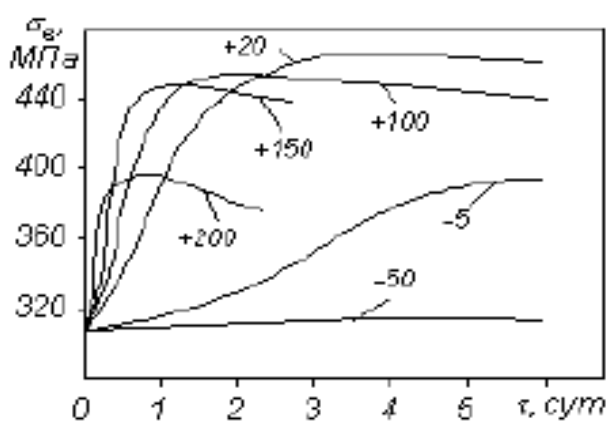
3 Сурет - Al-Cu-Mg жағдайының диаграммасының сол жақ бұрышы. Қатты жағдайдағы фазалық аймақтардың таралуы

Д16 қорытпасы көпкомпонентті болып табылады және күрделі фазалық құраммен сипатталады. Диаграммада Д16 қорытпасының α -қатты ерітінді аймағында орналасуына қарамастан, кристалданудың тең емес жағдайларынан тез салқындату кезінде құю кезінде эвтектикалық кристалдану өнімдерінің пайда болуы мүмкін. Пластикалық деформация кезінде θ (CuAl_2) және S (Al_2MgCu) мекемдеуші фазаларының түсуімен қатты ерітіндінің ыдырауы жүреді және қорытпа гетерогенді құрылымды қабылдайды. Негізгі мекемдеуші фазалардан басқа қорытпада сондай-ақ AlMg_2Mn , AlFeSiMn , AlFeCuSi түріндегі темір, марганец және кремний қоспалары бар [17]. S-фаза бөлме температурасында да, жоғары температурада да (350 °C дейін), өзінің күрделі құрамы мен жасалуына байланысты алюминий қорытпаларының өзге мекемдеуші фазалардың ішінде аса жоғары қаттылыққа ие [20].

Қорытпаны айнымалы ерігіштік сызығынан жоғары қыздыру, осы температурада ұстап тұру және тез салқындату болып табылатын шынықтыру кезінде, аса қаныққан α -қатты ерітіндінің және ерімейтін темірмарганецтік фазалардың құрылымы бекітіледі [17]. Аса қаныққан қатты ерітінді орнықсыз. Шыныққаннан кейін қорытпада ұнтақтылықтың жоғары дәрежесімен CuAl_2 артық фазасы бөлінуімен қатарлас жүретін қатты ерітіндінің ыдырауы жүреді.

Табиғи ескіру кезінде шыныққан қорытпада мыстың көп мөлшері бар аймақтардың (дисктердің) – Гинье-Престон аймақтарының түзілуі жүреді [15]. Матрицамен когерентті, реттелген құрылым аймақтары, $\{100\}$ бағытында цилиндрлер түрінде өседі [18]. 150-180 мкм дейін қыздырған кезде осы аймақтар CuAl_2 химиялық қосылысының орнықсыз аллотропикалық модификациясы болып табылатын метаорнықты θ -фазаға айналады. 250-300 °С-дан артық температура жағдайында θ -фаза когерентті емес тұрақты θ -фазаға айналады (CuAl_2), одан кейін оның іріленуі жүзеге асады [17].

Барынша көп қаттылыққа және беріктікке қорытпа алғашқы сатыда Гинье-Престон аймағы түзілген кезде және θ -фаза метаорнықты болған кезде ие болады (4 Сурет) [17].



4 Сурет - Дюралюмин беріктігінің температурадан (қисық сызықтағы сандар) және ескіру уақытынан τ тәуелділігі

2.2 Тәжірибелік зерттеулердің, механикалық сынақтан өткізудің әдістері, қолданылатын жабдықтар мен құралдар

Механикалық қасиеттерін болжауға арналған үлгілерді дайындау бастапқы дайындамалардың қыздыруды, жұқартуды және салқындатуды, үлгілерді кесуді, механикалық қасиеттеріне сынақ жасауды, металлографиялық зерттеулерге арналған шлифтерді дайындауды қамтыды.

Алдын ала қыздырып жұқартуды жасау кезінде SNOL 8.2/1100 муфельдік пеші (техникалық сипаттамалары 1 Қосымшада көрсетілген) жұқарту станымен (станның техникалық сипаттамалары 2 Қосымшада көрсетілген) бір кешенде, 5 суретте көрсетілгендей қолданылды.



5 Сурет – Жұқарту станы және алдын ала қыздырумен зерттелетін үлгілерді жұқартуды жасауға арналған муфельдік пеш

Шағын құрылымды зерттеу 6 суретте көрсетілген МЕТАМ ЛВ-34 оптикалық микроскопының (микроскоптың техникалық сипаттамалары 3 Қосымшада көрсетілген) көмегімен жүргізілді.



7 Сурет – МЕТАМ ЛВ-34 микроскопының жалпы түрі

Ыстық деформациядан кейін үлгілердің салқындатылу жылдамдығын анықтау үшін 10 сек.тең уақыт қадамымен әрбір үлгінің температурасына өлшем жасалды. Температураны өлшеу термобудың көмегімен жасалды, олардың термоэлектродтары никель негізіндегі қорытпалардан жасалды: хромель (Cr (8,7-10%); Ni (89-91%); Si, Cu, Mn, Co қоспалары) және алюмель (Ni (93-96%); Al (1,8-2,5%); Mn (1,8-2,2%); Si (0,8-1,2%). Термобудың

өлшенетін температуралық диапазоны $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ден $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ге дейінгі кұрады, өлшеу дәлдігі $\pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Деформациялау үрдісінің температуралық-жылдамдықтық параметрлерінің және салқындатудың әртүрлі режимдерінің алюминий қорытпаларынан жасалған бұйымдарға әсерін бағалау үшін *механикалық қасиеттеріне сынақ* жүргізілді. Бұл үшін алынған үлгілерге созылуға сынақ жүргізілді.

Сынақтар 0.5 мм/мин. тең тұрақты жылдамдықпен бірзекті созылу кезінде жүргізілді. Тәжірибе ұзу машинасында жүргізіледі.

Ұзу машинасы алынған созылу диаграммасының компьютерлік өңдеу бағдарламасымен жабдықталған.

Созылу сынақ жүргізу кезінде, МЕМСТ 1497-84 сәйкес, Аққыштық шегі және беріктік шегі сияқты сипаттамалар анықталды.

Қаттылықты өлшеу сандық дисплейі және $\pm 0,5\%$ дәлдігімен автоматты өлшеу тәсілі бар қаттылықты анықтауға арналған ТН600 таңбалы қаттылықты өлшегішпен жасалды. Д16 қорытпасына арналған жүктеме 100 кг кұрады.

Метал кұрылымын қалыптастыруға арналған деформациялау параметрлерін бағалау үшін металлографиялық зерттеулер жасалды.

Микрошлифтерді өңдеу келесі сызба бойынша Келлер ерітіндісімен жасалды [4 қосымша]: $10\text{-}15$ секунд бойы ерітіндімен өңдеу, одан кейін $2\text{-}3$ минут бойы салқын ағын сумен жуу, ауада кептіру.

Беттің тазалығын бақылау көзбен қарап жасалды. Үлгілердің шағын кұрылымын саралау зерттеу микроскопын пайдаланумен жасалды.

3 ЗЕРТТЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ

Жартылайфабрикаттардың механикалық қасиеттері мен құрылымы бірқатар параметрлерге: материалдың химиялық құрамына, деформациялану жағдайына, тікелей деформациялау барысында ғана емес, одан кейін де, салқындату кезінде немесе кейінгі ыстықпен өңдеу кезінде де қалыптасатын кейіннен ыстықпен өңдеу түріне байланысты.

Сондықтан, деформациялау үрдісінің параметрлерінен механикалық сипаттамаларды жасау кезінде, материалды өңдеу кезінде туындайтын НДС параметрлерінің пластикалық деформациямен қатарлас жүретін физикалық құбылыстармен өзара әрекетін ескеру қажет.

3.1 Бұйымның құрылымын және қасиетінің қалыптасу үрдісін анықтайтын факторлар

Өнім сапасын бағалау үшін қолданылтын бірқатар параметрлер (беріктік шегі, құрылымның сипаттамалары, қаттылық) деформациялану жағдайларына байланысты: деформация дәрежесіне және деформациялық үрдістің температуралық-жылдамдықтық параметрлеріне. Сондай-ақ құрылымның қалыптасуына ыстық деформациядан кейін немесе кейінгі термоөңдеуден кейін салқындату барысындағы қайта кристалдану үрдісінің жүру толықтығы әсер етеді.

Осылайша, өңдеудің толық циклынан кейін дайындама материалының сипаттамалар кешенінен әсер ететін, анықтаушы параметрлер болып температура, деформация дәрежесі және пластикалық деформациядан кейінгі салқындату жылдамдығы табылады. Осыған байланысты, осы шамалардың математикалық үлгідегі өзгеру диапазонын анықтау қажет.

3.1.1 Зерттелетін қорытпалардың өңдеу температурасының өзгеру диапазонын анықтау

Деформацияның температуралық режимі, дайындама материалының құрылымына, беріктің және пластикалық қасиеттердің көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер етеді.

Д16 қорытпасынан жасалған жартылайфабрикаттарды соғу және қалыптау кезіндегі деформациялаудың температуралық диапазоны 470-370 °С. Сығымдауды және жұқартуды >400 °С температурасында жасайды. Бірақ түрі өзгерген кезде металдың деформациялық қыздырылуы жүреді, сондықтан жекелеген бөлімшелердің температурасы берілгеннен жоғары болады. Сондықтан, осы факторды ескеру үшін о бастан температуралық аралықтың берілген шегінен жоғары берілген температурада деформациялық үрдісті зерттеу қажет.

Алюминий қорытпаларының ыстық деформациясының келесі ерекшеліктері бар:

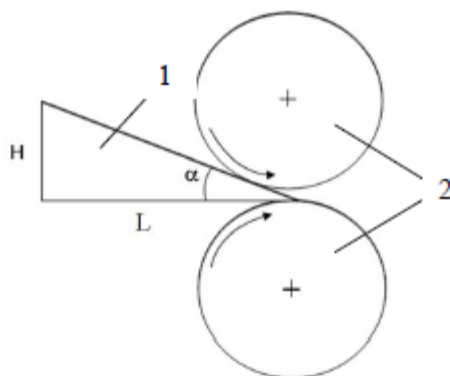
- 80-100 °С дейін жететін деформацияның жіңішке температуралық аралығы;

- Қатты қызып кетуге жоғары сезімталдық. Д16 қорытпасы 495- 510 °С температурасындағы суда шынықтырылады және кейіннен 4 тәулік бойы табиғи ескіртуге ұшыратылады [16].

Бұйымның металлографиялық құрылымының және беріктік қасиеттерінің қалыптасуына деформациялау температурасының, деформациялық қыздырудың және ыстықпен өңдеп мекемдеу үрдістерінің жүруінің әсерін ескеру үшін, материалдың үш үлгісі, үш түрлі әртүрлі температураға дейін қыздырылды. Температураны таңдау келесі шарттарды орындаумен жүзеге асырылды: температураны өлшеу деңгейлері бірдей қашықтықта тұратын болып табылды: 380 °С (деформациялаудың температуралық аралығының басталуы), 450 °С (ортасы) және 520 °С (соңы).

3.1.2 Деформация дәрежесінің өзгеру диапазонын анықтау

Пластикалық деформация кезінде қасиеттердің қалыптасуын кешенді зерттеу үшін деформацияның әртүрлі дәрежесінде сынақтардың көп мөлшерін жүргізу қажет болды. Тәжірибелердің қажетті мөлшерін азайту үшін сына тәріздес түрдегі үлгілер қолданылды (8 Сурет).

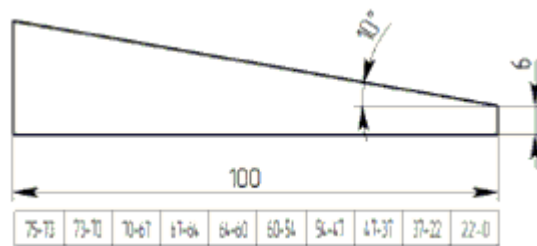


1 – сыналқы дайындама; 2 – жұқарту станының біліктері

8 Сурет – Сыналқы үлгілерді жұқарту сызбасы

Сына тәріздес үлгілердің түрін ұзына бойғы жұқартумен өзгерту дайындаманың ұзындығы бойымен деформацияның таралуының жіктелген суретін алуға мүмкіндік береді.

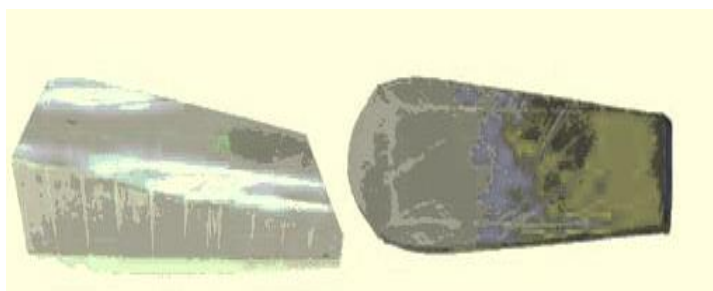
Мысалы, ұзындығы 100 мм, ең аз қалыңдығы 6 мм және ылди бұрышы 10° сыналқы үлгілердің біліктерінің арасындағы саңылау 6 мм жұқарту бір үлгіде 0-ден 75%-ға дейінгі деформация дәрежесін зерттеуге мүмкіндік береді (9 Сурет). Деформацияның мұндай диапазоны МҚӨ үрдістерінің көпшілігі үшін барынша тән болып табылады. Осылайша, материалды үнемдеу, сондай-ақ жүргізілетін тәжірибелердің қажетті мөлшерін азайту жүзеге асырылады.



9 Сурет – Сыналық үлгіні жұқарту кезінде деформация дәрежесінің таралуы

Осылайша, зерттеулерді жүргізу үшін Д16 алюминий қорытпасынан жасалған, жоғарыда аталған өлшемдері бар сыналық үлгілер дайындалды.

Әрбір үлгінің бүйір бетінде бірдей аралық (10 мм) арқылы жұқартудан кейінгі деформация дәрежесінің таралуын бағалауға арналған тіке белгілер салынған (10 Сурет). Олардың көмегімен бір бірінен кертпе қадамының жартысынан – 5 мм-ден артық емес қашықтықта тұрған, деформацияланған үлгінің нүктелеріндегі деформация дәрежесінің шамасын дәл анықтауға болады. Берілген температураға дейін қыздырғаннан кейін, әрбір сыналық үлгі жұқарту станында біліктер арасындағы 6 мм-лік саңылау шамасымен деформацияланды.



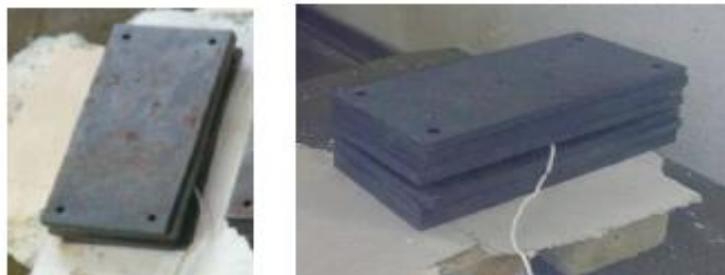
а) деформацияға дейін; б) деформациядан кейін

10 Сурет – Тіке кертпесі бар сыналық үлгі

3.1.3 Салқындау жылдамдығын анықтау

Үлгіні қайта кристалданудың басталу температурасынан жоғары температурада деформациялаудан кейінгі салқындату кезінде материалда соңғы бұйымның металлографиялық құрылымының және қасиеттерінің қалыптасуына айтарлықтай әсер ететін қайта кристалдану үрдісі жүреді. Бұл үрдіс уақыт ішінде және белгілі температураға дейін жүреді. Металдарды қысыммен ыстық өңдеуден кейін салқындату жылдамдығы салқындату режимінен де, жартылайфабрикаттың геометриялық параметрлерінен де тәуелді болуы мүмкін. Массивтік дайындамаларда ішкі және сыртқы қабаттар әртүрлі жылдамдықпен салқындайтын болады, соның нәтижесінде кесінді бойында құрылым мен қасиеттердің айтарлықтай градиентін алуға арналған

жадайлар жасалады. Сондықтан, тәжірибе жүргізу кезінде уақыт факторын ескеру қажет. Сыналық үлгілердің бірдей формасы мен өлшемдері салқындатудың арнайы шарттарын үлгілеуді талап етеді, мұнда әрбір үлгі белгілі жылдамдықпен салқындайтын болады. Салқындатудың әртүрлі режимдерінің жүзеге асыру тәсілдерінің бірі – әртүрлі қуаттылықтағы қосымша жылу оқшаулаушыларды пайдалану. Осы мақсатта өлшемдері 200x300x10мм құрыш тақталарды қолдану ұсынылды, олар сыналық үлгілермен бірге дәл сол температураларға дейін қыздырылады. Жылу оқшаулаушыларды пайдалану деформацияланған сыналық үлгілерді салқындату барысында үш режимді ұйымдастыруға мүмкіндік береді – ауада; құрыш тақталардың 2 қабатының арасында – орташа қуаттылықтағы оқшаулаушы; құрыш тақталарының 4 қабатының арасында – жоғары қуаттылықтағы оқшаулаушы. Осылайша, жұқартудан кейін, ауада салқындатылғандардан басқа әрбір үлгі, салқындатудың берілген параметрлеріне сәйкес жылу оқшаулаушыларына орналастырылды (11 Сурет).



а) тақталардың 2 қабатының арасында, б) тақталардың 4 қабатының арасында

11 Сурет – Әртүрлі қуаттылықтағы оқшаулаушылардағы үлгілердің салқындау қабатының арасында

Ауада салқындатылатын үлгі, дайындаманың сыртқы қабаттарының сақиндау үрдісін үлгілейді, ал жылу оқшаулаушыларды қолдану массивті дайындаманың орталық және аралық қабаттарының салқындауын үлгілеуге мүмкіндік береді. Жұқартудың алдында үлгілерді қыздыру және салқындату режимдері 4 Кестеде көрсетілген.

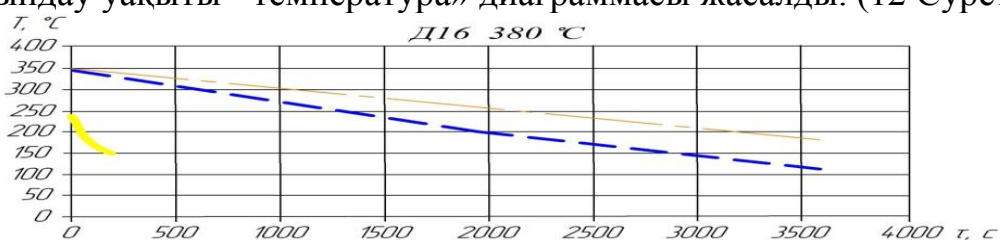
4 Кесте- Сыналық үлгілердің зерттеу режимдері

Материал	Қыздыру температурасы, °C	Салқындату режимі
----------	---------------------------	-------------------

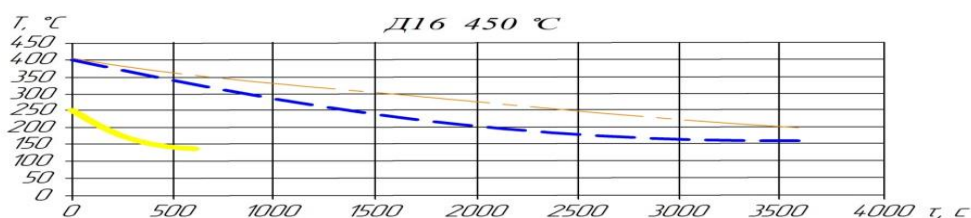
Д16	380	Ауа
		Жылу оқшаулаушыда (2+2 тақта)
	450	Жылу оқшаулаушыда (2+2 тақта)
		Жылу оқшаулаушыда (4+4 тақта)
	520	Ауа
		Жылу оқшаулаушыда (2+2 тақта)
Жылу оқшаулаушыда (4+4 тақта)		

Тәжірибе келесі түрде жасалды: Д16 қорытпасынан жасалған үш сыналық үлгілер 520 °С температурасына дейін қыздырылды, ұзына бойға жұқартумен деформацияланды және әртүрлі үш режимдер бойынша (ауада, тақталардың екі қабаттарының арасында және тақталардың төрт қабаттарының арасында) салқындатылды. Ұқсас түрде 450 және 380 °С температураларында тәжірибелер жасалды.

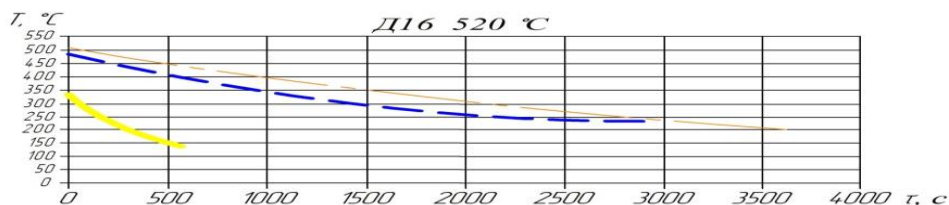
Салқындау жылдамдығын анықтау үшін әрбір үлгіні сынау кезінде термобудың көмегімен уақыттағы оның температурасының өзгеруі туралы деректер алынып отырды. Өлшеулер қайта кристалдану соңындағы температураға жеткен кезде тоқтатылды. Алынған деректердің негізінде «салқындау уақыты - температура» диаграммасы жасалды. (12 Сурет).



а)



б)



в)

12 Сурет- Д16 қорытпасынан жасалған үлгілердің 380 °С (а), 450 °С (б), 520 °С (в) температураларында жұқартудан кейін, салқындату жағдайларына қарай, салқындау уақыты

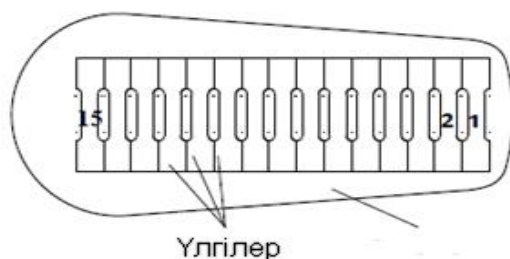
Алюминий қорытпаларындағы қайта кристалдану 230-200 °С температурасына дейін мүмкін. Графиктен көрініп тұрғандай, ауада салқындатылатын үлгілерде, қайта кристалдану үрдісі іс жүзінде салқындаудың алғашқы минуттарында аяқталатындығы, сонымен қатар жылу

оқшаулаушыларын пайдалану қайта кристалдану үрдісінің жүру ұзақтығын 30-40 минутқа дейін көбейтетіндігі көрініп тұр.

Деформациялауды және салқындатудың әртүрлі режимдерін жүзеге асыру нәтижесінде алынған үлгілерді, түр өзгеру параметрлерінің механикалық сипаттамаларына және құрылымына әсерін анықтау мақсатында зерттеу қажет.

3.2 Сыналы белдіктерді ыстықтай өңдеу үдерісінде материалдың механикалық сипаттамалары мен құрылымын эксперименттік анықтау

Үлгілердің ұшындағы механикалық қасиеттеріндегі пішінін өзгерту параметрлеріне әсерін және суытудың әр түрлі режимдерін бағалау үшін керуге арналған сынақтар мен Бринелль бойынша беріктікті өлшеулер жүргізілді. Ол үшін иленген дайындамадан 15 үлгі кесілді. Кесінді схемасы және алынған үлгілер 13 суретте ұсынылған.



13 Сурет – Пішіні өзгертілген сыналы дайындамадан керуге арналған үлгілерді кесу схемасы

Кесілген үлгілер керуге арналған сынақтарға ұшырады (14 Сурет), нәтижесінде «жүктеме-орын ауыстыру» диаграммасы мен ағу шегі мен беріктік шегінің шамасы алынды.

Пішінін өзгерту процесі параметрінің керуге арналған сынаққа ұшыраған үлгілерден алынған құрылымды қалыптастыруға әсерін анықтау үшін ажыраған орында металлографиялық зерттеулер үшін микрошлифтар дайындалды. Одан кейін шлифтың үстінде беріктік өлшенді.



а) бастапқы үлгі,



б) керуге арналған сынақтан кейінгі үлгі

3.2.1 Деформациялау процесінің кернеулі-деформациялау жай-күйінің және температуралық-жылдамдық шарттарының қорытпалардың механикалық қасиетіне әсері

Қысымды ыстықтай өңдеу тәсілінен алынған жартылай фабрикаттар деформациялау шарттарына байланысты қайта кристалдыратын, қайта кристалданбайтын немесе аралық құрылымды болуы мүмкін. Құрылымдағы айырмашылық үлкен тәжірибелік мәнге ие, себебі алынатын бұйымның механикалық қасиетінің деңгейіне тікелей әсер етеді. Жүргізілген сараптамалар деформация мен суыту жылдамдығының қол жеткізген деңгейінің технологиялық процесінің температуралық-жылдамдық параметрлерінің жартылай фабрикаттардың құрылымы мен механикалық қасиеттерін қалыптастыруға арналған әсерін анықтауға мүмкіншілік береді.

Керуге арналған сынақ пен қаттылықты өлшеуге арналған сынақ барысында алынған деректер негізінде деформациялау процесі параметрлерінің (деформация температурасы, деңгейі және суыту режимі) механикалық қасиеттерінің көрсеткіштеріне байланысты диаграммалар құрылды. Механикалық қасиеттер 13 суретте көрсетілген схема бойынша илемделген дайындамадан кесілген көлденең үлгілер үшін алынды.

Диаграмманы талдау иілу деформациясын тудыратын бірнеше процестердің болуын көрсетеді. Диаграммадағы әр майысу бір процестің басқалардан кейін қосылуын, тоқтауын немесе ауысуын білдіреді. Механикалық қасиеттердің өзгеруі графиктерінде екі майысу байқалады:

1. Кіші деформациялар аймағында деформация деңгейін арттыру кезінде ағу шегі, беріктік шегі мен қаттылық бірсарынды ұлғаяды, себебі иілу деформациясында металл бекиді, ал құрылым ұсақталып, біртекті болады.

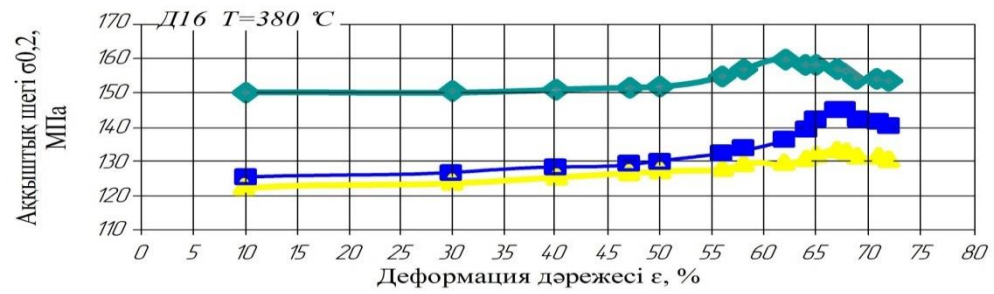
Беріктенудің негізгі себебі болып жылжу тығыздығының артуы табылады.

2. Деформация деңгейі 45-50% болғанда, қисықтың көлденең оське көлбеу бұрышы артып, беріктік жылдамдығының артуы туралы куәландырады. Қисықтың тік сызықты заңнан ауытқуы жылжудың бұрандама компонентінің көлденең жылжуымен байланысты.

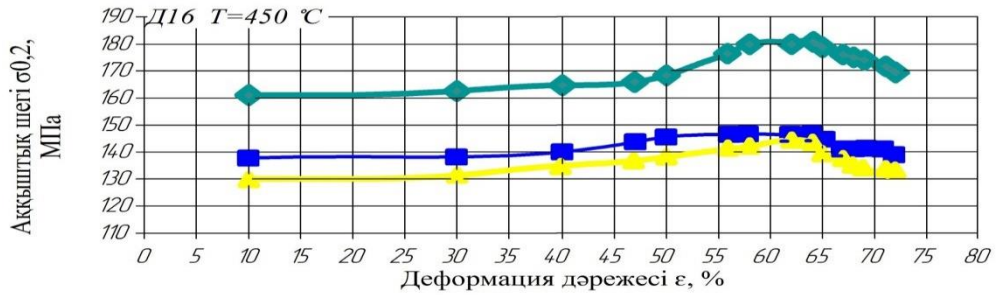
Деформациялық беріктік көлденең жылжуға кедергі болатын жылжудың шеткі компоненттерінің жиналуымен байланысты. Механикалық сипаттамалар диаграммаларының шығыс бөлігін K_u беріктік шартты коэффициентімен сипаттауға болады, тіпті көлденең жылжу процестері мен еңбектеп өтуінің салдарынан аз ғана деформация кезінде де босандану байқалады [21].

Д16 қорытпасы үлгілерінің деформациялануы кезінде деформация деңгейі механикалық қасиеттердің деңгейіне аз әсер етеді (15-20-сурет). Беріктік шегі үшін қисық сипаты сызықтыққа жақын және анықтаушы

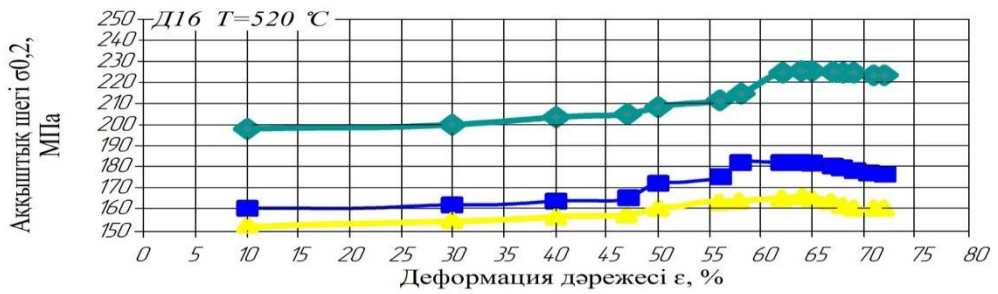
параметрлері болып металдың ысу температурасы мен суыту жылдамдығы табылады.



а)



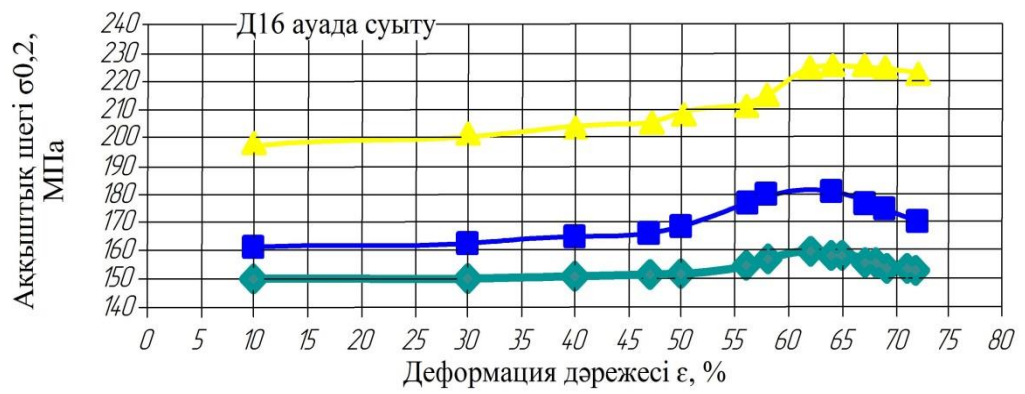
б)



в)

◆ Ауада суыту ■ Екі тақта қабаттарының арасында суыту
▲ Төрт тақта қабаттарының арасында суыту

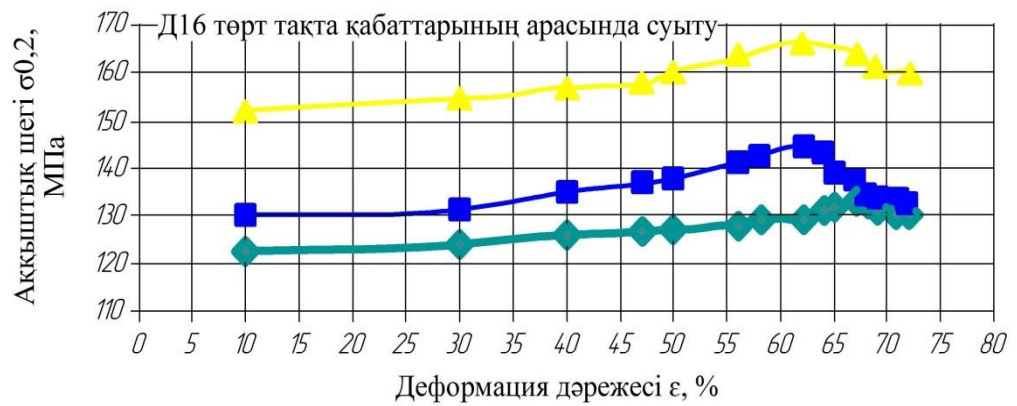
15 Сурет – Деформация деңгейі мен суыту шарттарына байланысты 380 °C (а), 450 °C (б), 520 °C (в) температура кезіндегі бойлық жұқартумен деформацияланған Д16 қорытпасы үлгілерінің $\sigma_{0,2}$ ағу шегінің шамасы



а)



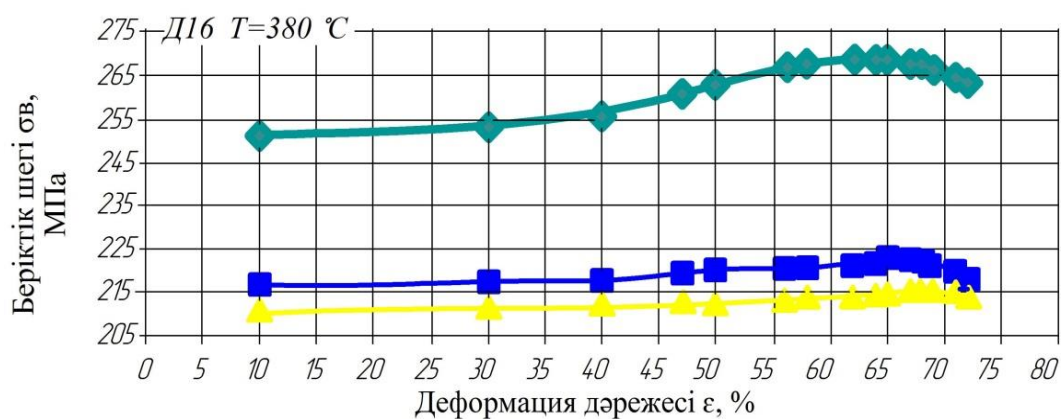
б)



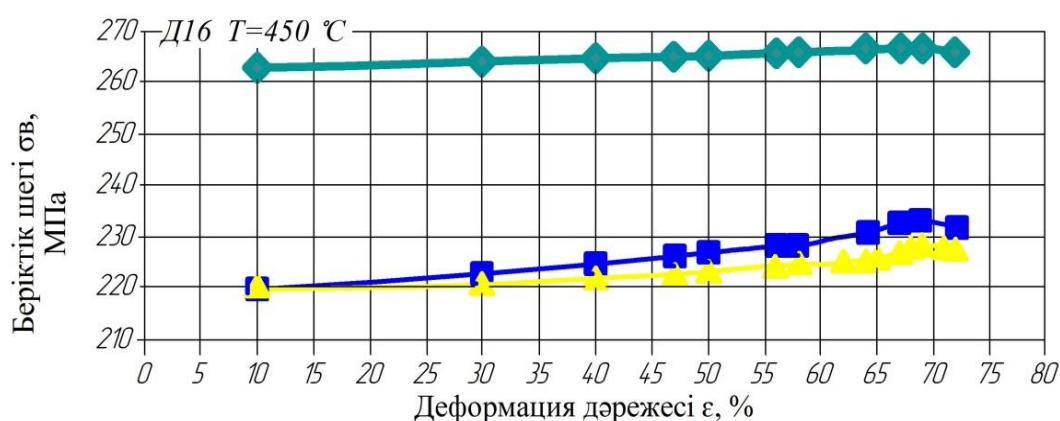
в)

◆ 380 °C ■ 450 °C ▲ 520 °C

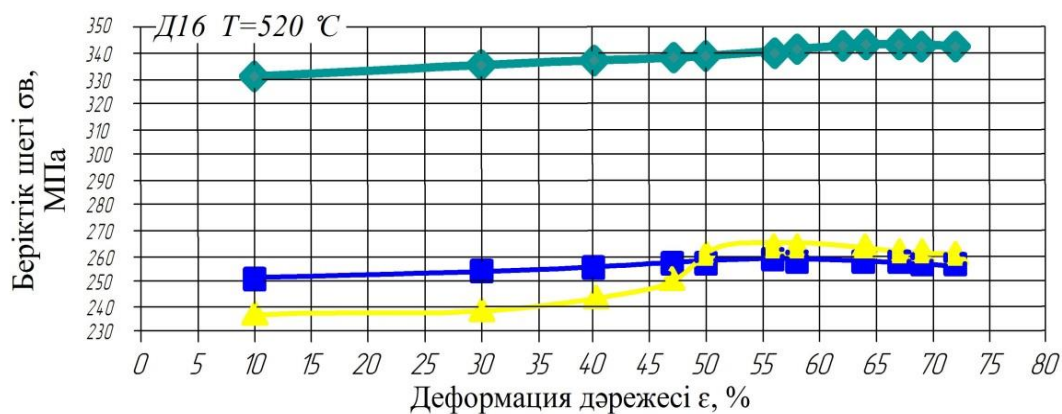
16 Сурет – Деформация деңгейі мен деформация температурасына байланысты бойлық жұқартумен деформацияланған және ауада суытылған (а), плитаның 2 қабаты арасындағы (б), плитаның 4 қабаты арасындағы (в) Д16 қорытпасы үлгілерінің $\sigma_{0,2}$ ағу шегінің шамасы



а)



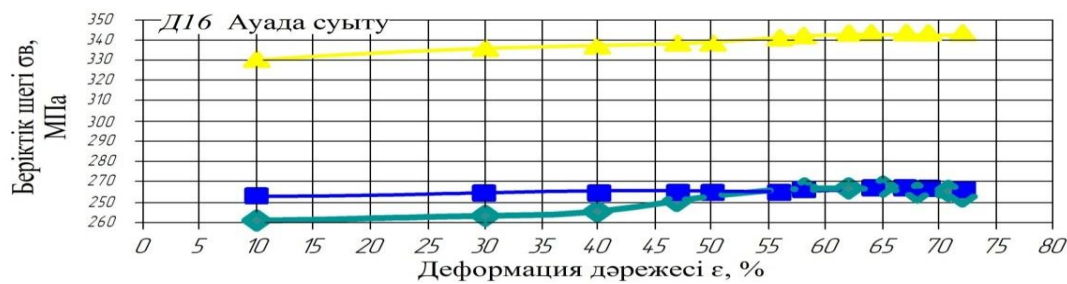
б)



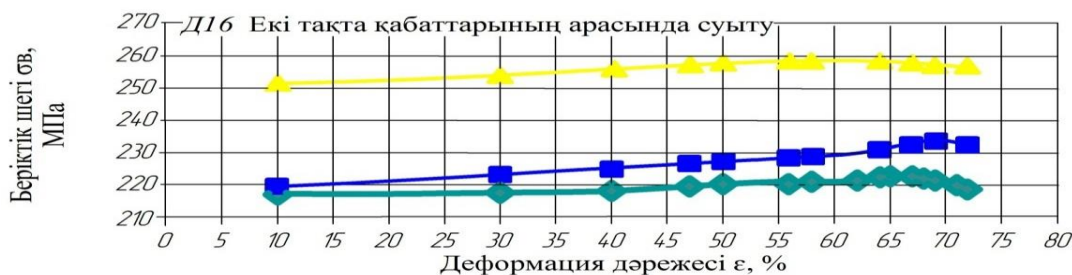
в)

- ◆ Ауада суыту
- Екі тақта қабаттарының арасында суыту
- ▲ Төрт тақта қабаттарының арасында суыту

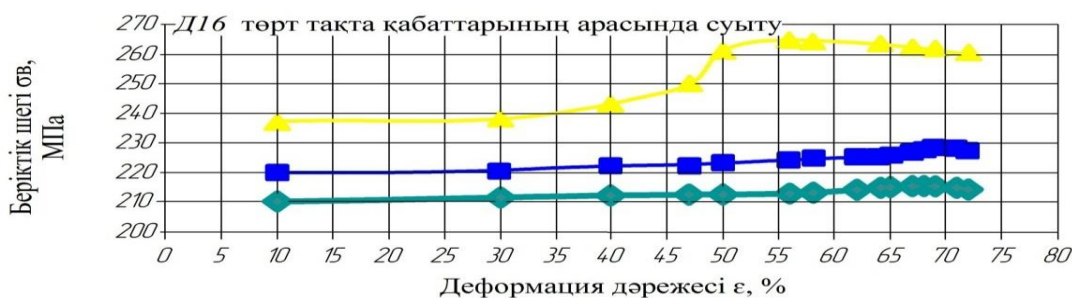
17 Сурет – Деформация деңгейі мен суыту шарттарына байланысты 380 °C (а), 450 °C (б), 520 °C (в) температура кезіндегі бойлық жұқартумен деформацияланған Д16 қорытпасы үлгілерінің σ_b беріктік шегінің шамасы



а)



б)

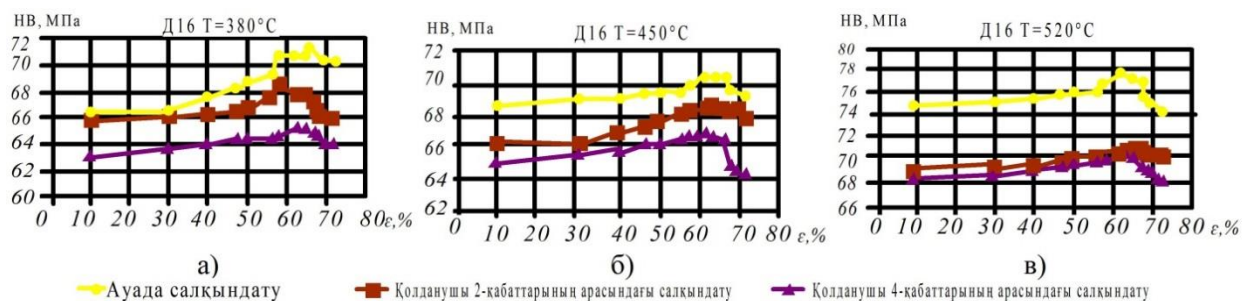


в)

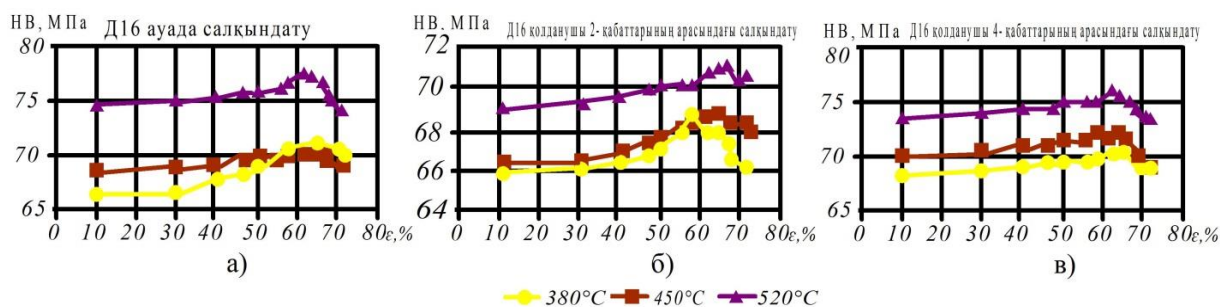
◆ 380 °C ■ 450 °C ▲ 520 °C

(а), плитаның 2 қабаттары арасындағы (б), плитаның 4 қабаттары арасындағы (в) Д16 қорытпасы үлгілерінің σ_b беріктік шегінің шамасы

18 Сурет – Деформация деңгейі мен деформация температурасына байланысты бойлық жұқартумен деформацияланған және ауада суытылған



19 Сурет – Деформация деңгейі мен суыту шарттарына байланысты 380 °C (а), 450 °C (б), 520 °C (в) температура кезіндегі бойлық жұқартумен деформацияланған Д16 қорытпасы үлгілерінің Бринелль бойынша қаттылық шамасы



(а), плитаның 2 қабаты арасындағы (б), плитаның 4 қабаты арасындағы (в) Д16 қорытпасы үлгілерінің Бринелль бойынша қаттылық шамасы

20 Сурет – Деформация деңгейі мен деформация температурасына байланысты бойлық жұқартумен деформацияланған және ауада суытылған

Д16 қорытпасы үшін деформациялау процесінің температуралық-жылдамдық шарттарынан механикалық қасиеттерінің өзгеруі АмГ6 қорытпасынан үздік сипатқа ие болады. Осылайша, ең жоғарғы мән 520 °С температурасында өңдеу кезінде және ары қарай ауада суытуда қол жеткізіледі.

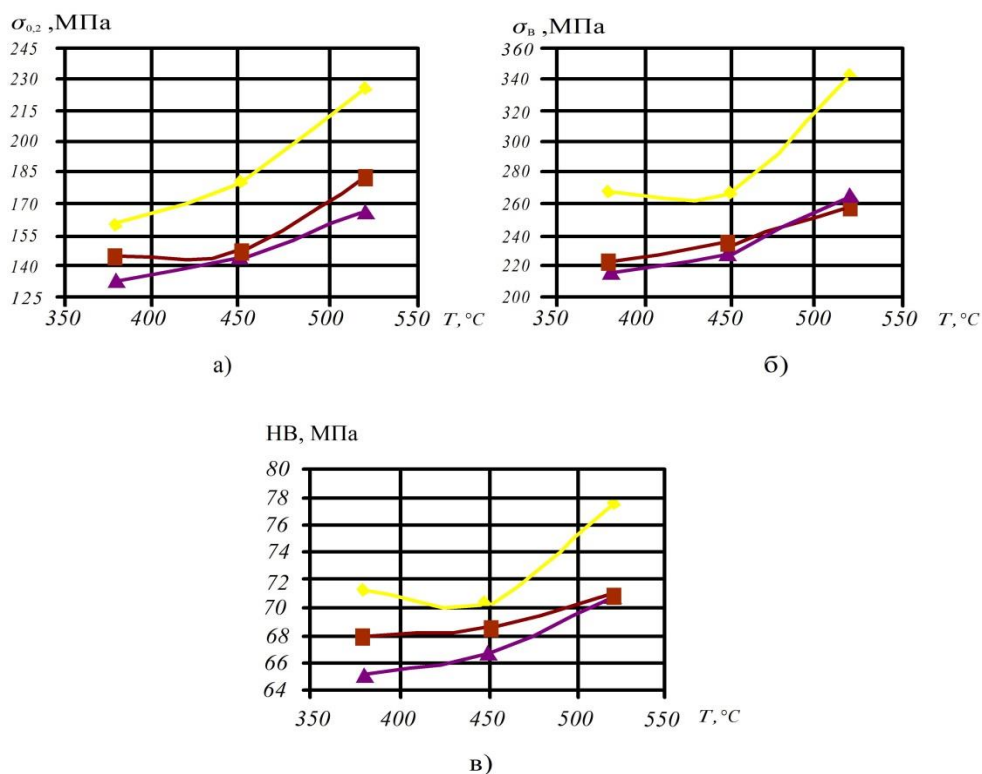
Температураның артуына байланысты механикалық сипаттамалардың артуы Д16 қорытпасының термиялық бекітілетін алюминий қорытпасына жататындығымен түсіндіріледі. Ең жоғарғы беріктік илемдеу мен ескіру термиялық өңдеуінен кейін қол жеткізіледі. Д16 қорытпасы 495-510 °С температурада суда илемделеді, ары қарай 4 тәулік ішінде табиғи ескіруге ұшырайды [16]. Дюралюминді илемдеу кезінде суытудың жоғарғы жылдамдығын қамтамасыз еткен маңызды, сондықтан илемдеу кезінде суды 25-40 °С аралығында ұстап тұрған жөн. Термиялық өңдеудің осындай режимін қолдану 420 МПа шамасында уақытша кедергісі бар жартылай фабрикаттарды алуға мүмкіншілік береді [9]. Илемдегеннен кейін беріктендіргіш фазаларының біршама бөлігі қатты ерітіндінің қосындысын арттыра отырып ериді. Қатты ерітіндінің түйір шекаралары бойынша интерметалл фазаларды бөле отырып, суыту процесінде тіпті кішкене ыдырауы да беріктік қасиетін азайтады.

Аталған зерттеуде ескіру процесінде механикалық қасиеттердің өзгеруін есепке алу үшін ажырауға арналған сынақт үлгілерді жатқызғаннан кейін 10 тәулік ішінде жүргізілді, бірақ, ең жоғарғы беріктікке қол жеткізілген жоқ, себебі Д16 қорытпасынан жартылай фабрикаттарды илеудің реттелген шарттары қатаң сақталған жоқ.

Табиғи ескіру процесінде механикалық қасиеттердің артуы аймақтың қатты ерітіндісі торында мыс атомдарымен байытылған Гинье-Престон аймағының пайда болуына және ұсақ дисперсті θ -фазаның бөлінуімен байланысты [17]. Жоғары температурада ұстап тұру уақытының артуына байланысты бөлінген бөліктердің коагуляциясы ұлғаяды және механикалық сипаттамалар құлайды.

Осылайша, Д16 қорытпасын нығайту қосымша құрылым мен илемдеу мен ескіру әсерінен пайда болған бекітуден құралады.

Д16 қорытпасына арналған деформациялау температурасына және суыту режиміне байланысты ағу шегінің, беріктік шегінің және қаттылықтың ең жоғарғы мәні 5 кестеде және 21 суретте келтіріледі.



21 Сурет – Температура мен суыту шарттарына байланысты бойлық илеммен деформацияланған, Д16 қорытпасы үлгілерінің ағу шегінің $\sigma_{0,2}$ (а), беріктік шегінің $\sigma_{в}$ (б) және қаттылықтың (в) ең жоғарғы мәндері

5 Кесте - Д16 қорытпасы үлгілерінің механикалық қасиеті

T, °C	$\sigma_{0,2}$, МПа			$\sigma_{в}$, МПа			НВ, МПа		
	Ауа	2 қабат плита	4 қабат Плита	ауа	2 қабат плита	4 қабат плита	Ауа	2 қабат плита	4 қабат Плита
380	159,7	145,1	133,5	267,6	222,5	215,4	71,3	67,9	65,2
450	180,8	146,9	144,6	266,7	233	228,3	70,4	68,5	66,7
520	225,7	182,3	166,4	343	258,1	264,9	77,6	70,9	70,9

Ішінара жасытылған үлгілердің тиісті сипаттамаларымен салыстырғанда (T = 380 °C, плитаның 4 қабаты арасында суыту) табиғи

ескірген үлгілердің ағу шегі ($T = 520 \text{ }^\circ\text{C}$, ауада суыту) 92,2 МПа-ге (40,9%), беріктік шегі 127,6 МПа-ге (37,2%), ал қаттылық 12,4 МПа-ге (19%) артады.

3.2.2 Кернеулі-деформацияланған жай-күйдің әсерін және деформациялаудың температуралық-жылдамдық шарттарының қорытпа құрылымын қалыптастыруға әсері

Ыстық деформацияның аса маңызды және аз зерттелген тараптарының бірі құрылымдық өзгерістер мен ҚҚС өзара байланысы болып табылады. Қалыптасқан құрылымның тұрақсыздығы салдарынан ыстық деформациядан кейін суыту кезінде механикалық сипатқа, тиісінше жартылай фабрикаттың құрылымына біршама әсер ететін босаңсудың статистикалық процестері өтуі мүмкін.

Д16 қорытпасы сыналы үлгілердің материал құрылымын зерттеу олардың деформациялық қайта өңдеудің аумақтық сипатын көрсетті. Микроскоппен 500-ге дейін ұлғайту кезінде көрінетін зерттелетін қорытпалардың деформацияланатын үлгілерінің құрылымы қорытпа матрицасынан және артық фаза қосуларынан тұрады. Кернеулі-деформацияланатын жай-күйге, ысыту температурасына, деформациялық ысыту шамасына, дайындаманың байланыстыру орындарында суыту және аспапқа және суыту жылдамдығына байланысты осы қосулардың саны мен өлшемі әр нақты қимада айырмашылығы бар. Көрсетілген факторлардан бөлек құрылымның біртексіздігінің себебіне бастапқы дайындама материалының біртексіздігі және қорытпадағы интерметаллидтердің саны болуы мүмкін, ол сыналы үлгіде жоғары тығыздықты бөлшектері бар кездейсоқ орналасқан аумақтардың пайда болуына алып келеді. Сондай-ақ артық фазалардың көлемдік санының өзгеруі қорытпаның таңбалы құрамы шегіндегі негізгі қоспалаушы элементтердің құрамының өзгеруімен байланысты болуы мүмкін [22].

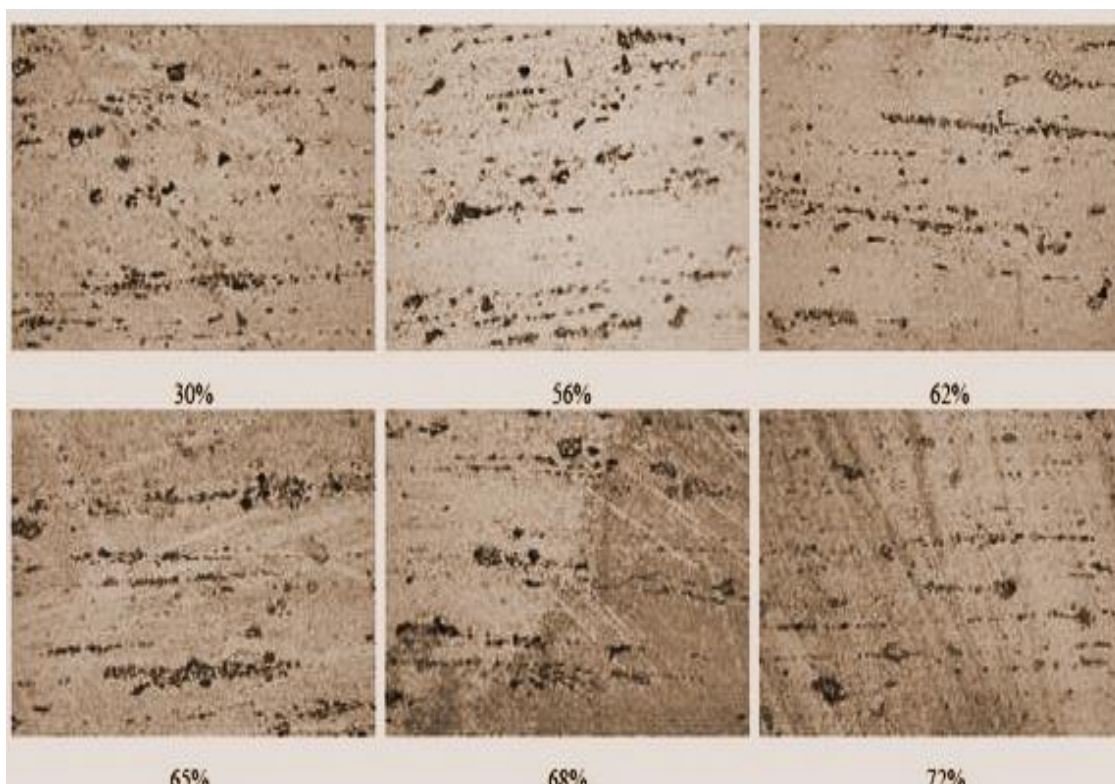
Деформациялау кезінде түйірді бөлшектеу мен оларды металдың аса қарқынды ағыны бағытына тарту орын алады. Бір уақытта интерметаллидтер мен металл емес қосындылардан тұратын қабаттардың жиынын тарту жүргізіледі, осылайша макроқұрылымның қуыстылығы пайда болады. Илемдеу кезінде бойлық бағыттағы тарту мен биіктік бағыттағы сығу бойлық және көлденең шлифтердегі қатардың пайда болуына алып келеді. Қатарды бөлу сипаты механикалық сипаттың деңгейіне әсер етеді [23], үлкен иілетін деформацияларда талшықты құрылым тіпті деформациялау температурасы қайта кристалданудың басталу температурасынан артқан жағдайда да байқалады.

Түйірлі құрылымнан бөлек механикалық қасиеттердің деңгейіне өңдеу параметрлеріне байланысты құлаудың әр түрлі сатыларында болатын және интерметаллидті фазалардың әр түрлі дисперстілігіне ие қатты ерітіндінің жай-күйі әсер етеді [22]. Деформациялау және баяу суыту процесінде қатты ерітіндіден қайта кристалдауды процесін баяулататын екінші фазаларының бөліктерінің бөлінуі мүмкін, оның нәтижесінде қайта кристалдану аналық

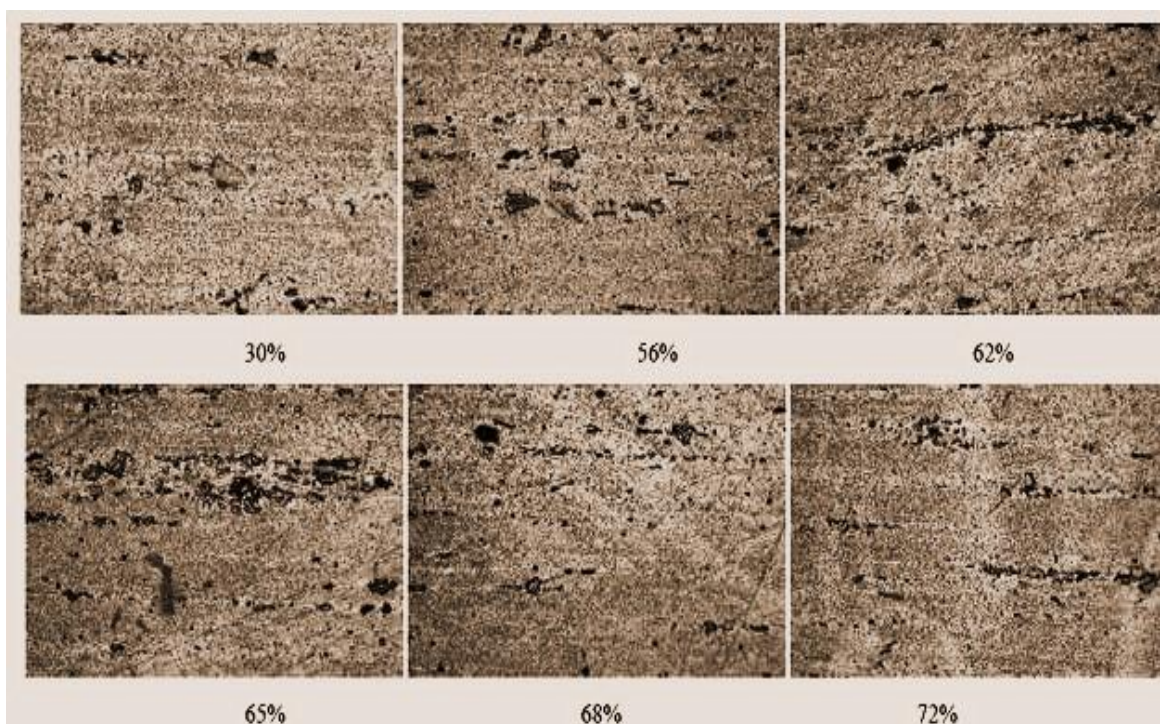
түйірде өсу есебінен ғана мүмкін болады, ұрықтың көрші түйірде өсуі мүмкін емес. Қайта кристалдану ұрықтың қалыптасуына тұрақсыз шекараларды болуды болжайтын субтүйіршік коалесценция әсер етеді.

Схема бойынша кесілген, 13 суретте көрсетілген көлденең үлгілерден ажырау орнында механикалық сынақтардан кейін металл графиттік зерттеулер үшін шлифтер дайындалды.

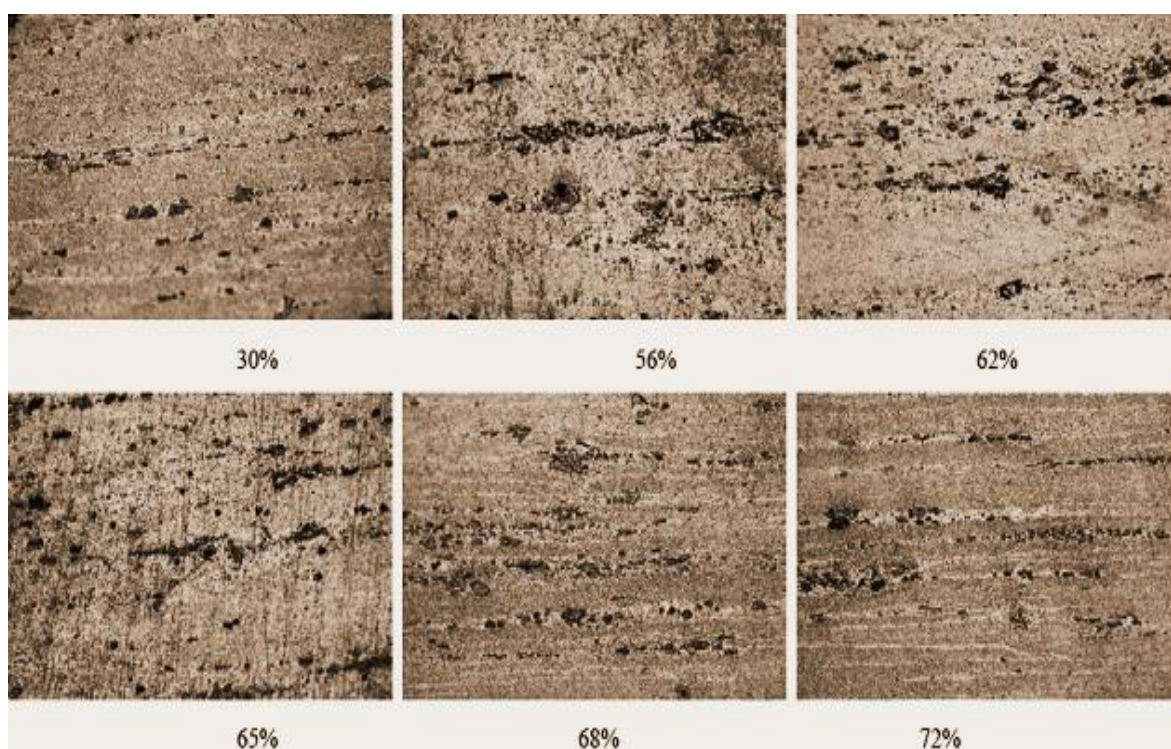
Д16 қорытпасынан жасалған жартылай фабрикаттардың құрылымының деформациялану параметрлерінен бөлек субтүйіршікті құрылымға тәуелді қатты ерітіндінің құлау деңгейі әсер етеді. Осылайша, бір жағынан, диффузиялық процестер шынықтыру вакансиясының концентрациясын азайту салдарынан баяулайды. Екінші жағынан, субшекаралар жеңілдетілген диффузияның және жаңа фазаның пайда болу орны болып табылады [23]. Жалпы жағдайда, ескіру процестері субтүйіршікті құрылымның әрекетінен жеделдетіледі.



24 Сурет – 380 °С температурада илемдеуден кейін және ауада суытудан (x200) кейін деформацияның әр түрлі деңгейіндегі Д16 қорытпа үлгілерінің микроқұрылымы



25 Сурет – 380 °С температурада илемдеуден кейін және плитаның 2 қабаты арасында суытудан кейін (x200) деформацияның әр түрлі деңгейіндегі Д16 қорытпасы үлгілерінің микроқұрылымы



26 Сурет –380 °С температурада илемдеуден кейін және плитаның 4 қабаты арасында суытудан кейін (x200) деформацияның әр түрлі деңгейіндегі Д16 қорытпасы үлгілерінің микроқұрылымы

Полигондау деңгейі неғұрлым көп болса, соғұрлым субшекаралардың бағыты жоғалады, тиісінше, олардың ұрықтану қабілеті артады және жаңа фазалардың басым бөлігі субшекараларда бөлінеді, ол морт сыну себебі болып табылады. Субшекаралардың морт сыну әсері ескіру процесінің интенсификация бойынша көбейеді. Бірақ аталған әсер бұзылу тұтқырлығына ғана әсер етеді және үлгілерді созуда анықталатын механикалық қасиетке аз әсер етеді [23].

Түйір көлемі S_v көлем бірлігінде түйіршіктің шекті бетіне әсер етеді, осылайша шекараға шығарылған қоспа түйіршіктерінің қатысты мөлшерін анықтап, металл материалдың саңылаудың пайда болуына және коррозиялық процестердің дамуына қарсы тұру қабілеті туралы қорытынды шығаруға мүмкіншілік береді. Жалпы жағдайда, түйіршіктің көлемінің азаюына байланысты металл материалдың тұрақтылығы артады.

Сараптамалардың жүргізілген сериясы иілу деформациясы барысындағы құрылымның негізгі өзгеру заңдылығын анықтауға мүмкіншілік берді:

1. Деформация деңгейінің өсуіне байланысты интерметаллидтерді қоюландыру және оларды илемдеу бағытына қарай шығару жүреді. Тиісінше, интерметаллидтердің жергілікті концентрациясы артады.

2. Температураның артуы мен деформация деңгейінің азаюы қайта кристалданған түйіршіктердің көлемінің артуына және интерметаллидтердің коагуляциясына әсер етеді, сондықтан қатарлар арасындағы қашықтық артады.

3. Суыту жылдамдығын азайту тұрақты құрылымды алуға мүмкіншілік береді. Тиісінше, келесі қайта кристалдану бастапқы температурасынан жоғары қызған кезде тез суытылатын үлгілердегі релаксациялық процестер баяу суыйтынға қарағанда ерте басталады. Мұны суыту жылдамдығы әр қимада әр түрлі болатын ірі габаритті бұйымдар өндірісінде ескерген жөн. Тез суыйтын үстіңгі қабаттар келесі ысыған кезде қайта кристалдануға бейім, бұл біршама құрылымдық біртексіздікке алып келуі мүмкін. Осылайша, бағытталған түйіршіктердің үлкен саны бар бағытталған деформацияланған құрылымды құру жартылай фабрикат материал мен дайын бұйымның тұрақтылық беріктік қасиетін қамтамасыз етеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Деформациялау мен суытудың әр түрлі режимдерінде σ_b , $\sigma_{0,2}$, $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ сандық мәндері мен НВ алынды. Түрленгіш параметрлерге температура, деформация және ыстық деформациялаудан кейінгі суыту жылдамдығы жатады. Деформация алдындағы ысыту температурасы 380, 450 және 520 °С - ты құрады. Сыналы үлгілерді қолдану бір тәжірибеде 0-ден 75% аралығында деформация деңгейін зерттеу мүмкіншілігін берді, нәтижесінде сараптамалардың талап етілген саны қысқарды. Ыстық өңдеуден кейін суытудың әр түрлі режимдерін үлгілеу үшін әр түрлі қуаттағы жылу окшаулағыштары – болат плиталар қолданылды, ол суытудың үш режимін зерттеуге мүмкіншілік берді: ауада, плитаның 2 қабаты арасында, плитаның 4 қабаты арасында - суыту жылдамдығы тиісінше 0,1;0,35 және 0,6 °С тең.

2. Д16 қорытпасы үлгілерін беріктендіру деформацияның 55-60% деңгейіне дейін жетеді, ары қарай ол артса, механикалық сипаттамалар осалдану процестерінің белсенді дамуы салдарынан төмендейді.

Д16 қорытпасы үлгілері үшін аса үздік механикалық қасиеттер 520 °С температура кезінде өңдеу нәтижесінде және тез қол жеткізілді және аталған режимде Д16 қорытпасында ары қарай табиғи ескіру арқылы ішінара илемдеу жүргізіледі. Бұл жағдайдағы ең жоғарғы механикалық қасиеттер құрады: $\sigma_{0,2}=225,7$ МПа, $\sigma_b=343$ МПа, НВ=77,6 МПа. Деформациялаудың төменгі температурасы мен баяу суыту келесі мәндегі механикалық қасиеттері бар ішінара күйдірілген үлгілерді алуға мүмкіншілік берді: $\sigma_{0,2}=133,5$ МПа, $\sigma_b=215,4$ МПа, НВ=65,2 МПа. Үлгілердің механикалық сипаттамаларының ең жоғарғы және ең төменгі мәндерінің айырмашылығы 40%-ды құрады. Осылайша, Д16 қорытпасын беріктендіру екі құраушыдан тұрады: субқұрылымдық беріктендіруден және илемдеу мен ескіру әсерінен туындаған беріктендіруден.

3. Физикалық тәсілдердің көмегімен, Д16 алюминий қорытпаларының механикалық қасиеті көрсеткіштері және 0,2-1,5 (деформацияның қатыстық деңгейі 0-75% құрады) ауқымда деформацияның қарқыны өзгерген кезде ыстық деформациялаудың технологиялық процесінің параметрі арасындағы тәуелділіктің көмегімен деформация алдындағы ысыту температурасы 380 °С -ден 520 °С -ты және түрін өзгерткеннен кейін суыту жылдамдығы 0,1 °С -тен 0,6 °С -ті құрады.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Промышленные алюминиевые сплавы: Справ. Изд./ Алиева С.Г.,Альт М.Б., Амбарцумян СМ .и др.2-е изд., -М.: Металлургия, 1984. - 528с.
- 2 Дронов А.А., Ваулина О.Ю. Влияние термической обработки на свойства и структуру алюминиевого сплава Д16// Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов международной конференции, Томск, 9 - 11 Июня 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 116-120.
- 3 Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов [Текст]: учебник для студ. высш. уч. завед. /Б.А. Колачев, В.А.Ливанов, В.И.Елагин. -4-е изд. - М.: МИСиС, 2005. -432с.
- 4 ГОСТ 4784-74. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки / Введ. 1974. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 32 с.
- 5 Арзамасов, Б. Н. Справочник по конструкционным материалам [Текст]: справочник/ Б. Н. Арзамасов, Т. В.Соловьева, С. А.Герасимов и др. под ред. Б. Н. Арзамасова, Т. В. Соловьевой. - М.: Изд- во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005.-640 с.
- 6 Зельдович В.И., Шорохов Е.В., Добаткин С.В., Фролова Н.Ю., Хейфец А.Э., Хомская И.В., Насонов П.А., Ушаков А.А. // ФММ. 2011. Т. 111. № 2. С. 439–447.
- 7 Алюминиевые сплавы.- В кн.: Авиация: Энциклопедия / Гл. ред. Г.П. Свищев. - М.: Науч. изд-во «Большая рос. энцикл.» : Центр. аэрогидродинам. институт им. Н. Е. Жуковского, 1994. 736 с
- 8 Новиков, И.И. Теория термической обработки металлов [Текст]: учебник для вузов/И.И. Новиков. - 4-е изд.-М.: Металлургия, 1986.-480 с.
- 9 Б.А. Колачев, В.А. Ливанов, В.И. Елагин. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Металлургия, М. (1981). 416
- 10 И.Ф. Колобнев. Термическая обработка алюминиевых сплавов. Металлургия, М. (1966). 395 с.
- 11 Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов.М.: Высшая школа, 2004 г. - 518 с.
- 12 ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки [Текст] / Введ. 2000. – М.: Изд-во стандартов, 2000 - 11 с.
- 13 ГОСТ 4784-97. Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки (с Изменением №1).
- 14 Арчакова З.Н., Балахонцев Г.А., Басова И.Г. и др. Структура и свойства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов: Справ. изд. – М.:
- 15 Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). Справочник. Под общей редакцией академика РАН И.Н. Фридляндера – К.: «КОНМИНТЕХ», 2005, 365 с.

16 Авиационные материалы. Алюминиевые и бериллиевые сплавы. Часть 1. Деформируемые алюминиевые сплавы и сплавы на основе бериллия: справочник, т.4, книга 1. – М.: ОНТИ, 1982.

17 Мальцев М.В. Metalлография промышленных цветных металлов и сплавов. 2-е изд. – М.: Металлургия, 1970, 364 с.

18 Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. Пер. с англ. – М.: «Металлургия», 1979, 640 с.

19 Фридляндер И.Н. Алюминиевые деформируемые конструкционные сплавы. – М.: «Металлургия», 1979, 208 с.

20 Захаров А.М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. – М.: Металлургия, 1980, 256 с.

21 Бочвар А.А. Metalловедение. – М.: Metalлургиздат, 1956, 496 с.

22 Беляев А.И., Бочвар О.С., Буйнов Н.Н. и др. Metalловедение алюминия и его сплавов: Справ.изд. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Металлургия», 1983, 280 с.

23 Телешов В.В. Развитие технологии производства плит из жаропрочного деформируемого алюминиевого сплава АК4-1 в связи с их структурой и механическими свойствами. Часть 1. Сплавы системы Al-Cu-Mg-Fe-Ni и технология изготовления плит // Технология легких сплавов, №3, 2014, с.14-28.

А-қосымша

SNOL 8.2/1100 электр пешінің техникалық сипаттамалары

Қуаттылық, кВт	1,8
Кернеу, В	220
Жиілік, Гц	50
Фазалар саны	1
Жұмыс кеңістігіндегі атаулы температура, °С, кем емес	1100
Жұмыс кеңістігіндегі орта	ауа
Жұмыс камерасының өлшемдері, мм, кем емес:	
Ені, мм	190
Ұзындығы, мм	295
Биіктігі, мм	133
Атаулы температураға дейін электр пешін қыздыру уақыты, отырғызбай, артық емес	50
Белгіленген режимдегі температураның тұрақтылығы, отырғызбай, кем емес	±4
Температураның әркелкілігі, отырғызбай, °С, артық емес	±10
Температураны автоматты реттеу ауқымы, °С	400:1100
Габариттік өлшемдер, мм, артық емес:	
Ені, мм	440
Ұзындығы, мм	525
Биіктігі, мм	510
Салмағы, кг, артық емес	33

Б-қосымша

Илемдік орнақтың техникалық сипаттамалары

Дайын бұйым өлшемдері, мм:	
Қалыңдығы	0,2 – 2,0
Ені	до 200
Дестелердің айналуының басты жетегінің қуаттылығы, кВт	55
Илемнің ең жоғарғы күші, МН (тонна)	1,0 (100)
Илем күшін өлшеу ауқымы, МН (тонна)	0 – 1,0 (0 – 100)
Илем күшін өлшеуге арналған аспаптардың дәлдік сыныбы, %	0,1
Дестелерді орналастыру дәлдігі, мм:	0,01
Жабдық өлшемдері, артық емес, мм:	
Ені	770
Биіктігі	1914
Ұзындығы	3940
Жабдық салмағы, артық емес, тонна	8,5

В-қосымша

МЕТАМ ЛВ-34 микроскопының техникалық сипаттамалары

Микроскопты үлкейту	100x - 1250x
Хроматикалық түзету жоспарының объективтері	10x/0,25; 20x/0,35; 40x/0,65; 100x/1,25МИ (жартылай жоспарлы ахромат)
Кең бұрышты окулярлар	10x/18мм; 12,5x/16мм
Заттық үстелді жылжыту ауқымы, мм	75X50
Мойынның механикалық ұзындығы, мм	160
Жарық көзі	Галоген шамы 6В, 30Вт
Габариттік өлшемдер, мм	550x280x340
Салмақ, кг	15

Г-қосымша

Түрлі-түсті металдар мен қорытпалардың микросылмасын өңдеуге арналған реактивтер

Атауы	Құрамы	Қолданылуы
Келлер реактиві	Азот қышқылы, 2,5 мл; тұз қышқылы, 1,5 мл; плавикті қышқыл, 1 мл; су, 95 мл	Алюминий қорытпаларындағы түйірлер мен фазаларды анықтайды
Плавикті қышқылдың сутек ерітіндісі	Плавикті қышқыл (фторлы-сутекті) (тығыздық 1,6), 1-1,5 мл; этил спирті, 100 мл	Алюминий қорытпаларындағы α -қатты ерітіндінің түйірінің шекарасын және силуминдегі бастапқы кремнийді анықтайды
Аммиактағы мыс хлоридінің ерітіндісі	Мыс хлориді CuCl_2 , 4 г; аммиак NH_4OH , 50мл	Мыс қорытпаларындағы түйір шекаларын анықтайды
Тұз қышқылындағы темір хлоридінің ерітіндісі	Хлорлы темір FeCl_3 (судағы қаныққан ерітінді), 15 мл; H_2O , 30 мл; тұз қышқылы HCl , 30 мл	
Күкірт қышқылындағы хромпик ерітіндісі	Хромпик $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 2 г; күкірт қышқылы H_2SO_4 , 8 мл; хлорлы натрий NaCl (судағы қаныққан ерітінді) , 4 мл	