

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

Базарбекова Іңкәр Дәулетқызы

«Алюминий қорытпа дайындамаларын ыстықтай илемдеу тәртібі
бойынша зерттеу»

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5B073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« _____ » _____ 2020 ж.

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: «Алюминий қорытпа дайындамаларын ыстықтай илемдеу тәртібі бойынша зерттеу»

5B073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

Орындаған: Базарбекова Іңкәр Дәулетқызы

Ғылыми жетекші:

Ассоциированный профессор

_____ Шамельханова Н. А.

« _____ » _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы Өнеркәсіптік автоматтандыру және цифрлау институты

Өнеркәсіптік инженерия кафедрасы

5B073800 – Материалдарды қысыммен өңдеу технологиясы

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі

PhD д-ф, қауым. профессор

_____ Арымбеков Б.С.

« ____ » _____ 2020 ж.

**Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы Базарбекова Іңкәр Дәулетқызы

Тақырыбы «Алюминий қорытпа дайындамаларын ыстықтай илемдеу тәртібі бойынша зерттеу»

Университет ректорының «__» _____ 20__ ж. №_____ бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «__» _____ 20__ ж.

Дипломдық жобаның бастапқы берістері) Алюминий қорытпаларын прокаттау бойынша жалпы зерттеу

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі

а) Алюминий қорытпаларын прокаттау бойынша жалпы әдеби шолу

б) Симс және Бровман әдістемесітерін зерттеу

в) Ыстықтай прокаттау станогының бақылау жүйесінің мәліметтерін шифрлау және өңдеуді зерттеу

Ұсынылған негізгі әдебиет: 10 атау

Дипломдық жобаны дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәліметтер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Кіріспе. Алюминий қорытпаларын прокаттау бойынша жалпы әдеби шолу		
Жазық прокаттау кезінде энергия күштік параметрлерді есептеу әдістерін анықтау		
Ыстықтай прокаттау станогының бақылау жүйесінің мәліметтерін шифрлау және өндеуді зерттеу		

Дипломдық жоба бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға қойған қолтаңбалары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылау			

Ғылыми жетекші _____ Шамельханова Н. А

Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ Базарбекова І.Д.

Күні

«__» _____ 2020 ж.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста температураның және деформация жылдамдығының олардың өңдеу технологиясына әсерін анықтау мақсатында алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамаларды ыстықтай илемдеу режимдері зерттелді. Ыстықтай илемдеу процесінде механикалық қасиеттерді қалыптастыру механизмдерін зерттеу негізінде әртүрлі факторлардың (химиялық элементтердің, деформацияланған жартылай фабрикаттардың микроқұрылымдары, деформация жылдамдығы мен температурасы және т.б.) әсері талданды. Илемдеу кезінде күштік параметрлерді есептеу әдістері келтірілген және алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамаларды илемдеу күшін анықтау әдістемесі таңдалған. Ыстықтай илемдеуге арналған өңдеу параметрлерін бақылау жүйелері қарастырылған.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе исследованы режимы горячей прокатки заготовок из алюминиевых сплавов с целью определения влияния температуры и скорости деформации на технологию их обработки. На основе изучения механизмов формирования механических свойств в процессе горячей прокатки, проанализировано влияние различных факторов (химических элементов, микроструктура деформированных полуфабрикатов, скорость и температура деформации и др.). Приведены методы расчета силовых параметров при прокатке и выбрана методика определения силы прокатки заготовок из алюминиевых сплавов. Рассмотрена система контроля параметров обработки для стана горячей прокатки.

ANNOTATION

In the thesis, the modes of hot rolling of aluminum alloy billets were studied in order to determine the influence of temperature and strain rate on their processing technology. Based on the study of the mechanisms of formation of mechanical properties in the process of hot rolling, the influence of various factors (chemical elements, microstructure of deformed semi-finished products, speed and temperature of deformation, etc.) is analyzed. Methods for calculating power parameters during rolling are given and a method for determining the rolling force of aluminum alloy billets is selected. A system for controlling processing parameters for a hot rolling mill is considered.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	8
1 Алюминий қорытпаларын илемдеу	11
1.1.Алюминий қорытпаларын ыстықтай илемдеу процесінде механикалық сипаттамаларды қалыптастыру механизмдерінің сипаттамасы	12
2 Жазық прокаттау кезінде энергия күштік параметрлерді есептеу әдістері	28
2.1 Прокаттау кезінде байланыс қысымын есептеу әдістері	28
2.2 Алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамаларды прокаттау күшін анықтау әдістемесін таңдау	30
3 Ыстықтай илемдеу жабдығы. Бақылау жүйесінің мәліметтерін өңдеу.	33
Қорытынды	40
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	41

КІРІСПЕ

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Алюминий қорытпалары қасиеттерінің бірегей деңгейіне ие, оның ішінде тығыздығы төмен және меншікті беріктігі жоғары.

Алюминий қорытпаларынан жасалған табақты жартылай фабрикаттар негізінен жалпақ прокаттау әдісімен дайындалады. Бұл бүгінгі өндірісте алюминий прокатының қасиеттерін қалыптастыру тетіктерін зерттеу, тиісті сападағы өнімді шығару мақсатында оның тиімділігін арттыру жөніндегі іс-шараларды әзірлеу қажеттілігін алдын ала айқындайды.

Осыған байланысты, алюминий қорытпаларының өңдеу режимдерін жетілдіруге бағытталған зерттеулерді өзекті деп санаған жөн.

Алюминий қорытпаларынан жасалған дайын бұйымның талап етілетін механикалық қасиеттерін алу кезінде, дайындаманың қызу температурасына карамастан, белгілі бір деформация жағдайларында материалдың динамикалық рекристалдануы туындамайтын құрылымдық беріктендіру әсерін ескеру қажет. Бұл дайын бұйымдағы металдың берік деформациясын сақтауға мүмкіндік береді.

Жұмыстың мақсаты өнімнің механикалық қасиеттеріне алюминий қорытпаларын ыстық прокаттау режимдерінің әсерін сипаттау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер құрылды:

- прокаттау агрегатының құрамына тікелей орнатылған бақылау құрылғыларды қолдану, және пайдаланатын әдістеме әзірлеу;
- осы әдісті қолдана отырып, беріктік қасиеттерінің өзгеруін, оның ішінде ыстықтай прокаттау кезінде деформацияға төзімділікті бағалау;
- ыстықтай прокаттау параметрлерінің алюминий қорытпаларының қасиеттерін қалыптастыруға қосатын үлесін, және оның ішінде анизотропты әсерді ескере отырып бағалау.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы тікелей прокаттаудың Өндірістік процесін өту кезінде бақылау жүйелермен бекітілетін алюминий қорытпаларының реологиялық қасиеттері туралы жаңа деректерді алу болып табылады.

Жұмыстың теориялық маңыздылығы ыстықтай прокаттау орнағын жүктеу туралы деректерді өңдеу негізінде деформация кедергісін бағалау әдістемесін және үзіліс уақытын есепке ала отырып өту жолдары бойынша әзірлеу болып табылады. Статикалық және динамикалық рекристалдау үдерістерінің өтуін бағалау үшін Буль алгебрасын қолдану ұсынылды.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы алюминий қорытпаларын табақты прокаттау процестерін оңтайландыру бойынша ұсыныстарды тұжырымдаудан тұрады.

Зерттеу әдістемесі. Деформацияланатын дене механикасының негізгі тұжырымдамаларында, оның ішінде негізгі гипотезаларды (изотроптылығы, сығылғыштығы және т.б.) және тиісті математикалық аппаратты қолдануға байланысты құрылады.

Зерттеу әдістер ауқымы:

- ыстық прокаттау станын жүктеудің динамикалық және статикалық қалпын бағалау;
- илектеу орнағының мониторингтік жүйесінің көрсеткіштері бойынша Деформация кедергісін есептеу;
- дайын прокаттың физика-механикалық қасиеттерін анықтау;
- прокаттаудың жылдамдық режимін өзгерту және оның физикалық-механикалық қасиеттер деңгейіне әсерін бағалау.

Қорғауға шығарылатын ережелер:

- Ыстық прокаттау процесін формализациялау үшін математикалық жоспарлау тәсілдерін қолдана отырып, Булева алгебра аппаратын пайдалану ұсынылады
- Прокаттау орнағының мониторингтік жүйесінің көмегімен ыстық прокаттаудың әрбір өту жолында деформация кедергісін анықтау ұсынылды.
- Анизотропия әсерін есепке ала отырып, алюминий қорытпаларының қасиеттерінің қалыптасуына Ыстықтай илектеу өтпелерінде деформация жылдамдығының әсері анықталды.
- АК4-1ч және 2024 қорытпалары үшін дайын бұйымның механикалық қасиеттерінің неғұрлым жоғары деңгейін алуға мүмкіндік беретін деформация ошағы формасының факторы мандерінің шеңбері анықталды.

Нәтижелердің нақтылық дәрежесі алынған деректерді статистикалық өңдеумен, техникалық әдебиеттерден белгілі аналогтармен салыстырумен расталған.

1. Алюминий қорытпаларын прокаттау

Алюминий қорытпаларын қолданбай көлік жасауды, әуе және зымыран жасауды қоса алғанда, машина жасаудың бірде - бір саласы жүзеге аспайды.[1, 2, 3, 4,5]. Алюминий қорытпаларынан жартылай фабрикаттарды алу тәсілдерінің бірі илемдеу болып табылады. Қысыммен өңдеудің басқа тәсілдеріне қатысты ол жоғары өнімділігімен ерекшеленеді, бұл тұтастай алғанда металл өнімдерін өндірудің тиімділігін арттырады. Сонымен қатар, өңдеу жылдамдығын арттыру металдың тұтынушылық қасиеттерінің қалыптасуына әсер етеді, бұл технологиялық схемаларды жасау кезінде ескеруге тура келеді. Сондықтан, сығымдау сияқты төмен жылдамдықты өңдеу процестерінде деформациялаудан алынған жартылай фабрикаттар прокаттаудан алынған қасиеттерге қарағанда анағұрлым жоғары берік қасиеттерге ие.

Престеумен салыстырғанда прокатка өңдеудің көп циклдылығымен байланысты процесс болып табылады. Ыстық реверсивті прокаттау кезінде онда машиналық уақыт пен үзіліс уақыты прокаттау жабдығының қосалқы механизмдерінің жұмыс істеу жылдамдығына байланысты: рольгангтер, жиектегіштер, қысу құрылғылары және т.б. жоғары ықтималдылығы, жалпы процестің тұрақсыздығына жағдай жасайды. Соңғы өнімнің қасиеттері өндірістік процестің жағдайына байланысты болады.

1.1 Алюминий қорытпаларын ыстықтай илемдеу процесінде механикалық сипаттамаларды қалыптастыру механизмдерінің сипаттамасы

Алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамалардың құрылымдық күйі термиялық және деформациялық өңдеу әдісіне байланысты және табақты, сортты және құбыр өнімдерін өндіру тәсілі бойынша ерекшеленеді. Қысыммен өңдеу температурасы мен жылдамдығы кезінде алюминий қорытпаларының механикалық қасиеттеріні өзгерістерге ұшырайды.

Алюминий қорытпаларын өндірудің үлкен кезеңіне қарамастан шешілмеген проблемалардың белгілі бір саны бар . Олардың бірі құрылымдық беріктендіру әсерінің болуы және болжауы.

Деформацияның әсері белгілі бір жағдайларында дайындаманың қызу температурасына қарамастан материалдың динамикалық рекристалдануы болмайды. Бұл дайын бұйымдағы металдың берік деформациясын сақтауға мүмкіндік береді . Осылайша, өнімдер беріктігі жоғары, бұл өнімнің металл сыйымдылығын төмендетеді. Алайда, сонымен қатар, алюминий

қорытпаларынан жасалған дайындамалардың пластикалық деформациясы үлкен энергетикалық шығындарды талап етеді .

Құрылымдық беріктендіру шарттарының бірі-қорытпаларда өтпелі металдардың болуы.

Құймаларды кристалдау кезінде қорытпадағы өтпелі металдар алюминиймен тұрақты қатты ерітінділерді құрайды, олар алюминийдегі өтпелі металдардың өте аз тепе-тең ерігіштігіне байланысты қатты күйдегі бөлмелік температурада ғана емес, сондай-ақ термоөңдеу және ыстық деформация температураларында да қанықпаған болып табылады. Сондықтан технологиялық қыздыру және қысыммен ыстық өңдеу процесінде құймаларды термиялық өңдеу кезінде осы ерітінділердің ыдырауы, өтпелі металдардың алюминиймен (Al6Mn, Al3Zr, Al7Cr және т.б.) интерметаллдық қосылыстарының дисперсиялық бөлшектерін бөлумен болады.

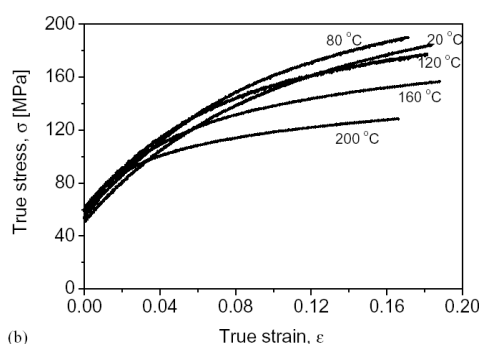
Гомогенизация режимдері- құймаларды бірінші және неғұрлым ұзақ қыздыру- алюминийге ауыспалы металдардың қаныққан қатты ерітінділерінің ыдырау дәрежесіне, демек, деформацияланған бұйымның рекристалдану температурасына әсер етеді. Ең көп құрылымдық беріктендіру үшін осы қорытпадағы алюминийдегі өтпелі металдардың қатты ерітінділерінің ыдырау өнімдерінің оңтайлы дисперсиялығын қамтамасыз ететін гомогендеу режимдерін эксперименттік таңдау қажет.

Өңдеу түрі, температура, жылдамдық және деформация дәрежесі деформацияланған бұйымның рекристаллизация температурасына әсер етеді , өйткені бұл факторлар деформациядан кейін серпімді энергия қорын анықтайды. Серпімді энергияның ең аз қоры басқа тең жағдайларда (температура, деформация дәрежесі) престоуді (экструзия) тудырады, оған жан- жақты қысу схемасы және деформацияның аз жылдамдығы тән. Әлбетте, серпімді энергия деформация температурасы жоғары және деформация дәрежесі аз болады.

Металдың пластикалық деформациясы дислокация тығыздығының күрт өсуіне әкеледі. Егер қыздыру кезінде рекристаллизация жүргізілмесе, онда термиялық өңделген бұйымда құрылымдық беріктендірудің басты себебі болып табылатын жоғары орналасу тығыздығы сақталады. Дислокация тығыздығының артуы барлық бағыттарда беріктіктің артуын анықтайды. Бекітуде дислокация бекітілген өтпелі металдардың дисперсиялық интерметаллдық бөлшектері белгілі рөл атқарады. Марганец және никель қоспалары бар бір қорытпадан жасалған жартылай фабрикаттардың бірдей, кристаллизацияланған құрылымы кезінде беріктігі дислокация дисперсиялық интерметаллды марганец бөлшектеріне бекітілген бірінші жағдайда жоғары; никель фазасының өрескел қосылуы кем дегенде дислокациялардың орын ауыстыруына кедергі келтіреді.

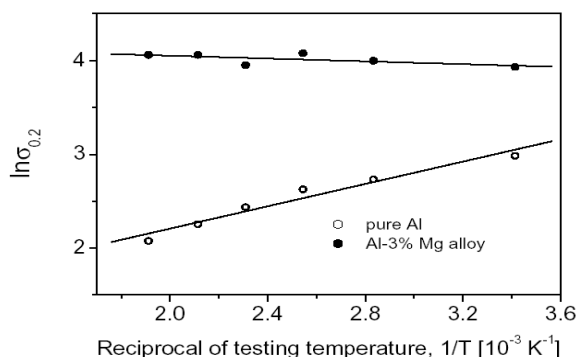
Құрылымдық беріктікке белгілі бір үлес, сондай-ақ құрылымды енгізеді: ол деформация бағытында кристаллизденген жартылай фабрикаттардың беріктігінің біршама жоғарылауына себепші болады.

Алюминийге магнийдің қоспалары металлдың беріктік қасиеттерін арттыруға мүмкіндік береді, бір мезгілде пластикалық тұрақсыздыққа әкеледі, (Portevin – Le Chatelier - PLC) әсеріне сәйкес механикалық қасиеттердің тербелістерінде көрінетін. Сонымен қатар, тәуелділіктің ерекшелігі Al 3 Mg қорытпасы үшін температура функциясындағы пластикалық ағынның кернеуі бөлме температурасына қарағанда 80°C жоғары температурада көрсетіледі (сурет 1.2).



1.2-сурет - Al + 3% Mg қорытпасына арналған " шынайы кернеу – шынайы (логарифмдік) деформация»

3% Mg алюминий және қорытпасы үшін температурадан ағымдылық шегінің логарифмінің тәуелділігі сынақтың осы түріне тән аз деформациялар аймағында түзетіледі (1.3 сурет). Магний таза алюминийге тән қарағанда, қорытпалардағы жоғары температураларда полигонизацияланған жағдайды сақтауға ықпал етеді.



1.2-сурет- алюминий және Al + 3% Mg қорытпасы үшін ағымдылық шегінің логарифмінің абсолюттік температура параметріне тәуелділігі

Бұдан әрі, Ю. М. Вайнблаттың Вилс қызметкерлерімен Al-Mg жүйесінің қорытпаларында болып жатқан процестерге деген көзқарасы баяндалған. Алюминий қорытпаларындағы деформация *текстураларының* қалыптасуы келесідей сипатталады. Алюминий мен оның қорытпаларының деформациясының қарапайым механизмі жоғары және төмен температураларда $\langle 110 \rangle$ бағытында $\{111\}$ жазықтығы бойынша жылжу болып табылады.

Сырғу неғұрлым қолайлы бағытталған астарда басталады, содан кейін кернеудің өсуіне қарай барлық қалған астықтарға таралады. Жылжу деформациясы сыртқы күштерге қатысты кристалды тордың заңды бұрылысымен жүреді. Бұдан басқа, әрбір астық көрші түйіршіктердің әсерін сезінеді, оны бүкіл бұйымның немесе оның бөлігінің деформация схемасына сәйкес өз пішінін өзгертуге мәжбүрлейді. Келісілген бұрылыстар нәтижесінде 30-50% құрайтын деформация дәрежесі кезінде астық кейіннен деформация кезінде өзгермейтін немесе әлсіз өзгермейтін соңғы бағдарларға ие болады. Соңғы бағдарлардың сипаты деформация схемасына (басты деформациялардың арақатынасына) байланысты. Түйіршіктің деформациясы процесінің симметриясына байланысты деформацияның басты бағыттарына қатысты симметриялы бірнеше бағдарлардың бірін бірдей ықтималдықпен қабылдай алады. Текстураны әдетте осы басым бағдарлардың көмегімен сипаттайды. Бұл сипаттама толық емес, себебі ол 20-30 О – ға жеткен бағдарлардың шашырауын ескермейді.

Текстураның екі негізгі түрі бар: аксиальды және прокаттау текстурасы. Аксиальды текстура осьтік симметриямен деформация кезінде байқалады — созылу, сығылу, престеу және дөңгелек қималы шыбықтарды илектеу. Бұл жағдайда астық негізінен бір кристаллографиялық бағытпен деформация бағытында айналдырылған. Қарапайым аксиальды текстура жағдайында қалған кристаллографиялық бағыттар сәйкес келмейді. Аксиальды Текстураның сипаттамасы үшін деформация осімен сәйкес келетін бағыттардың индекстері көрсетіледі. Илемдеу текстурасы барлық деформация осьтеріне қатысты тіркелген дәндердің бір немесе бірнеше қолайлы бағдарларына жауап береді. Илектеу текстурасын сипаттау үшін илектеу жазықтығымен сәйкес келетін жазықтықтың индекстері және барлық басым бағдарлар үшін илектеу бағытына сәйкес келетін бағыттар көрсетіледі. Алюминий мен оның қорытпаларында деформацияның келесі негізгі текстуралары байқалады.

1.Парақтарды илектеу- $\{110\}$ $\langle 112 \rangle$ және $\{112\}$ $\langle 111 \rangle$ Қос құрылымды. Көрсетілген бағдарлардың әрқайсысы екі симметриялы компоненттен тұрады. Алюминийде $\{112\}$ $\langle 111 \rangle$ бағдарлау басым, ал алюминий қорытпаларында –

{110}<112>, бұл ретте {112} <111> бағдарлы көлемнің үлесі қатты ерітінді концентрациясының өсуімен азаяды.

2. Дөңгелек кима шыбықтар мен сымдарды престоу, созу, илектеу - Қос аксиальды құрылымды <111> және <100>. Дәндердің көпшілігі шыбық осінің бойымен бағытталған <111>. Компоненттер үлесі < 100> қатты ерітіндінің концентрациясы 30-40% дейін (мысалы, дуралюминде) алюминийде 5-10%– ға дейін артады.

3. Жолақтар мен жұқа қабырғалы профильдерді престоу – прокаттаудың қарапайым құрылымы. Қалың жолақтар мен профильдерде аксиальды Текстураның құрамдас бөлігі пайда болады, ол қалыңдықтың еніне көбірек қатынасы соғұрлым күшті.

4. Құбырларды престоу, илектеу және созу — құбырларды бойлай кесіп, жазықтыққа бұрса, прокаттаудың қарапайым текстурасын білдіретін "цилиндрлік" текстура.

5. Шыбықтардың бойлық шөгуге аксиальды текстура <110>.

Деформацияның біртектес еместігі салдарынан бұйым көлеміндегі құрылым біркелкі емес. Әр аймақта, әр түрлі өңдеу сияқты, басты деформациялар қатынасына жауап береді:

- - аксиальды құрылымы <111> <100>;
- - аксиальды құрылымы <110>;
- - илектеу құрылымы.

Сығылған шыбықтардың шеткі аймағында илемдеу құрылымы (дәлірек цилиндрлік құрылым) {110} <112> байқалады.

Деформацияланған жартылай фабрикаттың микроқұрылымдары екі процестің нәтижесінде қалыптасады: бастапқы микроқұрылымның біртіндеп түрленуі және деформациялық текті микроқұрылымның жаңа элементтерін құру. Бірінші процесс қиманың осы аймағындағы деформация схемасына сәйкес дәндердің формасының өзгеруінен, ал екіншісі - дәндердің жаңа шекараларының пайда болуынан тұрады. Жоғары бұрышты шекарамен қоршалған (яғни бағытталу бұрышы 10 - 150 асатын шекарамен) және оның ішінде осындай шекаралар жоқ облыс ретінде астықты анықтау бар. Құйылған металда бұл анықтамаға дендрит жауап береді. Деформация кезінде жаңа шекаралардың пайда болуының дәлелі монокристалдарды престоу және прокаттау бойынша тәжірибе болып табылады, нәтижесінде олар поликристалдарға айналды. Бастапқы құрылымның тұқым қуалайтын әсер ету дәрежесі жаңа шекаралардың пайда болу процесі күшті дамыған сайын әлсіз. Жаңа шекаралар дәндердің бастапқы нысанын соңғы пішінге түрлендіру қиын болған және дайындамада жартылай фабрикаттардың текстурасынан қатты ерекшеленетін айқын

құрылымды болған жағдайларда пайда болады. Жаңа шекаралардың қарқынды пайда болуы, мысалы, күрделі нысаны бар құйма дәндердің деформациясы кезінде және престелген дайындаманың бойлық шөгуі кезінде байқалады. Соңғы жағдайда екі фактор да әрекет етеді, себебі престоу құрылымы шөгу құрылымынан ерекшеленеді.

Егер бірінші және екінші деформация кезінде түйіршіктердің созылу бағыттары сәйкес келсе (қос престоу, кантовкасыз илектеу), онда жаңа шекаралар пайда болмайды және дәндердің жаңа өлшемдері ескі өлшемдерді, схеманы және деформация дәрежесін біле отырып, оңай есептелмейді. Сондай-ақ, жаңа шекаралардың пайда болуы екіталай, астық дайындауда бірдей, ал анық құрылымы жоқ (рекристаллизацияланған дайындама). Егер деформацияға дейін дәннің көлденең қимасы R радиусы бар дөңгелек қимасы болса, онда деформациядан кейін олар осьтердің өлшемімен эллипсоидтердің пішінін қабылдайды.

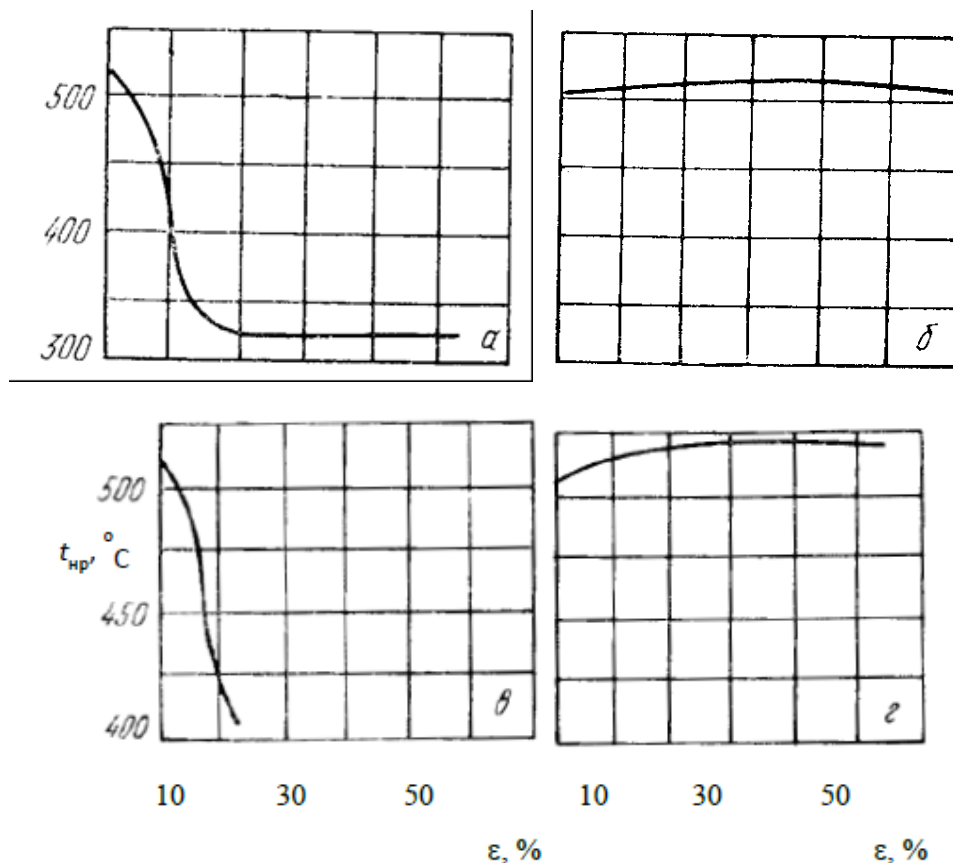
Қысыммен өңдеуге тән күшті деформациялардан кейін микроқұрылымды қалыптастырудың екі механизмінің ара қатынасына қарамастан, өзара перпендикулярлы үш бағыттардағы дәндер мөлшерінің қатынасы қатынасымен анықталады. Бұйымдағы дәндердің пішіні деформацияның жергілікті схемаларына сәйкес келеді. Сонымен, дөңгелек шыбықтың ортасында дөңгелек қимасы бар, ал шеткі таяқша – шеңберге созылған. Дәндердің құрылымы мен нысаны тығыз байланысты, өйткені олар да деформация схемасымен анықталады.

Деформация температурасы микроқұрылымға келесідей әсер етеді. Температураның төмендеуі кезінде дәндерді жаңа жоғары бұрыштық шекаралармен ұсақтау ықтималдығы артады, ал жоғарылағанда — бастапқы шекаралардың жылжу ықтималдығы артады. Екі процесс бастапқы және соңғы құрылым арасындағы сәйкестікті азайтады.

Алюминий қорытпаларының қасиеттерін қалыптастыру кезінде оларды өңдеу процесінде деформацияның температуралық-жылдамдық жағдайларына маңызды рөл бөледі, олар рекристаллизация кинетикасын анықтайды.

Алюминий қорытпаларында жинақталған энергия көлемі, яғни, рекристаллизация кинетикасы ыстық деформация дәрежесіне тек оның шағын шамаларында (30-50% - дан аспайтын) байланысты екені анықталды.

1.4 суретте рекристалдануының басталу температурасының АК8 қорытпасының шөгіндісі кезіндегі салыстырмалы қысылудан тәуелділігі көрсетілген.



1.4 -сурет- $t_{нр}$ рекристалдануының басталу температурасының АК8 қорытпасының шөгугі кезінде $^{\circ}\text{C}$ салыстырмалы қысылудан тәуелділігі:

а - при $\xi = 200 \text{ c}^{-1}$, $t_{\partial} = 300^{\circ}\text{C}$; б - при $\xi = 0,02 \text{ c}^{-1}$, $t_{\partial} = 400^{\circ}\text{C}$;

в - при $\xi = 200 \text{ c}^{-1}$, $t_{\partial} = 400^{\circ}\text{C}$; г - при $\xi = 0,02 \text{ c}^{-1}$, $t_{\partial} = 470^{\circ}\text{C}$

Берілген АК8 қорытпасының сипаттамасы мысалында түсіндіріледі. 1-суретте көрсетілгендей, АК8 қорытпасының $t_{нр}$ рекристалдануының басталу температурасы 10% салыстырмалы қысу кезінде төмендейді, ол 300°C немесе 400°C температураларда жоғары деформация жылдамдығы кезінде жүзеге асырылады. Үлкен қысу кезінде $t_{нр}$ температурасы өзгермейді. Деформацияға дейін рекристалданудың басталу температурасы 510°C құрады. Жылдамдық $0,02 \text{ c}^{-1}$ дейін төмендеген кезде рекристаллизация температурасы тұрақты жоғары болып қалады. Осылайша, алдыңғы деформация кезеңінде қорытпамен қол жеткізілген беріктендіру сақталады. Бұл құбылыс құрылымдық беріктендіру әсерінің атауын алды.

Мысалы, 4% астам магний бар алюминий қорытпаларын прокаттауға тән деформацияның жоғары жылдамдығы кезінде, рекристалданудың алдын алу мақсатында өңдеу температурасын $250\text{-}290^{\circ}\text{C}$ -қа дейін төмендетуге барады. Бұл бронь жасау үшін жарамды берік материалды алуға мүмкіндік береді. Сол

мақсатта ALUMINUM COMPANY OF AMERICA компаниясының патентінде құрамында 6-10% магний бар алюминий негізіндегі қорытпа ыстық емес, суық өңдеуге ұшырайды.

Термотөзімді қорытпалар үшін қыздыру температурасы рекристаллизация температурасынан жоғары болуы мүмкін, бұл бір мезгілде алюминий қорытпаларын деформациялық және термиялық беріктендіруге мүмкіндік береді.

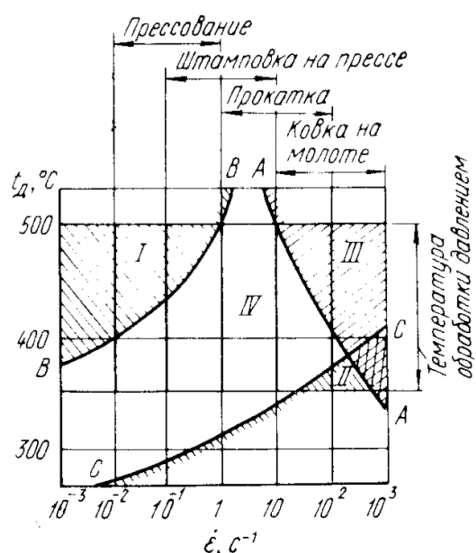
Қысыммен өңдеу жиі деформацияның жоғары дәрежелері қатар жүреді, бұл жағдайда деформация дәрежесінің әсерін елеусіз деп есептеуге болады, егер өңдеу тұрақты температура мен жылдамдық кезінде жүргізілсе. Егер изотермиялық жағдайлар орындалмаса, деформация жылдамдығы жанама әсер етуі мүмкін; мысалы, металдың суық құралмен түйіскен уақыты оған байланысты.

Алюминий қорытпаларының материалтануында ең аз салыстырмалы қысу ұғымы енгізілді, ол кезде рекристаллизация қыздыру астында (шамамен 500°C) қыздыру кезінде басталады. Бұл шама $t = 500$ °C ординат кезіндегі көлденең сызықпен қисықтардың қиылысына сәйкес келеді.

Алюминий орау ақауларының жоғары қуаты бар материалдарға жатады. Қаптама ақауларының энергиясы полигонизация мен рекристаллизация процестері арасындағы бәсекелестікті анықтайды. МЦК металдарда субзерендер (яғни полигонизация) пайда болу үшін қажетті дислокациялардың сырғу және қайта жылжу процестері жеңілдетілді, және де қызған күйдегі деформация кезінде полигонизация басым процесс болып табылады. Қатты күйдегі деформация кезіндегі полигонизация және рекристаллизация үрдістерінің беріктігін төмендететін кейбір температураға жеткеннен кейін тез өтеді, бұл беріктілік қисығы көлденең күйге ауыстырылады.

Байланысты бәсекелестік процестердің полигонизации және рекристаллизации әсері құрылымдық беріктендіру қорытпасының еңбектерінде зерттелді. С. С. Горелика және Ю. М. Вайнблата. Сонымен қатар, магний мен марганецтің алюминий қорытпаларының спонтанды рекристалдануына әсері анықталды.

Әсердің алынатын өнімнің қасиеттеріне әсері жұмыстарында сипатталған. 1.5 суретте көрсетілген алюминий қорытпаларының құрылымдық жағдайын сипаттау ұсынылды.



1.5-сурет- "Деформация жылдамдығы – деформация температурасы" координаталарындағы АК8 қорытпасының құрылымдық жай – күйінің диаграммасы: I – кристалданбаған жай-күй аймағы; II-толық рекристалдану аймағы; III-деформациядан кейінгі рекристаллизация; IV-аралас құрылым

Қажет болған жағдайда кристаллизденген металды алу I аймаққа қатысты параметрлердің үйлесуін қамтамасыз ету керек, яғни төмен жылдамдықпен және жоғары температурада деформацияны жүргізу керек. Рекристаллизацияланған күй алу үшін деформацияның жоғары жылдамдығы мен өңдеудің төмен температурасын қолдану керек. А-А қисығынан оңға қарай рекристаллизация қосымша қыздырусыз басталады, С-С қисығынан төмен қорытпадан толық қыздыру кезінде рекристалдандырылады, В-В қисығынан жоғары термиялық өңдеу кезінде рекристаллизация болмайды.

Диаграмма сондай-ақ белгілі бір нәтижеге әкелетін қысыммен өңдеу түрін анықтауға мүмкіндік береді. Жылдамдық сипаттамалары бойынша жабдық деформация жылдамдығының өсу санаттары бойынша таратылды: пресеу, пресе қалыптау, илемдеу, балға соғу. Мұндай бөлу шартты болып табылады, өйткені жылдамдық режимдерінің кең ауқымында жұмыс істей алатын жабдықты әзірлеуге болады.

Алюминий қорытпаларының қасиеттеріне деформация жылдамдығының әсері көбінесе Портевен - Ле Шателье (Portevin – Le Chatelier - PLC) әсері деп аталатын материалдардың беріктігі қисығының монотондылығының пайда болуынан көрінеді. PLC-әсер қатты ерітінді атомдары мен металдағы дислокация арасындағы өзара әрекеттесудің салдары болып табылады, бұл жиі динамикалық деформациялық қартаю құбылысы деп аталады (dynamic strain aging – DSA). DSA әсері алғаш рет Коттрел (Cottrell) сипатталған және атмосферамен

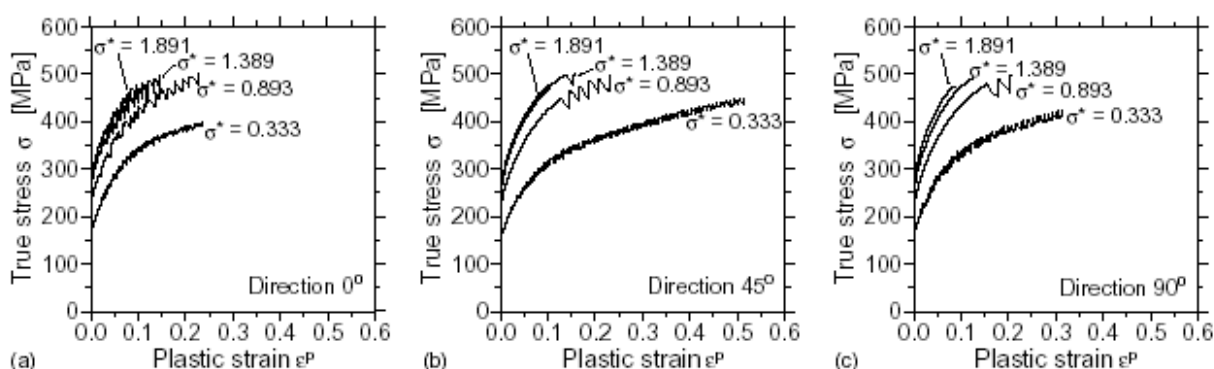
орналасқан дислокациялардың өзара іс-қимыл тұжырымдамасында түсіндірілген.

Norwegian University of Science and Technology, Structural Impact Laboratory, Department of Structural Engineering түрлі термомеханикалық параметрлерде AA5083 – H116 қорытпасының механикалық қасиеттерін зерттеді. Қорытпаның құрамында 4,4% магний, 0,7% марганец және 0,15% хром бар. Бөлме температурасында магнийдің шекті ерігіштігі (тепе-тең емес жағдайлар үшін) 3% құрайды. Сондықтан магнийдің осы мөлшерінің артуы дән шекаралары бойынша немесе сырғанау жазықтықтарында бөлінулерге әкелетін әлеуетті тұрақсыздыққа әкеп соғады.

Қорытпаның динамикалық деформациялық қартаюға (DSA) сезімтал екені анықталды, бұл қисық беріктендіруде тербелістердің пайда болуымен және деформация жылдамдығының кең диапазонында теріс жылдам сезімталдық әсерінің көрінуімен (negative strain rate sensitivity) көрсетілді.

Кернеулі күй көрсеткішінің әртүрлі мәндері радиалды ұштары бар үлгілерді пайдалана отырып, $\sigma^* = (\sigma/T)/\sqrt{3}$ тәжірибелерде үлгілендірілген.

Нәтижелері тәжірибе- суретте көрсетілген 1.6.

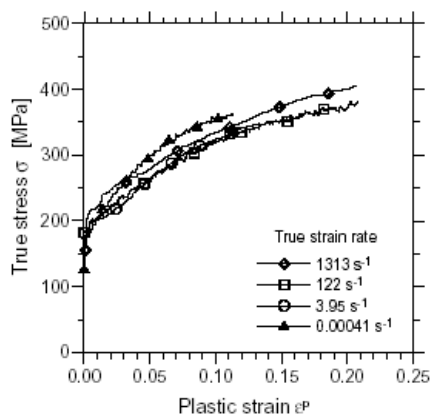


1.6-сурет- созылу осіне (НП) қатысты созылу сынақтарының әр түрлі бағыттары үшін AA5083 H116 қорытпасының қисықтары, "шынайы кернеу-Деформация" координаттарында: 0 о (a), 45 о (b), 90 о (c));

$$\sigma^* = (\sigma/T)/\sqrt{3}$$

Графиктерден көрініп тұрғандай, қисық беріктендіру жиі пульсациялайтын жүктемені сипаттайтын сынған сызықтар түрінде көрінеді. Күткендей, үлгілердің ең үлкен деформациясына тігіссіз шыдады. Илектеу бағытына 45о бұрышымен кесілген үлгілер ең үлкен икемділік көрсетті. Қисық жүрісінің ең үлкен фонотондылығы $\sigma^* = 0,893$ кезінде деформация жағдайы үшін болды, бұл/ $T = 1,5$ сәйкес келеді.

Сондай-ақ, мақалада жүктеу жылдамдығының өзгеруі кезінде ағыс кернеуін өлшеу бойынша тәжірибелер сипатталған. Анықталды, бұл максимум қамтамасыз кернеулердің қол жеткізіледі кезінде тым үлкен жылдамдықтарында, сонымен қатар тым аз жылдамдығында деформация (сурет 1.7).

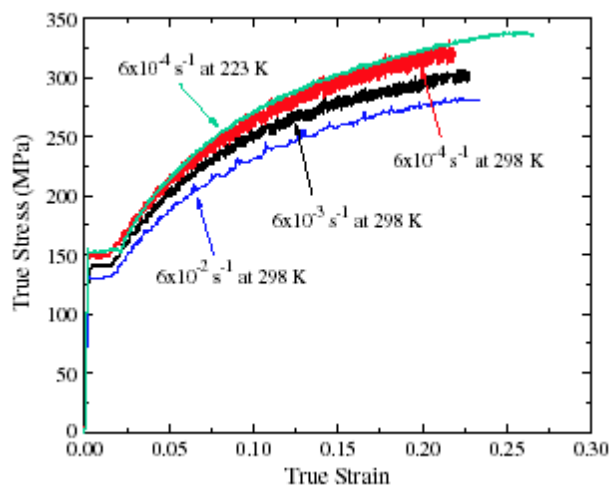


1.7-сурет- әртүрлі сынау жылдамдығында илектеу бағыты бойынша AA5083 H116 қорытпасының қисық беріктігі, «шынайы кернеу-Деформация»

Әдетте, 5000 сериялы алюминий қорытпалары мен қорытпалары, атап айтқанда, кернеудің жылдамдыққа кері тәуелділігі әсер етеді (negative strain rate sensitivity – NSRS). Бұл үлкен жылдамдықтардың әрекет ету ауданында металдың аз беріктілік қасиеттеріне және осы аймақтарда деформацияны оқшаулауға әкеледі. Ең төменгі кернеу шамамен 10 с⁻¹ жылдамдығын іске асыру кезінде туындайды. NSRS әсері DSA динамикалық деформациялық қартаю феноменінен туындаған. 5000 сериялы қорытпаларда магний ерітілген атомдары бөлме температурасында оңай диффундирленеді. 0,0001 с⁻¹ шамасында деформацияның өте төмен жылдамдығында бұл ерітілген атомдар дислокацияның орын ауыстыруына кедергі жасайды, бұл олардың орын ауыстыруы үшін талап етілетін кернеудің артуына әкеледі. Деформация жылдамдығы ұлғайған кезде диффузиялық процесс тым баяу, ерітілген атомдарға дислокациялармен өзара іс-қимыл жасауға мүмкіндік береді және ағыс кернеуі азаяды.

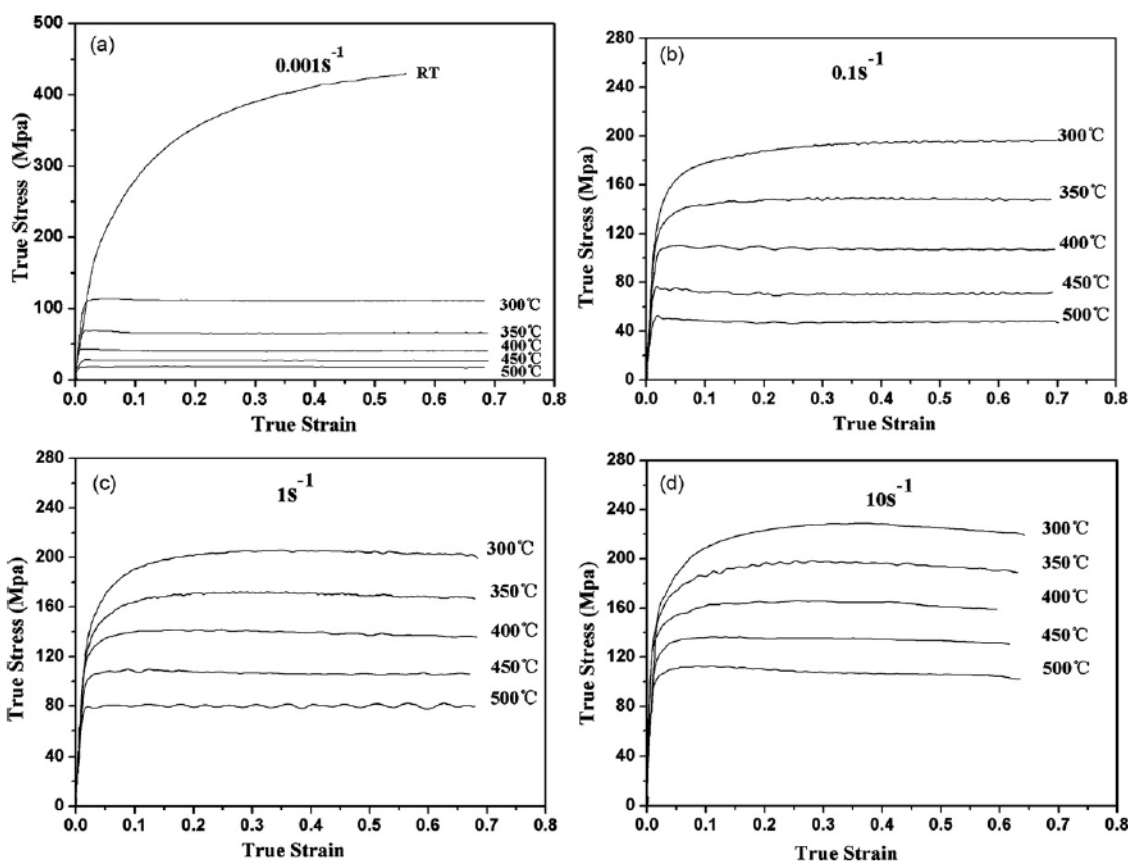
Мұндай әсерлерді Канада университетінің McMaster University, Department of Materials Science and Engineering мақалалар авторлары анықтады.

Авторлары AA5754, масс маркалы қорытпасын сынаған. % : 3,5 Mg, 0,21 Mn, 0,11 Si және 0,21 Fe. Nsrs және DSA әсерлерінен туындаған кернеудің тербелістері көрініс тапқан 1.8 суретте көрсетілген.



1.8-сурет- Сынаудың әртүрлі жылдамдығы кезінде AA5754 қорытпасының қисық беріктігі, «шынайы кернеу- Логарифмиялық деформация»

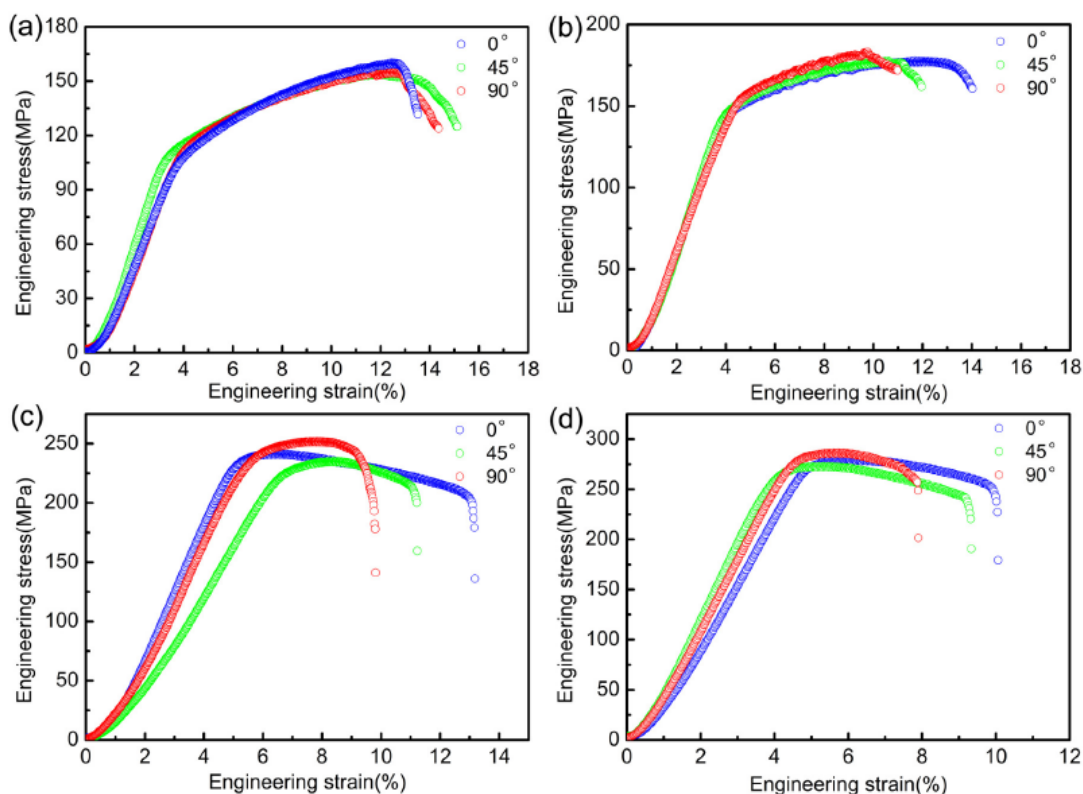
Қытай зерттеушілері Beijing University of Technology, College of Materials Science and Engineering, Beijing, China университетінде $Al-5,7 Mg (+0,73 Mn + 0,13 Zr + 0,33 Er)$ алюминий-магний қорытпасының қасиеттерін зерттеді және жоғары температураларда жүрістің азандылығымен ерекшеленетін қисықтарды алды (1.9 сурет).



1.9-сурет- College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, China деректері бойынша $Al-5,7 Mg(+0,73 Mn+ 0,13 Zr + 0,33 Er)$ қорытпасына арналған логарифмдік деформациялардағы нақты кернеулердегі қисықтар

Келтірілген графиктерден көрініп тұрғандай, артып келе жатқан тәуелділік төмен температураларда жүктеудің аз жылдамдығына тән. Қисықтардың көп бөлігі көлденең орналасумен сипатталады, немесе деформация дәрежесі ұлғайған кезде төмендеу үрдісі бар. Қисық беріктендірудің осындай сипатының болуы деформацияны оқшаулау мүмкіндігі туралы қорытындыға әкеледі, бұл деформация ошағы бойынша деформацияның біркелкі емес таралу көрінісін жасайды.

[39] мақалада А6111 қорытпасына арналған сынау бағытын ауыстыру кезінде үлгілердің созылу нәтижелері келтірілген (1.10 сурет). А және b графиктері ыстық Жай – күйге, ал с және d графиктері-суық тапталған Жай-күйге жатады.



1.10 -сурет - қорытпасына арналған үлгілердің сынау бағытын ауыстыру кезінде деформация мен кернеудің шартты көрсеткіштерінде қисық беріктендіру А6 <111> және деформацияланған 30 % (a), 50 % (b), 70 % (c) және 90 % (d))

Графиктерден көрініп тұрғандай, беріктік және пластикалық қасиеттер анизотропия байқалады. Әдетте, прокаттау бағыты бойында үлгілердің ең жоғары икемділігі, ал ең жоғары беріктігі – прокаттау бағытына көлденең көрінеді. Диагональды бағытта ең аз беріктігі байқалады.

Жұмыстаыстық деформациядан кейін алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамалар қайта құрылымдаудың әр түрлі үдерістерінен бір мезгілде өтуіне байланысты жиі қатпарлы құрылым бар.

Прокаттау процесі престоуге қарағанда жылдам болғандықтан, құрылымдық беріктікке жиі қол жеткізілмейді. Алайда, таптау әдістері әзірленді, онда құрылымдық беріктендіруге әлі де қол жеткізіледі, бірақ ыстық прокаттау режимін жылы прокаттау режиміне ауыстыру есебінен. Мысалы, wo0052219 патентімен 6000 сериялы қорытпаларды прокаттаумен 560 °С және 450 °С кезінде екі сатылы гомогениздеуші өңдеу қарастырылған. Жылу температурасы 450-ден ыстық прокаттаумен..320 °С температурада аяқтайтын прокаткамен..360 °С.

Алюминий қорытпаларынан жасалған табақты жартылай фабрикаттар анизотропияның болуы теріс рөл атқаратын келесі табақты штамптау үшін объектілер болып табылады. Сондықтан изотропности жоғарылауы үшін күрес ыстық прокаттау сатысында басталады, бұл патенттер сипаттамасында көрсетілген.

Британдық ғалымдар University of Cambridge, Department of Engineering және University of Sheffield, Department of Engineering Materials университеттерінен, Жоғары жүктеу жылдамдығы кезінде деформацияланған AlMg қорытпасының микроқұрылымы мен кристаллографиялық эволюциясын зерттеді. Сынақтар 305 °C температурада және 25 с-1 деформация жылдамдығы кезінде жүргізілді, бұл өнеркәсіптік илемдеу шарттарына сәйкес келді. Оптикалық және трансмиссиялық электронды микроскопияның (ТЕМ) көмегімен дәндердің өлшемін, дәндердің бағытын және деформация дәрежесінен функциядағы орналасу тығыздығын зерттеді. Бұл ұйымдар тежелудің жылдам жағдайларының микроқұрылымдық параметрлерге әсерін деформация дәрежесіне дейін, $\epsilon = 1,0$ тең әсер ету үшін деформация дәрежесін орындады. Қосымша зерттеу қорытпаның рекристалдануына деформация жағдайларының әсерін зерттеуге қатысты болды. Процесс кезінде деформация жылдамдығын тұрақтандыру немесе өзгерту қорытпаның әртүрлі құрылымдық және текстуралық жағдайларын алуға әкеледі.

Реверсивті прокаттау жолаққа әсер ету бағытының реверсивті емес ауысуынан біліктермен ерекшеленеді. Реверстің илектің механикалық қасиеттеріне әсері техникалық әдебиетте сирек есепке алынады, бірақ ол теріске шығарылмайды, мысалы, металдың текстуралылығын өзгерту арқылы.

Алюминий қорытпаларының механикалық қасиеттерін зерттеу нәтижелерінің жоғарыда келтірілген жалпы кемшілігі олардың өңдеудің нақты параметрлерінен ажырауы болып табылады: деформация жылдамдығының өзге диапазондарынан, кідірістің болуы, алдын ала қыздырылған беті бар құралдың әсері, біліктерді және илектерді жергілікті салқындату құрылғыларының болуы және т. б. қандай да бір шамада кемшіліктердің бір бөлігі деформация жылдамдығын тұрақты және жоғары деңгейде ұстап тұруға қабілетті машиналар ретінде пластометрлерді қолдану кезінде жойылады. Қосымша ақпаратты GLEEBLE сынақ техникасын қолдану арқылы алуға болады. Бірақ өндірістік жағдайларға жақындаудың ең жақсы нұсқасы прокаттау агрегатының құрамына тікелей орнатылған мониторингтік құрылғыларды тиімді қолдану болып табылады.

Жоғарыда келтірілген әдебиеттерге шолу негізінде келесі қорытынды жасауға болады.

1. Алюминий қорытпаларының қайтымды ыстық прокаттауды металдың жылу деформациясы процестерінің өтуімен байланысты. Бұл әсердің нәтижесі - автомобильдің физика-механикалық қасиеттерін қалыптастыру.

2. Прокат өндірісі жұмысының динамикасының күрделі сипатына байланысты көптеген илемдеу параметрлері бір прокат кезінде де, көп өту процесін ұйымдастыру кезінде де өзгереді.

3. Шолуда анықталған жұмыстардың көп бөлігі прокат металының қасиеттерінің анизотропиясын қалыптастыру тетіктерін зерттеуге бағытталған, бұл инженерлік кәсіпорындардың инженерлік қызметтерінің алюминий

қорытпаларының, әсіресе авиация өнеркәсібіндегі қасиеттерін сипаттауға неғұрлым мұқият қарауымен түсіндіріледі.

4. Прокат бұйымдарының қасиеттерінің қалыптасуы металдың әртүрлі құрылымдық күйіне байланысты болады, оған прокат арқылы да, өткізгіштер арасындағы үзілістерде де қол жеткізіледі. Сонымен қатар, жылжымалы диапазонды үдету және тежеу кезіндегі жоғары жылдамдықты прокат режимі маңызды фактор болып табылады.

2 Жазық прокаттау кезінде энергия күштік параметрлерді есептеу әдістері

Көп айналымды прокаттау кезінде N , моменттің күші M жалдауға басқа әсер етпеген кезде (тіреу, кернеу), i өту санын ескере отырып, формулалармен анықталады:

$$N_i = M_i \cdot \omega_i; \quad M_i = 2 \cdot P_i \cdot \psi_i \cdot l_i; \quad (1.1)$$

Мұндағы ω_i - бұрыштық жылдамдық; P_i – білікке әсер ететін күш; ψ_i - коэффициенті; l_i - деформация ұзындығы.

Күш көбінесе орташа қысым арқылы анықталады:

$$P_i = p_{cpi} \cdot F_i, \quad (1.2)$$

мұнда F_i -байланыс бетінің ауданын проекция.

Прокаттау күші мен байланыс қысымын анықтаудың кейбір әдістерін қарастырайық.

2.1 Прокаттау кезінде байланыс қысымын есептеу әдісі

А. И. Целиковым және ұсынылды орташа үлестік ыстық прокаттау кезінде қысымды формулалар бойынша анықтайды.

$$p_{cpi} = 1,15 \cdot \sigma_{si} \cdot n_{\sigma i} \quad (1.3)$$

$$n_{\sigma i} = \left(\frac{l_i}{h_{cpi}}\right)^{-0,4} \text{ при } \frac{l_i}{h_{cpi}} < 1; \quad (1.4)$$

$$n_{\sigma i} = 1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{l}{h_{cpi}} \text{ при } 1 < \frac{l_i}{h_{cpi}} < 2; \quad (1.5)$$

$$n_{\sigma i} = \frac{2h_{Hi}}{\Delta h_i(\delta_i - 1)} \cdot \left[\left(\frac{h_{Hi}}{h_1}\right)^\delta - 1\right] \text{ при } 2 < \frac{l_i}{h_{cpi}} < 4, \quad (1.6)$$

$$n_{\sigma i} = 1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{l}{h_{cpi}} \text{ при } \frac{l_i}{h_{cpi}} > 4; \quad (1.7)$$

Онда $\frac{l_i}{h_{cpi}}$ - деформация ұзындығының l_i ағымдағы (өту жолдары бойынша) қатынасы илемнің орташа қалыңдығы $l_i = \sqrt{(D/2) \cdot \Delta h_i}$, деформация ошағының ұзындығы; μ_i, D н Δh_i - үйкеліс коэффициенті, вальдың диаметрі және

қысу; $h_{\text{ш}}$ - в-деформация ошағының биіктігі бейтарап қимада; параметр. $\delta_i = \frac{2 \cdot \mu_i \cdot l_i}{\Delta h_i}$ -

2.3 Алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамаларды илемдеу күшін анықтау әдістемесін таңдау

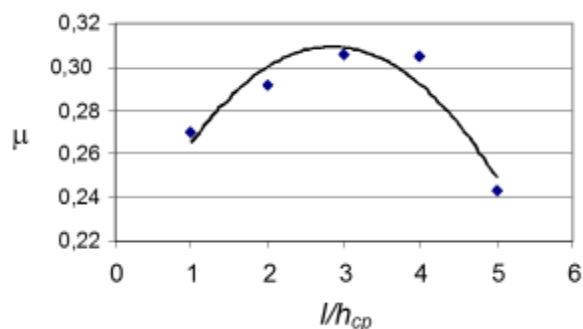
Алюминийді ыстық илектеу кезінде үйкеліс коэффициенті L/h параметрінің, прокаттау температурасы мен жылдамдығының функциясы болып табылады. Кезінде 1 м/с жуық илемдеу жылдамдығы өнеркәсіптік жағдайларға тән және осы дерек көзінің мәліметтері бойынша 400^ос температурасында коэффициенттер есептелген 1.11-суретте тәжірибелі нүктелер түрінде үйкеліс келтірілген. С көрсетілген жағдайларда регрессия тендеуі 0,9 корреляция коэффициентімен прокаттаудың түрі бар.

Жазық илектеу кезінде кернеулі-деформацияланған күй есебінің басқа да әдістері бар [60]. Деректері бойынша [11] кезінде ыстық прокаттау алюминий үйкеліс коэффициенті функциясы болып табылады параметр l/h , температура мен жылдамдығын илектеу. 1.11-сурет. Прокаттаудың көрсетілген жағдайларында регрессия тендеуі 0,9 корреляция коэффициенті бар.

Тегіс прокаттау кезінде кернеулі-деформациясын есептеудің басқа әдістері бар [60]. [11] -ге сәйкес, алюминийді ыстықтай прокаттау кезінде үйкеліс коэффициенті l/h параметрінің, температураның және прокаттау жылдамдығының функциясы болып табылады. Өндірістік жағдайларға тән шамамен 1 м/с және 400^оС температурада айналу жылдамдығы кезінде үйкеліс коэффициенттері осы көзге сәйкес [61] есептелді және эксперимент нүктелері ретінде 1.11-суреттегі кестеде көрсетілген. Корреляция коэффициенті 0,9 болса, көрсетілген прокаттау жағдайындағы регрессия тендеуі пайда болады.

$$\mu = -0,013 \left(\frac{l}{h_{\text{срi}}} \right)^2 + 0,074 \frac{l}{h_{\text{срi}}} + 0,2042 \quad (1.21)$$

(1.21) формуласы бойынша регрессия сызығы сызба 1.11-суретте келтірілген.



1.11 - сурет - алюминийді прокаттау кезінде үйкеліс коэффициентінің l/h_{cp} параметріне 400 °С және прокаттау жылдамдығына 1 м/с тәуелділігі.

Есептеулер көрсеткендей, параметрді алюминий қорытпаларында қолданылатын қысу режимі көрсетеді $\frac{l}{h_{cp}}$. 0,3-тен 5,4-ке дейін өзгереді және жоғарыда аталған барлық диапазондарды қамтиды.

Дегенмен, ыстықтай прокаттау кезінде үйкеліс коэффициенті қаптаманың болуы немесе болмауы, қолданылатын эмульсияның сапасы және орамалардың кедір-бұдырлығы болуы мүмкін, бұл тозудың дәрежесіне байланысты. Бұдан түйіндейтін болсақ, егер прокаттау нәтижелерін талдау қажет болса,

$$\frac{l_i}{h_{cpi}} < 1 \text{ или } 1 < \frac{l_i}{h_{cpi}} < 2$$

теңсіздіктерді орындау кезінде өлшеулерді ұстанған жөн. Бұл жағдайда үйкеліс коэффициентінің әсерін елемеуге болады. Осылайша, есептеулерде қосымша қателіктер жіберілмейді. Сонымен, прокаттаудың кезінде үйкеліс коэффициентін анықтаумен байланысты есептеулердің қателерін жою үшін **А.И. Целикова** әдісімен жылжымалы күшті анықтау ұсынылады.

Деформация аймағындағы орташа нақты қысымды анықтау жұмыс бөлігінің кернеу күйі толық сипатталған дегенді білдірмейді. Дайындаманың көлеміндегі де, бетіндегі де кернеулер координаттар функциясына айналады. Жанасу бетіндегі кернеулерді сипаттау үшін тиісті диаграмма жасалады, ал металл көлеміндегі кернеулер мен штамдар тензор түрінде көрсетілуі керек.

3 Ыстықтай илемдеу жабдығы. Бақылау жүйесінің мәліметтерін өңдеу

Энергия шығындарын талдау және белгілі бір қасиеті бар алюминий қорытпаларынан жартылай фабрикаттар өндірісі, соның ішінде құрылымдық беріктендіру әсерімен, илемдеу параметрлерін ұтымды тағайындауға негізделген. Сонымен қатар, алюминий қорытпаларын ыстықтай прокаттау кезінде реверсивті прокаттау кезінде де, өткелдер арасындағы үзілістерде де металдың қасиеттерін өзгерту проблемалары әлі де аз зерттелген. Металлдың әрекетін жақсы түсіну үшін прокаттау зауытының жетегінің жүктеме диаграммаларын қолдануға болады. Дегенмен, қуат параметрлерінің статикалық және динамикалық компоненттерін ескеру қажет.

Талдау үшін UNITED компаниясының Quarto-2840 прокат зауытының жетектерінің жүктеме диаграммалары (2.1-сурет) және Каменск-Уральск металлургия зауыты «ААҚ» DANIELI компаниясының қосарлы ыстық прокат зауыты (2.2-сурет) таңдалды. Мониторинг жүйесінде жылжымалы параметрлер уақыт функциясы ретінде жазылады. UNITED және DANIELI шығарған ыстық прокаттау станоктарының қолданыстағы жабдықтарының суреттері.



а)

б)

2.1-сурет - 2840 клетінің орам жұмыс станы: а) беріліс ролигі үстелінде бейнеленген плитамен; б) қалыңдығы 20,7 мм илектелген жолақпен



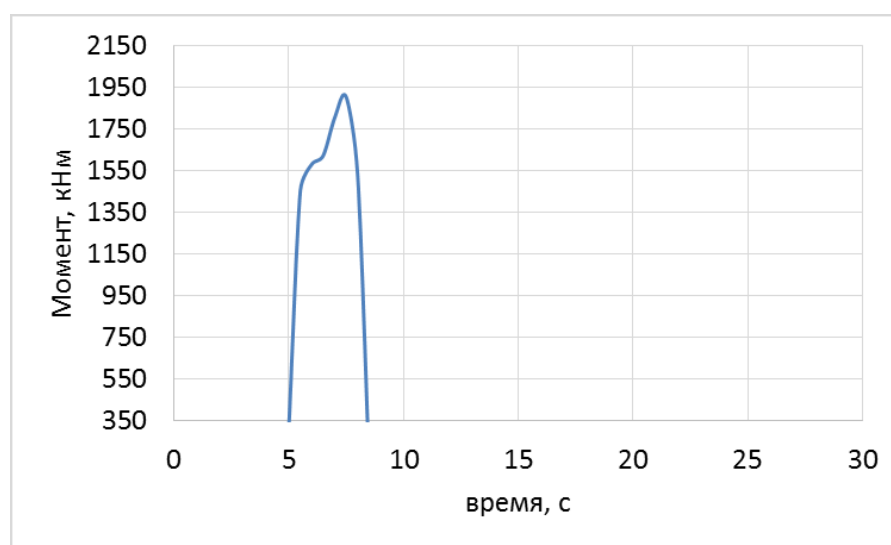
а)

б)

2.2-сурет - DANIELI ыстық прокаттау станогының кедір-бұдыр тірегі: а) түсіру ролигі бар тегістеу тірегінің көрінісі; б) өңделген стендтің өңделетін стендінің көрінісі

Прокат моменті автоматты түрде прокаттың қозғалтқыш тогының функциясы болып табылатын жүйе бойынша есептеледі. Рұқсат етілген прокаттау моменті, өз кезегінде, 2840 миллиметр үшін 2200 кНм шамасымен шектеледі, оның асып кетуі мотор біліктеріне ілінген муфталардың айналуына әкелуі мүмкін.

Алюминий қорытпаларының плиталарын ыстықтай прокаттау кері режимде жүзеге асырылады. Оның үстіне, жалға берудің өтпе жолдан бастап өтуге дейінгі ұзақтығының артуына байланысты жолдар бойымен жүру уақыты үздіксіз артып келеді. Осыған сәйкес жылжымалы режимдер өзгереді. Алғашқы өтпелерде қысқа прокаттау кезінде жылдамдық диаграммасы үшбұрышты графикке ұқсайды (2.3-сурет): диірменді жүктің шыңына дейін тездетуге болады, содан кейін тежеуге болады.



2.3-сурет- Бірінші өтпе жолдардағы прокаттау сәтінің жылдамдық диаграммасы

Бұл жағдайда M өлшенген қозғалу моменті екі компонентке тәуелді: статикалық момент M_C және $M_{дин}$ динамикалық моменті:

$$M = M_{ст} + M_{дин} \quad (2.1)$$

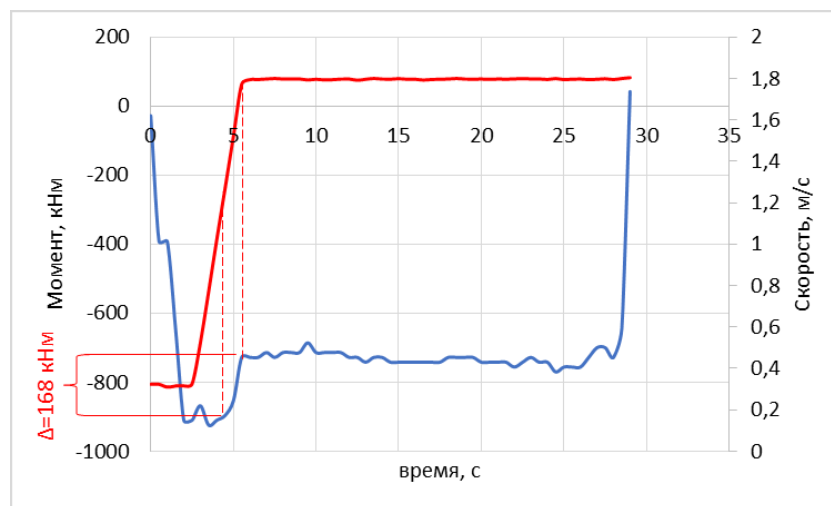
Өлшенген моментті графиктің пайда болуы мен олардың бірлескен әрекеті бойынша екі бөлікке бөлу мүмкін емес. Динамикалық моментті есептеу үшін кейбір жағдайларда орамның жетегінің инерциялық сипаттамасымен есептелетін ұшу ұғымы қолданылады. Соңғы мәндерді кейбір қателіктермен ғана анықтауға болады, өйткені орамалардың және басқа факторлардың әсерінен орама жүйесінің өзгермелі массасы әсер етеді.

Тікелей өлшеу барысында нүктені анықтау ең орынды, бұл жүктеу диаграммалары мен жылдамдық диаграммаларын сауатты өңдеу кезінде мүмкін.

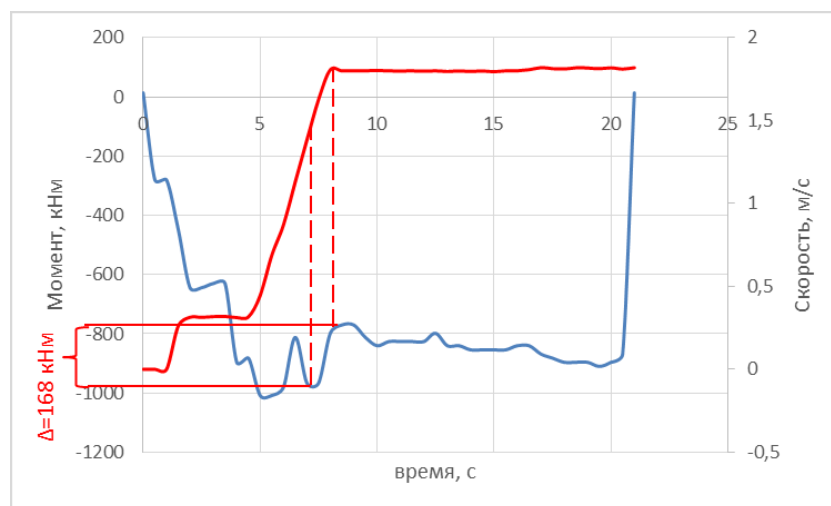
Жоғарыда сипатталған прокаттау моменттерінің екі түрі бар жағдай жолақтың ұзындығы айтарлықтай болатын прокаттау, соңғы өту жолдарында

өзгереді және прокаттау станы тұрақты жылдамдықпен прокаттау режиміне шығара алады. Бұл жағдайда типті жылдамдық диаграммасының бар екендігі туралы айтады. Мұнда $M_{\text{Дин}} = 0$ шарты орындалады, бұл $M = M_C$ теңдігіне әкеледі.

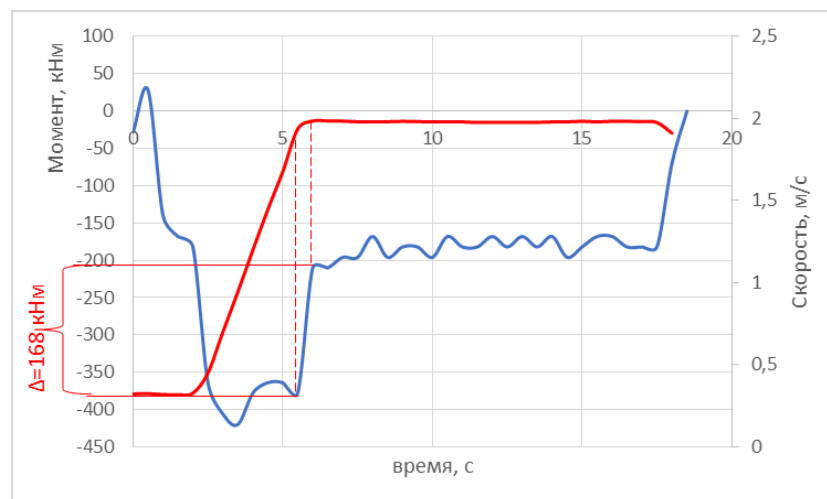
Сурет 2.4-соңғы прокаттаудың өту жолдары үшін жүктеме және жылдамдық диаграммалары ұсынылған.



а)



б)



в)

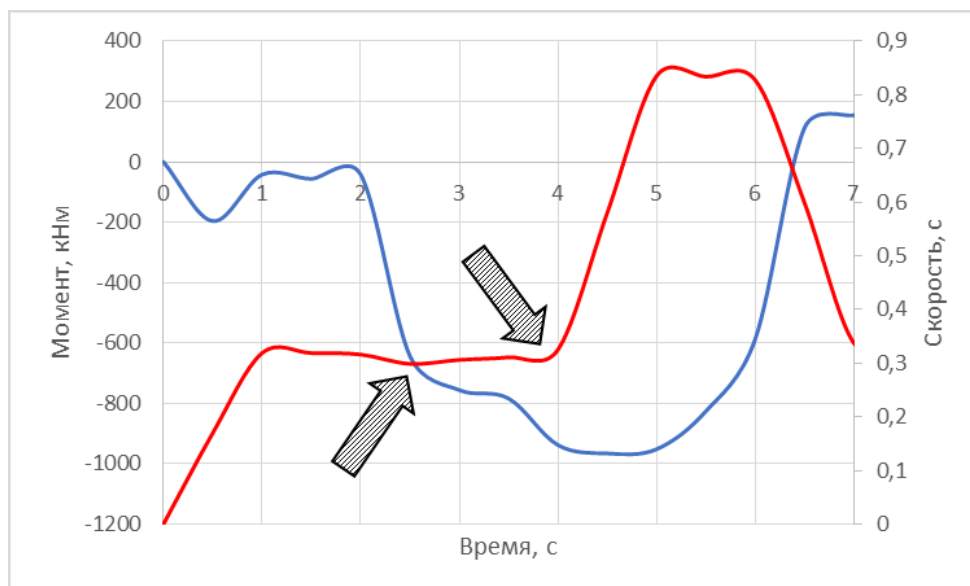
2.4-сурет- Прокаттаудың соңғы өту кезіндегі жүктеме және жылдамдық диаграммалары, қалыңдықтар үшін: А) 10,2 мм, б) 12,2 мм, в) 27,0 мм

2.4-суретте көрсетілгендей, жылдамдық өзгерісі трапецеидтік типті қисық сияқты көрінеді, трапеция қабырғаларындағы кемерлер жетек жылдамдықтарын ауыстырып қосады. Ең жоғары жылдамдыққа дейін станды тарату кезінде прокаттаудың ең жоғары сәттері, тікелей станды тарату алдында максималды мәндерге дейін белгіленеді, олар өз кезегінде -896 кНм, -966 кНм, -378 кНм тең. Келесі кезеңде стандың ең жоғары жылдамдығына жеткенде прокаттың айналу моментінің мәні анықталады, бұл өз кезегінде -728 кНм, -798 кНм, -210 кНм. Осы мәндердің барлығы арасындағы айырмашылық 168 кНм құрайды, бұл айырмашылық осы жағдайда прокаттаудың динамикалық сәтін құрайды.

Тексеру көрсеткендей, басқа тақтайшаларды жайған кезде бұл прокаттау мән өз мәнін сақтайды.

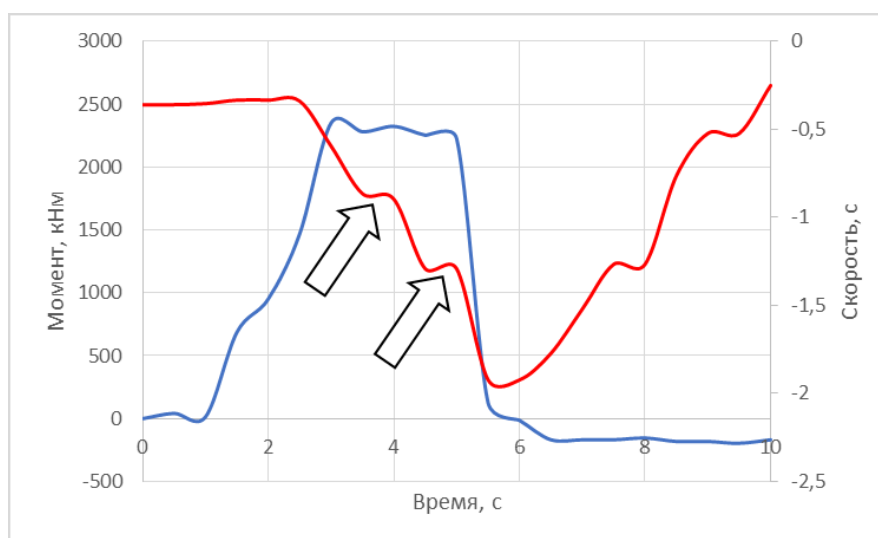
Алынған мәліметтер бізге үшбұрышты жылдамдықтың тиісті диаграммаларымен жүктеме диаграммаларын жеткілікті дәрежеде өңдеуге мүмкіндік береді: айналу моментінің жазылған мәндерінен динамикалық моменттің белгілі бір шамасын алуға және статикалық моменттің мәнін анықтауға болады.

2.5-суретте прокаттың бірінші өтуіндегі жылдамдықтың өзгерісі көрсетілген. 2.5-суреттен байқағанымыздай жылдамдық диаграммаларының формасы үшбұрышты пішіннен аз ерекшеленеді. Бірінші реттік жылдамдықтың ауытқуы жолақты жылжытудың бастапқы кезеңінде байқалды, сызылған жебемен ерекшеленді, ол қозғалу сәтінде қатты секіруден туындады.



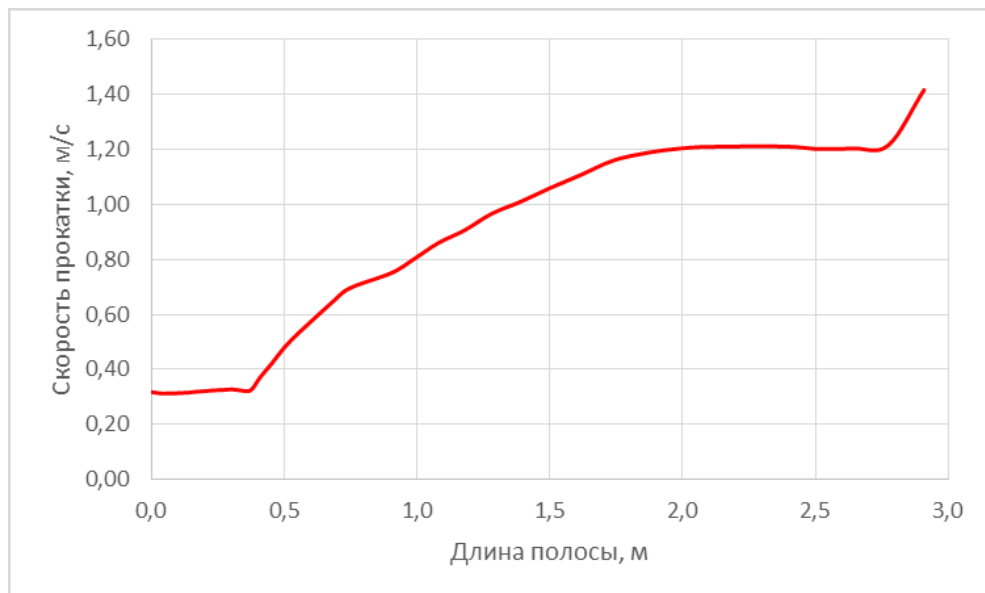
2.5-сурет- Жылдамдық пен айналу моментінің өзгеруінің диаграммасы. Қызыл сызық - айналу жылдамдығы; көк сызық - қозғалу сәті

2.6-суретте №6 өтпедегі жүк сызбасы көрсетілген. Мұнда көрсеткілер ыстық прокаттау жылдамдығының ауысу жылдамдығын моменттің бір уақытта жоғарылауымен көрсетеді.



2.6-сурет - 7475 қорытпасынан тақтайшаны прокаттау кезінде № 6 өту сұлбасы ($h_1 = 250$ мм)

2.7 суретте 7475 легірленген тақтайшаны илеу кезінде №6 жолдағы жол бойымен айналу жылдамдығының таралу диаграммасы көрсетілген.



2.7-сурет - 7475 қорытпасының тақтасын илеу кезінде №6 өтпеде жұмыс орамдарының сызықтық айналу жылдамдығының үлестіру диаграммасы

Бірдей плитаны айналдыру сызықтық жылдамдықтың кең спектрінде жүзеге асырылады. Әрине, бұл штамм мөлшерлемелерінің кең спектріне әкеледі. Шынында да, өту үшін штаммның орташа жылдамдығын анықтауға болады.

$$\xi = \frac{v \Delta H}{\ell H_0} \quad (2.2)$$

мұндағы $\ell = \sqrt{\Delta H \cdot D_B / 2}$ - деформация аймағының ұзындығы; ΔH - абсолютті сығылу; D_B - орамның диаметрі.

(2.2) формуласынан штамм жылдамдығы орамалардың айналу жылдамдығына пропорционал екендігі шығады. 2.2-суреттің графигінен бірінші жолдағы орамдардың айналу жылдамдығы үш есе, ал алтыншыда - алты есе өзгеруі мүмкін, бұл штамм жылдамдығының пропорционалды өзгеруіне әкеледі. Осылайша, ыстық илектеу жолақтарында жолдың бойымен айналу жылдамдығының біркелкі емес таралуы жасалады. Жағдайды (2.2) формула бойынша есептеулер штаммның орташа мәнін беретіндігімен күрделенеді. Жоғары жолақтарды илегенде, штамм жылдамдығы біркелкі емес: ол жанасу беттеріне жақын және жолақтың ортасына жақын кішкентай [71]. Қосымша гетерогендік шекаралық жағдайлардың өзгеруімен жасалады: орамалардың тозуының салдары және оларға металл илектерінің бөлшектері жабысып қалады [75]. Жоғарыда келтірілген нәтижелер басылымда кеңінен ұсынылған [76, 77].

Прокаттау процесін жүргізудің мұндай біртектілігінің салдары жартылай фабрикастың біркелкі емес құрылымы мен физикалық және механикалық

қасиеттерін зерттеу болып табылады, бұл жарияланымдарда алюминий қорытпаларын престоуге қатысты сипатталған [19, 35, 41].

ҚОРЫТЫНДЫ

Жоғарыда келтірілген ақпаратқа байланысты осы жұмыстың мақсаты алюминий қорытпаларын ыстықтай илемдеудің рационалды режимдерін тағайындау бойынша ұсыныстарды әзірлеу болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер тұжырымдалады:

- жылжымалы қондырғыға тікелей орнатылатын бақылау құрылғыларын қолданудың әдістемесін жасау;
- осы әдісті қолдана отырып, ыстықтай прокаттау кезінде деформацияға төзімділікті қосқанда беріктік қасиеттерінің өзгеруін бағалау;
- ыстықтай прокаттау параметрлерінің анизотропты әсерді ескере отырып, алюминий қорытпаларының қасиеттерін қалыптастырудағы үлесін бағалау.

Атқарылған жұмыс нәтижесінде қойылған мақсатқа қол жеткізілді және келесі нәтижелер алынды:

1. Алюминий қорытпаларын прокаттауды теориялық зерттеу негізінде ыстық прокаттаудың әрбір өту жолында деформация кедергісін бағалау үшін прокаттау агрегатының құрамына тікелей орнатылған мониторингтік құрылғыларды қолдану әдістемесі әзірленді.
2. Динамикалық және статикалық рекристаллизация үдерістерінің толық өтуін бағалау үшін деформация кедергісінің есептеулерін және ыстық прокаттаудың энергия күштік параметрлерінің тиісті есептеулерін алгоритмдеуді жеңілдетуге мүмкіндік беретін булевалық алгебра негізінде әдістеме әзірленді.
3. Эксперименттік зерттеулер негізінде алюминий қорытпаларын Ыстықтай илектеу қарқынының әсері анықталды.
4. Анизотропия әсерін есепке ала отырып, алюминий қорытпаларының қасиеттерінің қалыптасуына Ыстықтай илектеу өту жолдарында деформация жылдамдығының әсері анықталды.
5. Әрбір жеке өту жолында алюминий қорытпаларын ыстық прокаттау кезінде деформация кедергісін анықтауға мүмкіндік беретін әзірленген әдістемені пайдалана отырып, анықтамалық деректермен корреляцияланатын 6061 және 7475 қорытпалардың жылдам беріктігін сипаттайтын регрессияның нақты теңдеулері алынды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Фридляндер И.Н. Российские алюминиевые сплавы для авиакосмической техники и транспорта. Авиационные материалы и технологии. 2002. № 2. С. 3-11.
- 2 Фридляндер И.Н. Алюминиевые сплавы в летательных аппаратах в периоды 1970-2000 гг. и 2001-2015 гг. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2001. № 1. С. 5-9.
- 3 Антипов В.В., Клочкова Ю.Ю., Романенко В.А. Современные алюминиевые и алюминий-литиевые сплавы. Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 195-211.
- 4 Елагин В.И. Пути развития высокопрочных и жаропрочных конструкционных алюминиевых сплавов в XXI столетии//Металловедение и термическая обработка металлов. 2007. №9. С. 3-11.
- 5 Филатов Ю.А. Работы ВИЛСА по деформируемым алюминиевым сплавам системы Al-Mg-Sc. История создания, структура, свойства, опыт применения, проблемы и перспективы. Технология легких сплавов. 2017. № 3. С. 7-24.
- 6 Промышленные алюминиевые сплавы: справочник / С.Г. Алиева [и др.]. М.: Металлургия, 1984. 528 с.
- 7 Металловедение алюминия и его сплавов: справочник / А.И. Беляев [и др.]. М.: Металлургия, 1983. 280с.
- 8 Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1972. 480 с.
- 9 Белов Н.А., Достаева А.М., Шуркин П.К., Короткова Н.О., Яковлев А.А. Влияние отжига на электросопротивление и твердость горячекатаных листов алюминиевых сплавов, содержащих до 0,5 % Zr/ Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2016. № 3. С. 48-55.
- 10 Колпашников А.И. Прокатка листов из легких сплавов. М.: Металлургия, 1979. 264с.