

# МЕТАЛЛУРГИЯ

---

---

МРНТИ 53.03.05

С.А. Машеков<sup>1</sup>, Х. Дыя<sup>2</sup>, М.Р. Мауленова<sup>1</sup>, Э.А. Тусупкалиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қ.И. Сәтбаев ат. Қазақ Ұлттық техникалық зерттеу университеті,  
Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Ченстохова политехникалық университеті, Ченстохова, Польша

## ФИЗИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУМЕН 1050 АЛЮМИНИЙ ҚОРЫТПАСЫНАН ЖАСАЛҒАН ЖҰҚА ЖОЛАҚТАРДЫ БОЙЛЫҚ-СЫНАЛЫ ОРНАҚТА ЫСТЫҚТАЙ ИЛЕМДЕУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ

---

---

**Түйіндеме.** Gleeble 3500 жоғары дәлдіктегі заманауи қондырғысын қолдану арқылы 1050 алюминий қорытпасын бойлық сыналы орнақта түрлі өңдеу режимдерімен илемдеуді физикалық модельдеу барысындағы деформация кедергісінің өзгерісі зерттелді. Бірыңғай позицияда 1050 алюминий қорытпасын әртүрлі температура мен деформация жылдамдығында көпсатылы қысу барысындағы құрылымының өзгерісі сипатталған. Осы жолмен физикалық модельдеуді қолданып, 1050 қорытпасын бойлық сыналы орнақта жаймалағанда температуралық-деформациялық өңдеу режимінің микроқұрылымға әсеріне талдау жасалған, түйіршіктерінің өсу кинетикасы мен ұсақталуы қаралып, ұсақ түйіршікті микроқұрылым алу шарттары белгіленген. Деформация температурасы 350÷450°C деформация жылдамдығы 1,5÷5 м/с 1050 алюминий қорытпасының құрылымында температуралық-деформациялық өңдеу режиміне байланысты динамикалық және статикалық кристалсыздану жүреді. Жұмыста 1050 алюминий қорытпасын жаймалауда ұсақтүйіршікті құрылымын қамтамасыз ету үшін бойлық сыналы орнақта 350-450°C температура-сында жаймалауды жүргізу қажеттігі дәлелденген.

**Түйінді сөздер:** қысу, деформация кедергісі, майысқақтық, эксперимент, беріктену, беріксіздану, кристалсыздану.

• • •

**Аннотация.** С использованием современной высокоточной установки Gleeble 3500 исследовано закономерности изменение сопротивления деформации алюминиевого сплава 1050 при физическом моделировании прокатки на продольно-клиновом стане с различными режимами обработки. С единой позицией описано изменение структуры алюминиевого сплава 1050 при многоступенчатом обжатии при различных температурах и скоростях де-

формирования. При этом путем использования физического моделирования выполнен анализ влияния температурно-деформационных режимов обработки на микроструктуру сплава 1050 при прокатке на продольно-клиновом стане, рассмотрена кинетика роста и измельчение зерен, отмечены условия образования мелкозернистой структуры. Установлено, что в диапазоне температур деформаций 350÷450°С и скоростях деформирования 1,5÷5 м/с в структуре алюминиевого сплава 1050 протекает динамическая и статическая рекристаллизация в зависимости от температурно-деформационных режимов обработки. В работе доказано, что для обеспечения структуры проката из сплава 1050 необходимо производить прокатку полос на продольно-клиновом стане с температурой прокатки 350-450°С.

**Ключевые слова:** сжатие, сопротивление деформации, пластичность, эксперимент, упрочнение, разупрочнение, рекристаллизация.

• • •

**Abstract.** Using the modern high-precision Gleeble 3500 system, the patterns of variation in the resistance of deformation of an aluminum alloy 1050 under physical modeling of rolling on a longitudinal-wedge mill with various processing regimes are studied. With a single position, a change in the structure of an aluminum alloy 1050 with a multistage compression at different temperatures and deformation rates is described. At the same time, using physical modeling, an analysis was made of the influence of the modes of processing temperature deformation on the microstructure of alloy 1050 during rolling on a longitudinal-wedge mill, the kinetics of growth and grain refinement, conditions for the formation of a fine-grained structure. It is established that dynamic and static recrystallization occurs in the range of deformation temperatures of 350÷450°С and a deformation rate of 1.5-5 m/s in the structure of the aluminum alloy 1050, depending on the conditions for processing the temperature deformation. It is proved that in order to ensure the structure of rolled products from alloy 1050, it is necessary to produce rolling of strips on a longitudinal-wedge mill with a rolling temperature of 350-450°С.

**Keywords:** compression, deformation resistance, plasticity, experiment, hardening, softening, recrystallization.

**Қысқашы.** Алюминий қорытпаларынан жасалған дайындамаларды ыстықтай жаймалаған кезде, олардың микроқұрылымы деформациялау уақытында және тынысында жүретін беріктену және динамикалық, статикалық беріксіздену процестеріне тәуелді болатындығы [1,2] әдебиеттерден белгілі.

Деформация кедергісі графигінің көмегімен, металдарда жүретін динамикалық және статикалық беріктену-беріксіздену про-

цестерінің заңдылықтарын анықтауға болады. Деформациялар арасындағы тыныста жүретін статикалық беріксізденуді, үлгілікті көп сатымен деформациялап алынған қисық сызықты немесе механикалық қасиеттердің графигін тәжірибемен алып және кернеудің релаксациясын пайдаланып зерттеуге болады. Металлографиялық, рентгенографиялық және электронды-микроскопиялық әдістер көмегімен де бұл процестердің жүруін зерттеуге болатындығын айта кеткен жөн [3,4]. Айтылған деформация кезінде жүретін беріктену және беріксіздену процестеріне жасалатын тетіктің сапасының тікелей тәуелді екендігі белгілі.

Металды илемдеуге қажетті деформациялаудың энергия күштік параметрді есептегенде, қысыммен өңдейтін жабдықтың қуатын анықтағанда, қажетті микроструктура мен материалдың қасиетін болжағанда жоғарыда айтылған процестердің кинетикасын білу маңызды болып табылды [5,6].

Белгілі бір мақсатпен жоғарыда айтылған беріктену және беріксіздену процестерін қолдану, металдарды қысыммен өңдеудің (МҚӨ) қажетті түрін жақсартуға, жоғары сапасы бар аяққы өнімдерді термиялық өңдеусіз жасауға мүмкіндік береді.

Материалдарды қысыммен өңдеудің әртүрлі процестерін модельдеу үшін, деформациялау жағдайындағы металдардың қасиетін зерттеу қажет [7,8]. Бұл үшін металдарды қысыммен өңдеудің зерттелетін түріне тән деформацияның мөлшері мен жылдамдығы және өңдеу температурасы аралығында тәжірибелер жасап, осы көрсеткіштердің мөлшерлеріне сәйкес келетін деформацияның кедергісін анықтау керек. Осындай әдісті қолданып алған деформация кедергісінің қисық сызығы мен теңдеуін, деформациялаудың тиімді температура-жылдамдықтық параметрін және өңделетін дайындаманың әртүрлі нүктесі үшін деформацияның өзгеру эволюциясын анықтағанда пайдалануға болады. Алынған мәліметтер бұйым металында ұтымды микроқұрылымды және қасиетті алуға болатын технологияны жасауға мүмкіндік береді.

Сонымен, МҚӨ түрлерімен, сонымен қатар осы МҚӨ бір түрі болып саналатын жаймалаумен металды ыстықтай деформациялағанда жүретін беріктену және беріксіздену процестерін зерттеу үшін деформация кедергісі қисық сызығын кеңінен пайдаланады.

Сонымен бірге ыстықтай илемделген жайманың микроқұрылымына жаймалаудың температура-деформациялық режимдерінің әсер етуін анықтау үшін деформация кедергісі қисық сызығын қолданады. Алынған мәліметтер негізінде ұтымды технологияны белгілеу мәселесін шешу сұрағына қазіргі уақытта үлкен көңіл бөледі.

Алюминий қорытпаларынан сапасы жоғары жұқа жолақтарды жасау үшін біз құрылымы жаңа бойлық-сыналы орнақты ұсындық [9]. Бұл орнақ мөлшері аз энергия күштік параметрмен жолақтарды жаймалауды іске асыруға мүмкіндік береді. Бойлық-сыналы орнақтың алдыңғы үш қапасында диаметрлері бірдей екі тіреуші және екі жұмысшы, ал соңғы екі қапасында - төрт тіреуші және екі жұмысшы пішінбіліктер орнатылған. Осы орнақтың негізгі айырмашылығына, жаймалау бағытымен бір ізді орналасқан қапастарда диаметрі біртіндеп кішірейетін жұмысшы пішінбіліктерді орнатуды жатқызуға болады.

**Жұмыстың мақсаты.** Жаңа бойлық-сыналы орнақта 1050 алюминий қорытпасын илемдеуді физикалық модельдеп, сапасы жақсы илемді жасауға жағдай жасайтын илемдеудің оңтайлы технологиялық параметрлерін анықтау.

#### **Материалдар және зерттеу әдістемесі**

Физикалық модельдеумен тәжірибелер жасау үшін, 1050 алюминий қорытпасынан (Al – 99,3; Fe – 0,3; Si – 0,21; Mn – 0,035; Ti – 0,03; Cu – 0,04; Mg – 0,03; Zn – 0,04; қоспалар – 0,025) өлшемі  $20\pm 0,1 \times 15\pm 0,1 \times 10\pm 0,1$  мм тең болатын тік бұрышты қимасы бар дайындамалар жасалды.

Жұмыста екі вариантпен тәжірибелер жүргіздік (1-кесте). Тәжірибелердің бірінші вариантын іске асырғанда, 1050 алюминий қорытпасының реологиясын зерттедік. Осы зерттеуді жүргізу үшін, Gleebler 3500 қондырғысының контейнеріне дайындаманы қойып, дөңес соққышпен шөктіруді жүргіздік. Тәжірибелерді жүргізгенде дайындамаларға белсенді жүктемені түсіріп, оларды бойлық-сыналы орнақтың жылдамдығымен циклді шөктірдік. Циклді шөктірудің аралығында дөңес соққышпен қысылған күйде дайындама қалдырылды. Осындай жағдайда дайындамаға белсенді жүктемені түсірудің сатысы, релаксация сатысымен ауыстырылды.

Тәжірибелерді екінші вариантпен жүргізгенде, физикалық модельдегенде қолданылған бойлық-сыналы орнақтың температура-

лы-деформациялы режимі жасалатын жолақтың микроқұрылымына қаншалықты әсер ететіндігі анықталды. Ол үшін қондырғының қарпығышын ажыратып, контейнерден үлгілікті шығардық. Осыдан кейін 1050 алюминий қорытпасының микроқұрылымы зерттелді.

Gleeble 3500 қондырғысы температуралы-деформациялы сынаудың толық цифрлы тұйық жүйесі болып есептеледі. Осы қондырғыда қолданылатын қарапайым Windows базасындағы бағдарлама және қуатты процессорлар жиынтығы технология жасауға қажетті тәжірибелік мәліметтерді алуға мүмкіндік береді. Айтылған бөлімдер физикалық модельдеудің және температуралы-деформациялы сынаудың жоспарын жасауға, оны іске асыруға және өңдеуге қажетті интерфейспен қамтамасыз етеді.

Gleeble 3500 қондырғысында  $10000^{\circ}\text{C}/\text{с}$  және одан да аз жылдамдықпен дайындаманы қыздыруға және тұрақты температураны ұстап тұруға мүмкіндік жасайтын қыздыру жүйесі қолданылады. Дайындама қойылатын соққыштың жоғарғы жылу өткізгіштігінің көмегімен, Gleeble 3500 қондырғысы дайындаманы үлкен жылдамдықпен суыта алады. Қосымша суытатын жүйе, дайындаманың беткі аймағын  $10000^{\circ}\text{C}/\text{с}$  және одан да үлкен жылдамдықпен суытуға мүмкіндік береді. Дайындаманың температурасын дәл бақылауға қажетті дабылды компьютерге беріп тұратын термोजұптар мен қосымша инфрақызыл пирометрлер Gleeble 3500 қондырғысында орнатылған.

Тұйық және толық интегралданған сервогидравликалық жүйеден Gleeble 3500 қондырғысының механикалық бөлімі тұрады. Айтылған механикалық бөлімде 100 кН дейінгі күшпен дайындаманы тартуға немесе жаншуға және 1000 мм/с максималды жылдамдықпен қондырғы сайманын қозғалтуға болады. Механикалық сынаудың бағдарламасын дәл іске асыруға керекті кері байланысты қамтамасыз ету үшін, LVDT- бергіші/күш бергіші (тензоөлшегіш) немесе түйіспейтін лазерлі экстензоөлшегіші қолданылады. Барлық тәжірибелерді кішкентай қысымда немесе арнайы қорғау атмосферасында іске асыруға болады.

Қондырғының механикалық жүйесі әртүрлі сынау тәжірибелерін жүргізгенде, керекті басқару режимін пайдалануға мүмкіндік береді. Осындай икемділік біршама температуралы-деформаци-

ялық режимдерді модельдеуге жағдай жасайды. Бағдарлама басқарушысы айнмалы мөлшерлерді тәжірибенің кез келген сатысында өзгерте алады.

Gleeble 3500 қондырғысының негізгі бөліміне 3 сериямен шығарылған цифрлы басқару жүйесі жатады. Осы бөлім бір уақытта, термиялық және механикалық сынаудың параметрлерін басқаруға қажетті дабылды, жабық типті цифрлы температуралы-деформациялық жүйенің көмегімен береді. Gleeble 3500 қондырғысы автономды немесе қолмен басқаратын режиммен жұмыс жасайды. Материалдарды сынайтын ең жақсы жағдайға жету үшін, айтылған қондырғы қиыстырылған режиммен де жұмыс жасай алады.

ОС Windows бағдарламасы енгізілген дербес компьютермен және басқару консолінде қойылған қуатты өндірістік компьютермен, Gleeble 3500 қондырғысының компьютерлі басқару жүйесі жабдықталған. ОС Windows бағдарламасымен қамтамасыз етілген дербес компьютер, модельдеудің жоспарын жасауға және анықталған мәліметті талдауға қажетті, стандартқа сәйкес, икемді Графикалық Интерфейспен жабдықталған.

Тәжірибелерді жасаған кезде, дайындаманы Gleeble 3500 жабдығының контейнерінде 450 °С температурасына дейін қыздырып, 30 мин ұстадық. Осындай температуралық режиммен өңдеу үлкен түйіршікті құрылымды қалыптастыруға мүмкіндік жасайды. Қыздырылған дайындамаларды тәжірибе жасау температурасына дейін суыттық, содан кейін оларды 250 ÷ 450 °С температуралар диапазонында 50 °С қыздыру қадамымен шөктірдік. Сатымен тәжірибені жасаған кезде жаншу режимін өзгерттік (1-кесте). Сатылы шөктіруді, бес қапасты бойлық-сыналы орнақта жолақты жаймалағанда пайда болатын деформациялар арасындағы тыныс уақытымен жүргіздік. Деформациялар арасындағы тыныс уақытын секундтық көлемнің тұрақтылық заңын қолдай отырып, анықтадық. Деформацияланған дайындаманың құрылымын зерттеу үшін, сыналған дайындамалардан үлгіліктерді кесіп алдық.

Металлографиялық зерттеулерді жүргізу үшін, күнделікті қолданылатын тәсілдерді қолданып, ажарлау және әрлеу дөңгелектерінде ысылманы жасадық. Ысылманы уландыру үшін этил спиртіндегі азот қышқылының ерітіндісін қолдандық.

Кесте - Физикалық модельдеудің тәжірибе жүргізу жоспары.

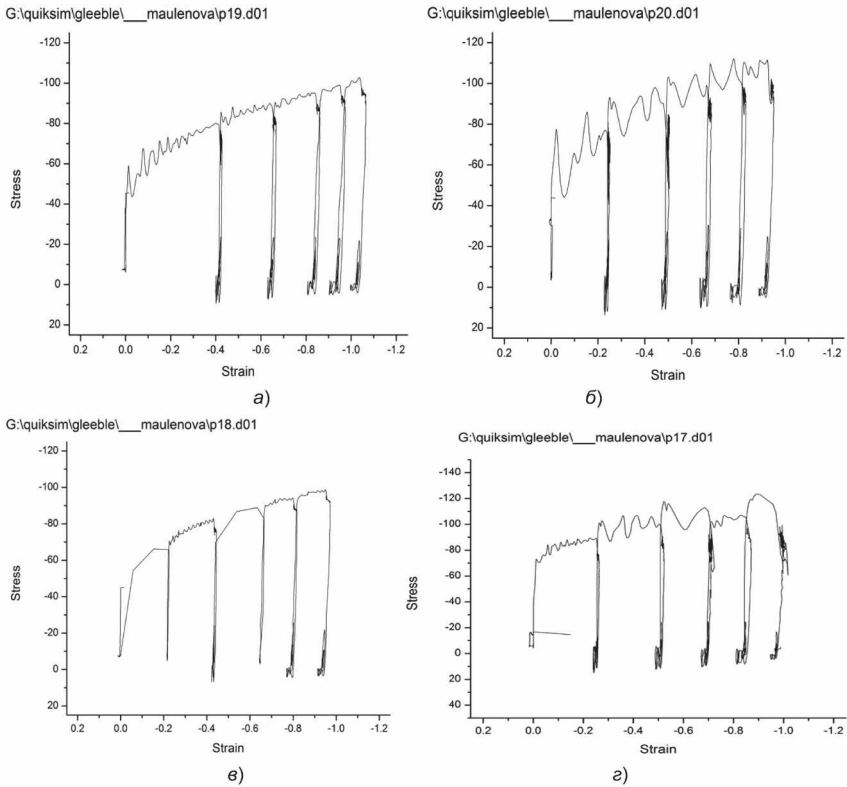
Вар. №	$\varepsilon_1, \%$	$t_1, c$	$\varepsilon_2, \%$	$t_2, c$	$\varepsilon_3, \%$	$t_3, c$	$\varepsilon_4, \%$	$t_4, c$	$\varepsilon_5, \%$
Сынау температурасы – 450°C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	3	20	3	20	3	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Сынау температурасы – 400°C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Сынау температурасы – 350°C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Сынау температурасы – 300°C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Сынау температурасы – 250°C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12

Ескерту:  $\varepsilon_1$  – бірінші қапастағы бірлік жаншу;  $t_1$  – бірінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс;  $\varepsilon_2$  – екінші қапастағы бірлік жаншу;  $t_2$  – екінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс;  $\varepsilon_3$  – үшінші қапастағы бірлік жаншу;  $t_3$  – үшінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс;  $\varepsilon_4$  – төртінші қапастағы бірлік жаншу;  $t_4$  – төртінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс;  $\varepsilon_5$  – бесінші қапастағы бірлік жаншу.

Металлографиялық зерттеулерді жүргізу үшін, әржақты NEOPHOT 32 микроскобын (Karl Zeiss, Jena) (Германия) қолдандық. NEOPHOT 32 микроскобында фотосуреттерді түсіруге болады. Ысылманың құрылымын анықтағанда, үлкейтудің еселігін өзгерте отырып, поляризацияланған жарықта жүргізілетін ақ пен қара өріс әдістемесімен түйіршіктер өлшемін таптық. Осы микроскоп 10-нан

2000-ға дейін ретпен құрылымды үлкейтеді және айналы цифрлі Olympus фотоапаратымен микроқұрылымды түсіреді. Алынған микроқұрылым суреттерін дербес компьютерде сақтауға болады.

**Алынған нәтижелер және оларды талқылау.** 1-5 суреттерінде 1050 алюминий қорытпасының деформацияға кедергісі қисық сызығы келтірілген. Алынған деформацияға кедергісімен пластикалық деформация арасындағы тәуелділік, төменгі температураларда шөктірілген дайындамаларда тек беріктену процесі жүретіндігін, ал жоғары температурада шөктірілген дайындамаларда беріктену процесімен қатар беріксіздену процесі де жүретіндігін көрсетті (1 – 5 суреттер).

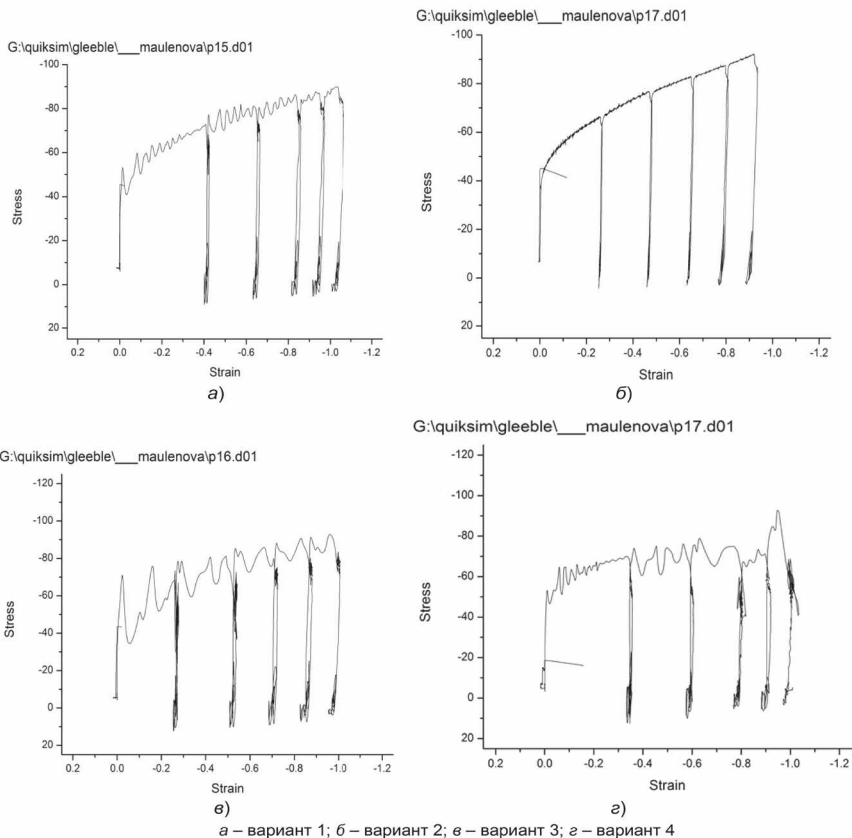


а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; з – вариант 4

Сурет 1 – 250 °С температурасында 1050 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қисық сызықтары



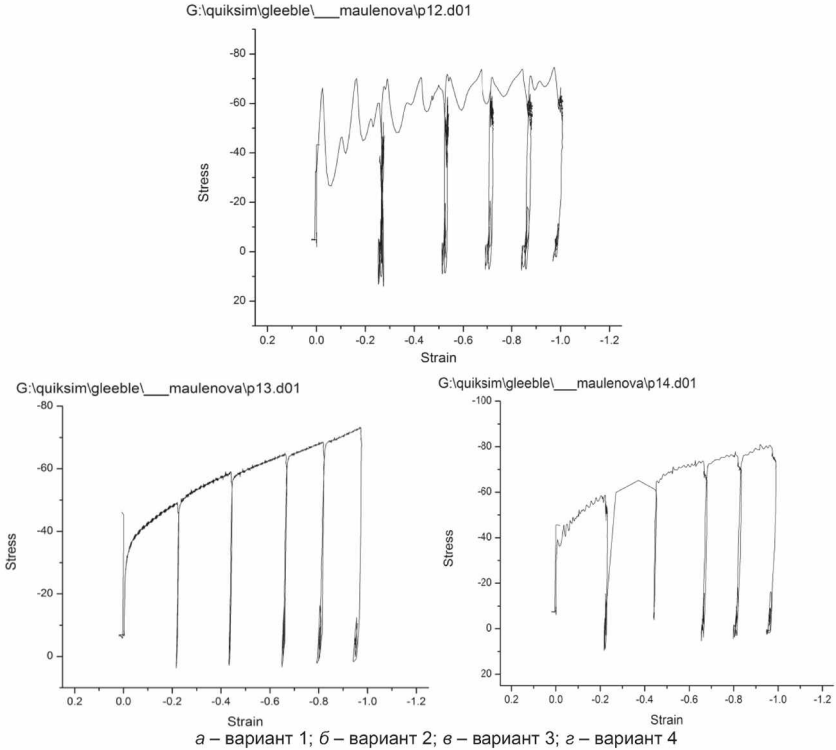
Алынған мәліметтерден, 250 және 300°C температураларында дайындамаларды шектіргенде, деформация кедергісінің мәні бастапқы сатыдан аяққы сатыға дейін салыстырмалы тез үлкейетіндігі байқалады (1 және 2 суреттер). Бұл мәлімет 250 және 300°C температураларда шектірілген дайындамалар металында тек беріктену процесі жүретіндігін дәлелдейді.



Сурет 2 – 300 °С температурасында 1050 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қысққ сызықтары

Алынған мәліметтерден, 250 және 300 °С температураларында дайындамаларды шектіргенде, деформация кедергісінің мәні

бастапқы сатыдан аяққы сатыға дейін салыстырмалы түрде тез үлкейетіндігі байқалады (1 және 2 суреттер). Бұл мәлімет 250 және 300 °С температураларда шөктірілген дайындамалар металында тек беріктену процесі жүретіндігін дәлелдейді.



Сурет 3 – 350 °С температурасында 1050 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қысқ сызықтары

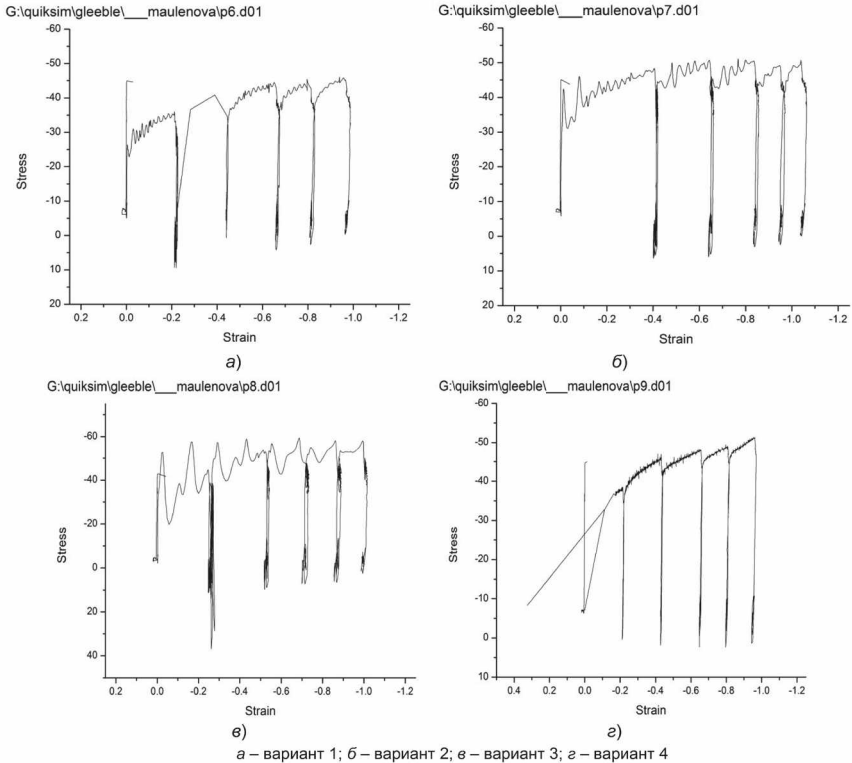
1050 алюминий қорытпасынан жасалған дайындамаларды 350, 400 және 450°С температураларында шөктіргенде деформация жеңіл жүретіндігі 3, 4 және 5 суреттерден көрініп тұр. Осындай мәліметтер, айтылған температураларда деформация кедергісінің мөлшері салыстырмалы кішкентай мөлшерлерге икемделетіндігін және 1050 алюминий қорытпасының деформацияға кедергісі температурадан азырақ тәуелді болатындығын көрсетеді.

350 және 400°C температураларында дайындамаларды шөктірген кезде, деформациялау санын көбейтетін болсақ, онда сайманға түсетін қысым аздап үлкейетіндігін тәжірибелер көрсетті (3 және 4 суреттер). Осы себептен, деформация кедергісінің мәні де бәсең жоғарылап отырды. Өйткені, осы температураларда 1050 алюминий қорытпасын шөктіру, беріктену мен беріксіздену процестерін қатар жүргізіп, деформацияны дайындаманың кейбір бөлімдерінде шоғырландырып, деформация кедергісін тым бәсең үлкейтуге алып келді. Сонымен, 350 және 400°C температураларында табылған деформация кедергісі, 1050 алюминий қорытпасынан жасалған дайындаманың осы температураларда деформациялану жағдайын толық бейнелейді (температуралардан, деформация дәрежесі мен жылдамдығынан деформация кедергісінің тәуелділігін).

450°C температурасында дайындамаларды шөктіргенде, деформация кедергісінің мөлшері жаншу үлкейген сайын бәсең көбейетіндігі 5 суреттен байқалады. Сонымен, 450°C температурасында дайындаманы 10-25% жаншу мөлшерлерімен бөлшектеп шөктірген кезде, деформация кедергісінің қисық сызықтарының баяу үлкейетіндігін тәжірибелер көрсетті. Осындай қисық сызықтарды алудың себебіне мынаны жатқызуға болады. 1050 алюминий қорытпасын бойлық-сыналы орнақта қолданылатын деформация аралығындағы тыныстармен, деформациялаудың дәрежесімен және деформация жылдамдығымен жаймалағанда, металда динамикалық және статикалық беріксіздену процестері қатар өтіп, осы процестер салыстырмалы жылдам жүріп, деформация кедергісі кішкентай қарқындылықпен өседі. Осы суреттер, 450°C температурасында деформация мен деформация жылдамдығының дайындама көлемінде біркелкі таралмауы деформация кедергісінің мәніне қатты әсер ететіндігін көрсетеді.

Технологиялық процестерді 250, 300 және 350°C температураларында физикалық модельдеумен алынған мәліметтер негізінде мыналарды жорамалдауға болады. Алдыңғы қапастарда кішкентай жылдамдықтармен 1050 алюминий қорытпасын жаймалағанда, беріктену және беріксіздену процестері бірге жүріп, деформация кедергісі бәсең жоғарылады, ал соңғы қапастарда үлкен жылдамдықпен жаймалағанда беріктену процесі жақсырақ жүріп және деформация дайындамада біркелкі тарап деформация кедергісі қарқынды көбейді.

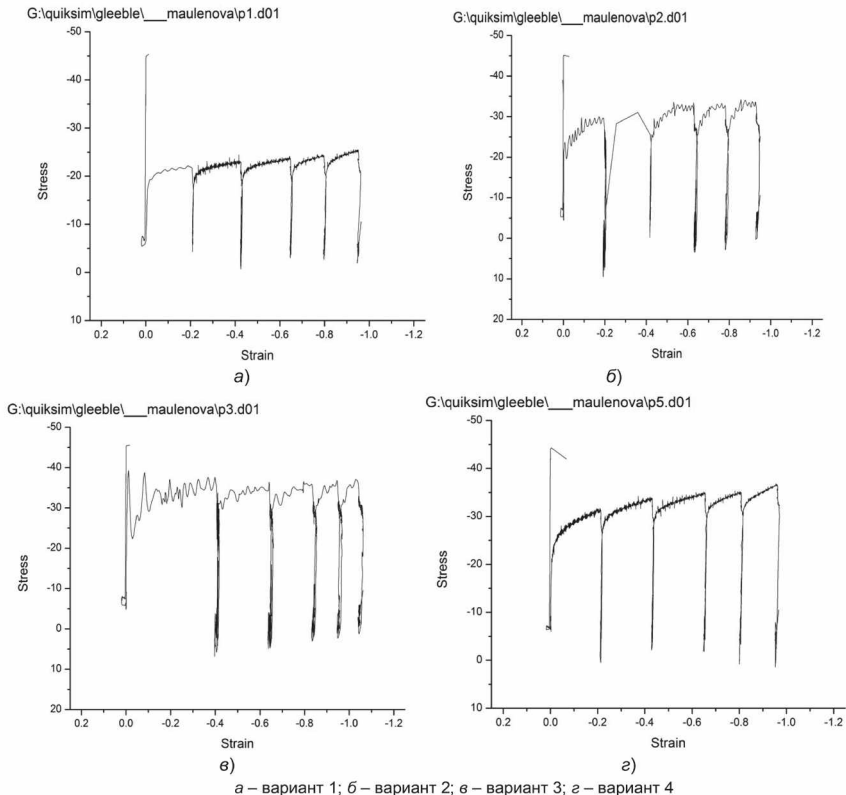
Ақырғы қапастарда үлкен деформация дәрежесімен жаймалайтын болсақ, онда деформация жылдамдығы үлкейіп, осыған сәйкес деформация кедергісі көбейіп, көп энергия шығынымен илемдеу жүргізілетіндігін айта кеткен жөн.



Сурет 4 – 400°C температурасында 1050 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қисық сызықтары

Сонымен, 1050 алюминий қорытпасының деформацияға кедергісі қисық сызықтарын талдасақ, онда 250 және 300°C температураларында беріктену деформациялаудың бастапқы уақытынан аяғына дейін өте қарқынды дамидың, ал 350, 400 және 450°C температураларында беріктену мен беріксіздену процестері қатар жүретіндігін байқауға болады. Тәжірибенің басқа барлық көрсеткіштерін

тұрақты ұстайтын болсақ, онда беріктенудің қалдығы тұрақты болып қалатындығы суреттерден көрініп тұр.



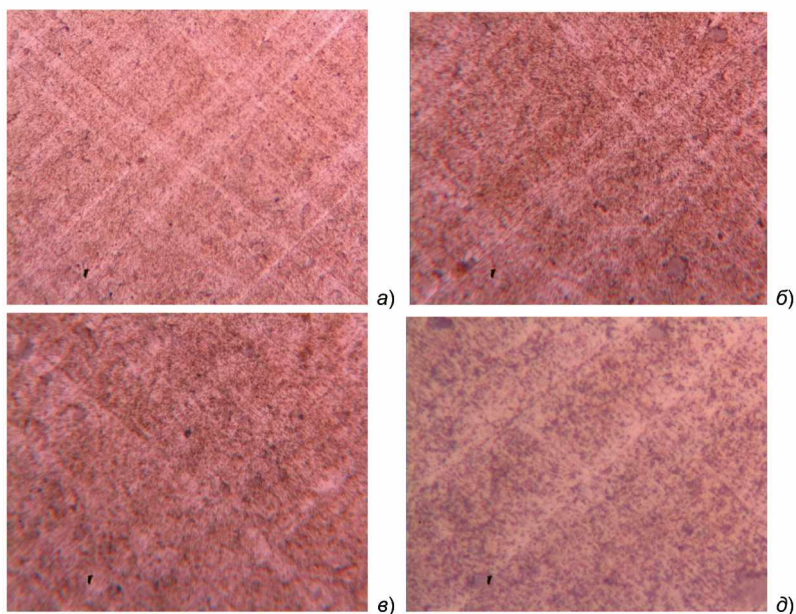
Сурет 5 – 450°C температурасында 1050 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қысқь сызықтары

Біздің ойымызша, 250 және 300 °C температураларда деформация кедергісінің қарқынды үлкеюін дайындамада деформацияның біркелкі таралуымен де, ал 350, 400 және 450°C температураларында деформация кедергісінің бәсең көбеюін дайындама көлемінің белгілі бір бөлімдерінде деформацияның шоғырлануымен де байланыстыруға болады.

Көптеген жағдайда, 1050 алюминий қорытпасы үшін тәжірибемен алынған деформация кедергісі, [6, 10] әдебиеттерінде жарияланған, салыстыруға болатын жағдайларда алынған деформация кедергісіне сәйкес келеді.

1050 алюминий қорытпасынан жасалған бастапқы дайындама әртекті микроқұрылымды иемденген. Бұл микроқұрылым ірі түйіршікті. Осы түйіршіктердің орташа мөлшері дайындаманың тік бағытында 214 мкм, ал көлденең бағытында 198 мкм тең болды. Ірі түйіршіктердің шекарасында өлшемі ~ 41-48 мкм болатын ұсақ түйіршіктер орналасқан.

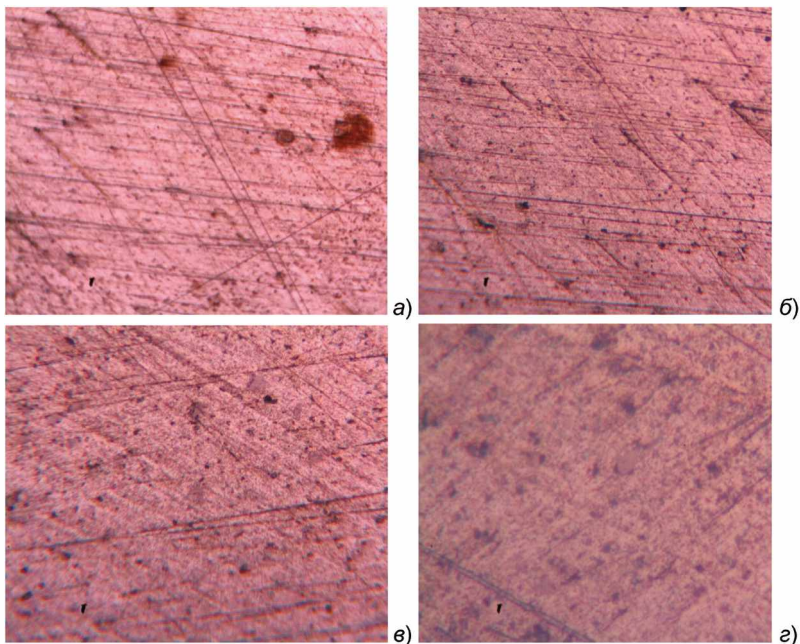
Шектірілген дайындамаларды металлографиялық жағынан зерттегенде, 250 және 300 °С температурасында деформацияланған 1050 алюминий қорытпасының микроқұрылымы рекристаллизацияланбаған болып шықты. Өйткені дайындаманың биіктік бағытындағы түйіршіктерінің орташа өлшемі 214 мкм-ден 12-43 мкм дейін, ал көлденең бағытта 198 мкм-ден 749 – 873 мкм дейін өзгерді. Сонымен бірге, аяққы қапастардағы деформация дәрежесін үлкейткенде түйіршіктердің өлшемдерінің азаятындығын айта кеткен жөн. (суреттер 6,б және 7,б).



а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Сурет 6 – 1050 алюминий қорытпасын 250°С температурасында илемдегенде түйіршіктер өлшемінің жаншу мөлшеріне және деформация аралық тыныс уақытына тәуелділігі

Сонымен 250 және 300°C температурасында деформацияланып алынған 1050 алюминий қорытпасының құрылымдық күйін талдау, дайындаманың көлденең бағытында микрожолақтық құрылым құрылатындығын көрсетті (суреттер 6 және 7). Мұнда ішкі түйіршікті дислокацияның тығыздығы көбейіп, ені 12-43 мкм-де тең болатын ығысу жолағы қалыптасты.

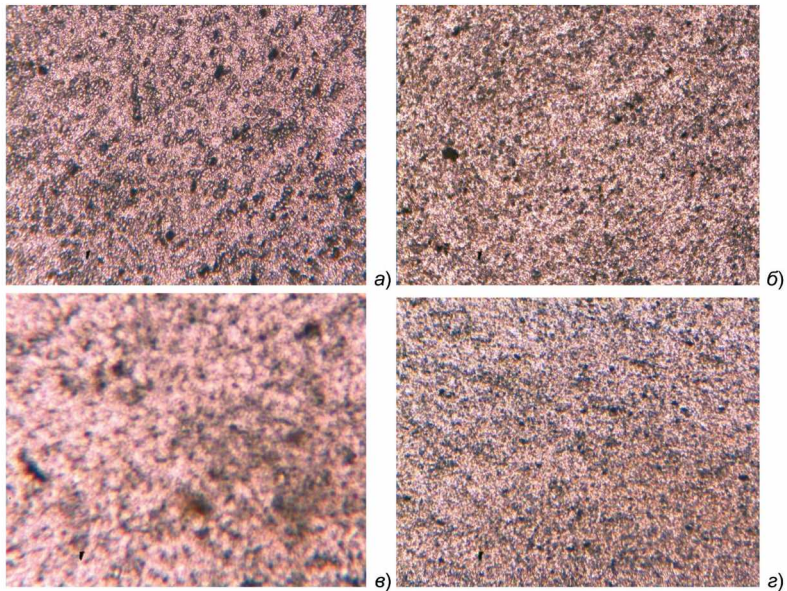


а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; з – вариант 4

Сурет 7 – 1050 алюминий қорытпасын 300°C температурасында илемдегенде түйіршіктер өлшемінің жаншу мөлшерінен және деформация аралық тыныс уақытына тәуелділігі

350, 400 және 450°C температураларында шөктірілген дайындамалар қорытпасының микроқұрылымы рекристаллизацияланған. Себебі ыстықтай деформациялаумен құрылған тік бағыттағы түйіршіктердің өлшемі 26-33 мкм аралығында және көлденең бағыттағы түйіршіктердің өлшемі 25-34 мкм диапазонында орындарын тапты (суреттер 8, 9 және 10).

Шамасы бойынша ең кішкентай түйіршіктер, 450 °С температура-сында шөктірілген дайындамалар металында қалыптасқанына ерекше көңіл бөлу керек. Осы температурада 1050 алюминий қорытпасынан жасалған дайындаманы ыстықтай деформациялаған кезде тік және көлденең бағыттарда түйіршіктер өлшемі қатты кішірейген, яғни түйіршіктер өлшемі тік және көлденең бағыттарда мынандай аралықта өзгерген (сәйкесті жазылған): 18-22 мкм; 12-24 мкм (сурет 10).



а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

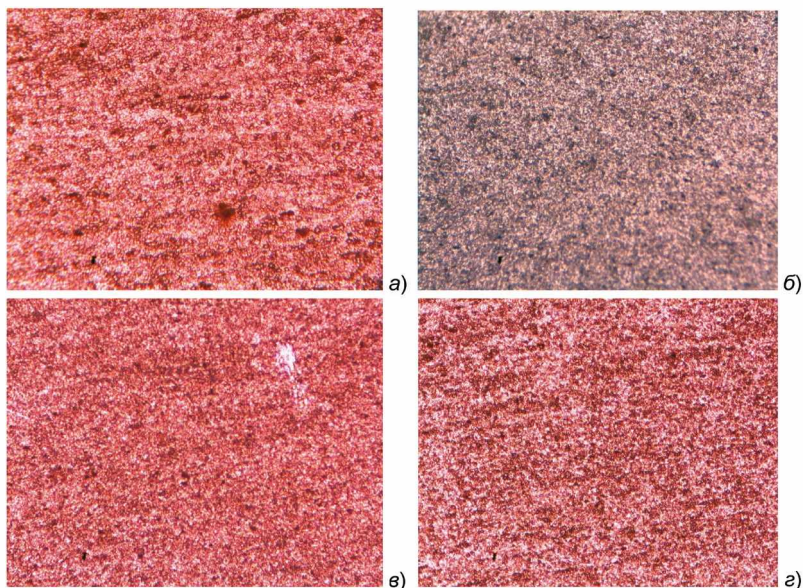
Сурет 8 – 1050 алюминий қорытпасын 350°С температурасында илемдегенде түйіршіктер өлшемінің жаншу мөлшеріне және деформация аралық тыныс уақытына тәуелділігі

Сонымен, 350, 400 және 450°С температураларында дайындамаларды шөктіру, оның тік және көлденең бағыттарында жуықты біркелкі және тең осьті түйіршіктерді алуға мүмкіндік бар (суреттер 8, 9 және 10). Сонымен бірге, температура жоғарылаған сайын дайындама құрылымының ары қарай ұсақталуын айта кеткен жөн. 1050 алюминий қорытпасында беріксіздену процестерінің жүруі нәтижесінде орташа өлшемі 18 – 32 мкм болатын түйіршіктер пайда болды. Осындай құрылымның дайында-



маның барлық көлемі бойынша қалыптасуы, полигонизация және рекристаллизация процестерінің жүруімен байланысты екені белгілі [2].

Жоғарыда айтылған микроқұрылымның өзгеру заңдылығы негізінде, 1050 алюминий қорытпасының 350, 400 және 450°C температураларда деформацияға кедергісінің бәсең өсуін, дайындамада деформацияның біркелкі таралуымен ғана түсіндірудің қателікке алып келетіні анықталды. Деформация дайындаманың көлемінде біркелкі тарағанда деформация кедергісі мөлшерінің үлкен болатындығы белгілі [8]. Ал 350, 400 және 450°C температураларда деформация кедергісінің мөлшерінің аз болуы беріксіздену процестерінің жүруімен байланысты. Осымен бірге, 250 және 300°C температураларында деформация кедергісінің қарқынды үлкеюіне дайындамада деформацияның біркелкі таралуы ғана себеп болады деп айтуға болады.

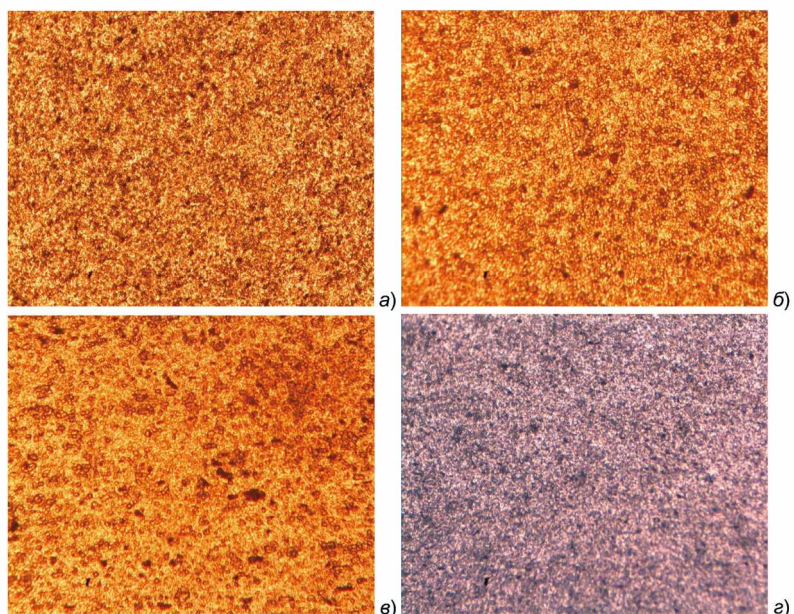


а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Сурет 9 – 1050 алюминий қорытпасын 400°C температурасында илемдегенде түйіршіктер өлшемінің жаншу мөлшеріне және деформация аралық тыныс уақытына тәуелділігі

Жоғарыда айтылғанмен бірге, 1050 алюминий қорытпасын жоғары температураларда деформациялағанда ішкі энергияны жинау

жеткілікті қарқынмен жүрмейтіндігін айта кеткен жөн. Бұндай жағдайларда, тек салыстырмалы үлкен жаншумен дайындаманы жаймалағанда, мөлшері жоғары ішкі энергия құрылымда жиналап, полиганизация және рекристаллизация процестері толық жүреді. Осы ұсақ түйіршікті құрылымды қалыптастыруға мүмкіндік береді.



а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Сурет 10 – 1050 алюминий қорытпасын 450°C температурасында илемдегенде түйіршіктер өлшемінің жаншу мөлшеріне және деформация аралық тыныс уақытына тәуелділігі

### **Қорытынды.**

1. 1050 алюминий қорытпасын төменгі температурада бойлық-сыналы орнақта илемдеу металл құрылымында салыстырмалы ірі түйіршіктерді қалыптастыруға алып келеді.

2. 1050 алюминий қорытпасын бойлық-сыналы орнақта жоғары температураларда илемдегенде жолақ металында салыстырмалы ұсақ түйіршікті құрылым алынады.

Мақала «Бұрандалы пішінбілік пен бойлық-сыналы орнықты біріктіріп, фольганы жаймалағанда алюминий қорытпасынан жасал-

ған қаңылтырлы дайындаманың құрылысы мен қасиеті» атты диссертациялық жұмысын орындау барысында Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық техникалық Зерттеу университетінде жазылды.

### Әдебиеттер

1 Бродова И.Г., Петрова А.Н., Ширинкина И.Г. Сравнение закономерностей формирования структуры алюминиевых сплавов при большой и интенсивной пластической деформации // Известия РАН, Серия физическая, 2012.- №11. - С. 1378-1383.

2 Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallor i spлавov: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Metallovedenie i term. obrab. metallor» // . - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : МИСИС, 2005. - 427 с.

3 Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka cvetnykh metallor i spлавov. Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МИСИС, 1999.- 416 с.

4 Brodova I.G., Shorokhov E.V., Petrova A.N. et all. Fragmentation of the structure in Al-based alloys upon high speed effect // Reviews on Advanced Materials Science. - 2010. - № 25. - P. 128-135.

5 Brodova I, Shirinkina I., Petrova A. Dispersion of the structure in Al-based alloys by different methods of severe plastic deformation // Materials Science Forum. - 2011. - Vol. 667-669. - P. 517-521.

7 Скрябин С.А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах // – Винница: А. Власюк. – 2007. – 284 с.

8 Машеков С.А., Смаилова Н.Т., Машекова А.С. Проблемыковки титановых сплавов и их решения. и др. Ч.1, 2., Монография. Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013.- 230 с., 251 с.

9 Машекова А.С., Нугман Е.З., Машекова А.С. и др. Патент РК № 27884 . Продольно-клиновый стан для прокатки полос из сталей и сплавов / Оpubл. 25.12.2013, бюлл. №12.- 3 с.

10 Микляев П.Г., Дуденков В.М. Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов: Справочник. М.: Metallurgy, 1979. - 183 с.

11 Полухин П.И., Гун Г.Я., Галкин А.М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. Справочник. - М.: Metallurgy, 1983.- 352 с.

**Машеков С.А.**, доктор технических наук, профессор,  
e-mail: mashekov.1957@mail.ru

**Дья Х.**, доктор технических наук, профессор, e-mail: dyja.henryk@wip.pcz.pl

**Мауленова М.**, докторант, e-mail: maulenova\_m@mail.ru

**Тусупкалиева Э.А.**, докторант, e-mail: elatus78@mail.ru.