

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF HOT ROLLING OF
ALUMINUM ALLOY SHEETS ON A CONTINUOUS LONGITUDINAL
WEDGE MILL WITH THE USE OF PHYSICAL SIMULATION****S.A. Mashekov¹, B.N. Absadykov², M.L. Rakhmatulin¹, M.E. Isametova¹,
E.Z. Nugman¹, A.I. Poleshchuk¹, A.S. Mashekova¹**¹ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty, Republic of Kazakhstan;² Kazakh-British Technical University, Almaty, Republic of KazakhstanMashekov.1957@mail.ru, b_absadykov@mail.ru

Abstract. With the use of modern high-precision installation Gleeble3500 there were investigated patterns of change in deformation resistance and aluminum alloy structure 6060. The data patterns were investigated by physical modeling of rolling strips on the longitudinal wedge mill with different processing modes. With a unified position it was described the changes in the structure of aluminum alloy 6060 with a multi-stage compression at different temperatures and strain rates. It is found that the rolling of aluminum alloy at low temperatures will result in formation of a coarse grain structure and, conversely, rolling at high temperatures contributes to a fine grain structure in the metal structure.

Keywords: compression, deformation resistance, flexibility, experimentation, hardening, softening, recrystallization.

ӘОЖ 621.771.23

**ФИЗИКАЛЫҚ ҮЛГІЛЕУ ӘДІСІН ҚОЛДАНЫП
ҮЗДІКСІЗ БОЙЛЫҚ-СЫНАЛЫ ОРНАҚТА АЛЮМИНИЙ
ҚОРЫТПАСЫНАН ЖАСАЛҒАН ҚАҢЫЛТЫРДЫ ЫСТЫҚТАЙ
ЖАЙМАЛАУДЫҢ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ӨНДЕУ****С.А.Машеков¹, Б.Н. Абсадыков², М.М. Акимбекова¹, А.С. Машекова¹**¹ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ.,
Қазақстан Республикасы;² Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

Түйін сөздер: қысу, деформация кедергісі, тәжірибе, беріктену, беріксіздену, рекристаллизация, алюминий қорытпасы.

Аннотация. Қазіргі заманғы дәлдігі жоғары Gleeble3500 қондырғысын қолданып, 6060 алюминий қорытпасының деформацияға кедергі жасау және құрылымының өзгеру заңдылықтары зерттелген. Бұндай зерттеу, бойлық-сыналы орнақта жаймалаудың әр түрлі режимдерін қолданып, физикалық модельдеумен жүргізілген. Әр түрлі температура мен деформация жылдамдықтарында көп сатылы жаншуды қолданып, бірдей көзқараспен 6060 алюминий қорытпасының құрылымының өзгеру заңдылықтары анықталған. 6060 алюминий қорытпасын төменгі температурада бойлық-сыналы орнақта жаймалағанда металлдың құрылымында салыстырмалы ірі түйіршіктер қалыптасатындығы анықталған, ал жоғарғы температураларда бойлық-сыналы орнақта айтылған қорытпаны деформациялау металл құрылымында салыстырмалы ұсақ түйіршіктерді қалыптастыратындығы табылған.

Кіріспе. Алюминий қорытпаларын ыстықтай деформациялаған кезде, олардың сапасы деформациялаған жағдайда жүретін беріктену және динамикалық беріксіздену процестерімен, ал деформациялаудың сатылары арасындағы тыныста – статикалық беріксіздену процестерімен байланысты болады [1,2].

Динамикалық беріктену мен беріксіздену процестерін жуықты деформация қисық сызығымен сипаттауға болады. Деформациялар арасында жүретін статикалық беріксізденуді, көп сатылы деформация қисық сызығы, кернеудің релаксациясы сияқты мәліметтерді және қаттылық, беріктік, ұзару, көлденең тарылу сияқты механикалық қасиеттерді тәжірибемен алып зерттеуге болады. Бұл процесті тағы да металлографиялық, рентгенографиялық және электронды-микроскопиялық әдістерді қолданып зерттеуге болады [3,4]. Бұйымның механикалық қасиеті деформация кезінде жүретін беріктену және беріксіздену процестерімен тікелей байланысты екендігі белгілі.

Осы процестердің кинетикасын білу, металды жаймалауға қажетті деформациялайтын күшті есептегенде, жұмыс пен энергияны анықтағанда, деформациялайтын жабдықтың қуатын таңдағанда, керекті микроструктура мен материалдың қасиетін болжағанда маңызды рольді атқарады [5,6].

Жоғарыда айтылған процестерді белгілі бір мақсатпен қолдану, жаймалау және т.б. металдарды қысыммен өңдеу процестерін жақсартуға, белгілі бір механикалық қасиеті бар аяққы өнімдерді термиялық өңдеусіз жасауға мүмкіндік береді.

Жаймалау, соғу, қалыптау сияқты деформациялау процестерін модельдеу үшін өңдеу жағдайындағы материалдардың қасиетін зерттеу және сипаттау қажет [7,8,9]. Бұл үшін жаймалауға, соғуға және қалыптауға тән деформацияның мөлшері мен жылдамдығы және өңдеу температурасы аралығында тәжірибелер жасап, осы параметрлердің мөлшерлеріне байланысты деформацияның кедергісін өлшеу керек. Осындай мәліметтердің негізінде алынған деформация кедергісі тендеуі мен графикаларын ұтымды деформацияны, деформация жылдамдығын, температураны және деформацияланатын дайындаманың кез келген нүктесі үшін деформацияның өзгеруі тарихын анықтау үшін пайдалануға болады. Бұндай мәліметтер бұйым материалында жақсы микроқұрылымды және қасиетті алуға мүмкіндік беретін технологияны анықтауға мүмкіндік жасайды.

Сонымен, ыстықтай металдарды қысыммен өңдегенде, соның ішінде металды ыстықтай жаймалағанда жүретін беріктену және беріксіздену процестерін зерттеуге, сонымен бірге ыстықтай жаймаланған жайманың сапасына жаймалаудың температура-деформациялық режимдерінің әсер етуін зерттеуге, деформация кедергісі графигін пайдаланып ұтымды технологияны анықтауға қазіргі уақытта үлкен көңіл бөледі.

Алюминий қорытпалардан сапалы жұқа жолақтарды жасау үшін және энергиякүштік параметрді азайту үшін біз құрылымы жаңа бойлық-сынала орнақты ұсындық [10]. Бойлық-сыналы орнақтың айырмашылығына мыналар жатады: орнақтардың қапастарына тұрақты диаметрі бар пішінбіліктер орнатылған; жаймалау бағытымен бір ізді орналасқан қапастарға диаметрі біртіндеп кішірейетін жұмысшы пішінбіліктер және диаметрі біртіндеп үлкейетін тіреу пішінбіліктері орнатылған.

Ұсынып отырған орнақта, басқыш механизмі жоқ алдыңғы үш қапаста орнатылған жоғарғы және төменгі пішінбіліктердің көлденең осі, жаймалау осіне тік бағытпен мынандай мөлшерге ығысқан: $\Delta x_i = 0,25 \cdot k_n \cdot D_{pi} \cdot \alpha_i^2$, мұндағы D_{pi} – i -ші қапаста орнатылған жаңа пішінбіліктің диаметрі; α_i – i -ші қапастың пішінбіліктері үшін рұқсат етілетін қарпу бұрышы; k_n – қайтадан жону коэффициенті.

Жұмыстың мақсаты. Жаңа бойлық-сыналы орнақта алюминий қорытпасын жаймалауды физикалық модельдеу жолымен, жоғары сапалы жолақты жасауға мүмкіндік беретін жаймалаудың ұтымды технологиялық процесін анықтау.

Материалдар және зерттеу әдістемесі. 6060 алюминий қорытпасынан (Si–0,3-0,6; Fe–0,1-0,3; Cu– 0,1; Mn –0,1; Mg – 0,35-0,6; Cr – 0,05; Zn – 0,15; Ti – 0,10) көлденең қимасы тік бұрышты болатын, өлшемі $20 \pm 0,1 \times 15 \pm 0,1 \times 10 \pm 0,1$ мм тең үлгіліктерді жасадық.

Механикалық сынаудың екі вариантын іске асырдық. Бірінші вариант бойынша, 6060 алюминий қорытпасының реологиясын зерттеу мақсатымен дөңес соққышпен үлгілікті қысып

тәжірибені жүргіздік. Тәжірибені жүргізу үшін Gleeble3500 қондырғысын қолдандық. Бұл тәжірибелерде бойлық-сыналы орнағының жылдамдығымен белсенді жүктемені түсіріп үлгілікті циклді деформациялауды іске асырдық (кесте 1). Циклді деформациялаудың аралығында электржетек өшіріліп үлгілік дөңес соққышпен қысылған күйде қалдырылды. Бұндай жағдайда белсенді жүктеме түсіру сатысы релаксация сатысымен ауыстырылды.

Екінші вариантпен сынау, физикалық модельдеу нәтижесінде алынатын металдың микроқұрылымын анықтау үшін жүргізілді. Бұндай жағдайда, барлық белсенді жүктеме түсірілгеннен кейін қондырғының қарпығышын ажыратып, контейнерден үлгілікті шығардық.

Gleeble3500 қондырғысы термомеханикалық сынаудың толық цифрлы тұйық жүйесі болып саналады. Бұл қондырғыда керекті тәжірибелік мәліметтерді алуды қарапайым Windows базасындағы бағдарлама және қуатты процессорлар жиынтығы қамтамасыз етеді. Осы бөлімдер физикалық модельдеудің және термомеханикалық сынаудың жоспарын жасауға, оны өткізуге және өңдеуге қажетті интерфейсін қамтамасыз етеді.

Кесте 1 – Физикалық модельдеудің тәжірибе жүргізу жоспары

№ вар.	\square_1 , %	t_1 , с	\square_2 , %	t_2 , с	\square_3 , %	t_3 , с	\square_4 , %	t_4 , с	\square_5 , %
Сынау температурасы – 450 °С									
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 °С									
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 °С									
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 °С									
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 °С									
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: \square_1 –бірінші қапастағы бірлік жаншу; t_1 –бірінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс; \square_2 –екінші қапастағы бірлік жаншу; t_2 –екінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс; \square_3 –үшінші қапастағы бірлік жаншу; t_3 –үшінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс; \square_4 –төртінші қапастағы бірлік жаншу; t_4 - төртінші қапастан кейінгі деформация аралық тыныс; \square_5 –бесінші қапастағы бірлік жаншу.									

Gleeble3500 қондырғысының қыздыру жүйесі, тоқты тура өткізіп 10000°С/с және одан кіші жылдамдықпен үлгілікті қыздыруға және тұрақты тепе-тең температураны ұстап тұруға мүмкіндік береді. Үлгілікті ұстап тұратын қарпығыштың жоғарғы жылу өткізгіштігінің арқасында, Gleeble3500 қондырғысы үлгілікті жоғарғы жылдамдықпен салқындата алады. Қосымша салқындату жүйесі, үлгіліктің бет жағын 10000°С/с және одан да жоғары жылдамдықпен салқындатуды жүргізуге мүмкіндік жасайды. Терможұптар және қосымша инфрақызыл пирометр үлгіліктің температурасын дәл бақылауға керекті дабылды компьютерге беріп тұрады.

Gleeble3500 механикалық жүйесі бұл тұйық, толық интегралданған сервогидравликалық жүйе. Айтылған механикалық жүйеде 100 кН дейінгі күшті дамытуға, 1000 мм/с максималды

жылдамдықпен маңдайшаны қозғалтуға мүмкіндік бар. LVDT-бергіші/күш бергіші (тензоөлшегіш) немесе түйіспейтін лазерлі экстензоөлшегіші механикалық сынаудың бағдарламасын дәл іске асыруға қажетті кері байланысты қамтамасыз етеді. Барлық сынау тәжірибелерін төменгі қысымда немесе қорғағыш атмосферада жүзеге асыруға болады.

Механикалық жүйе зерттеушіге кез-келген сынау процесінде әр түрлі басқару режимін қолдануға мүмкіндік береді. Бұндай икемділік көптеген термомеханикалық процестерді модельдеуге мүмкіндік жасайды. Бағдарлама басқарушы айнымалы шамаларды сынаудың кез келген сатысында ауыстыра алады.

Gleeble3500 кешенінің негізгі бірікпесі болып 3 сериямен шығарылған цифрлы басқару жүйесі саналады. Осы бірікпе бір мезгілде, термиялық және механикалық сынаудың көрсеткіштерін басқару үшін қажетті дабылды, жабық типті цифрлы термомеханикалық жүйенің жәрдемімен жібереді. Gleeble3500 жүйесі толық автономды немесе қолмен жасайтын режиммен жұмыс істей алады. Керек болған кезде, материалдарды сынау жағдайында максималды бейімділікке жету үшін, қиыстырылған режиммен де жұмыс жасай алады.

Компьютерлі басқару жүйесі, ОС Windows бағдарламасы бар үстелге қойатын компьютерді және басқару консолінде орнатылған қуатты өндірістік компьютерді өзінің құрамына кіргізеді. ОС Windows бар үстел компьютері, модельдеудің бағдарламасын жасауға және алынған мәліметті талдауға керекті, өндірістік стандартқа сәйкесті, икемді, көп мақсатты Графикалық Интерфейспен қамтамасыз етілген.

Зерттеуді жүргізу процесінде үлгілікті Gleeble3500 қондырғысының контейнерінде 450°C температурасына дейін қыздырдық және осы температурада 30 мин ұстадық. Бұндай қыздыру ірі түйіршікті құрылымды алуды қамтамасыз етті. Қыздырылған үлгіліктерді сынау температурасына дейін салқындаттық, содан кейін 250 ÷ 450 °C температуралар аралығында 50 °C қыздыру қадамымен сынауды жүргіздік. Бөлшектеп тәжірибені жүргізген кезде жаншу режимін өзгертіп отырдық (кесте 1). Осы кезде, үздіксіз жаймалаудың негізгі заңын, яғни секундтық көлемнің тұрақтылық заңын сақтап, бес қапасты бойлық-сыналы орнақта металды жаймалағанда пайда болатын деформация аралығындағы тыныс уақыттын анықтадық. Сынаудан кейін алынған құрылымды зерттеу үшін кішкентай үлгіліктерді негізгі үлгіліктерден кесіп алдық.

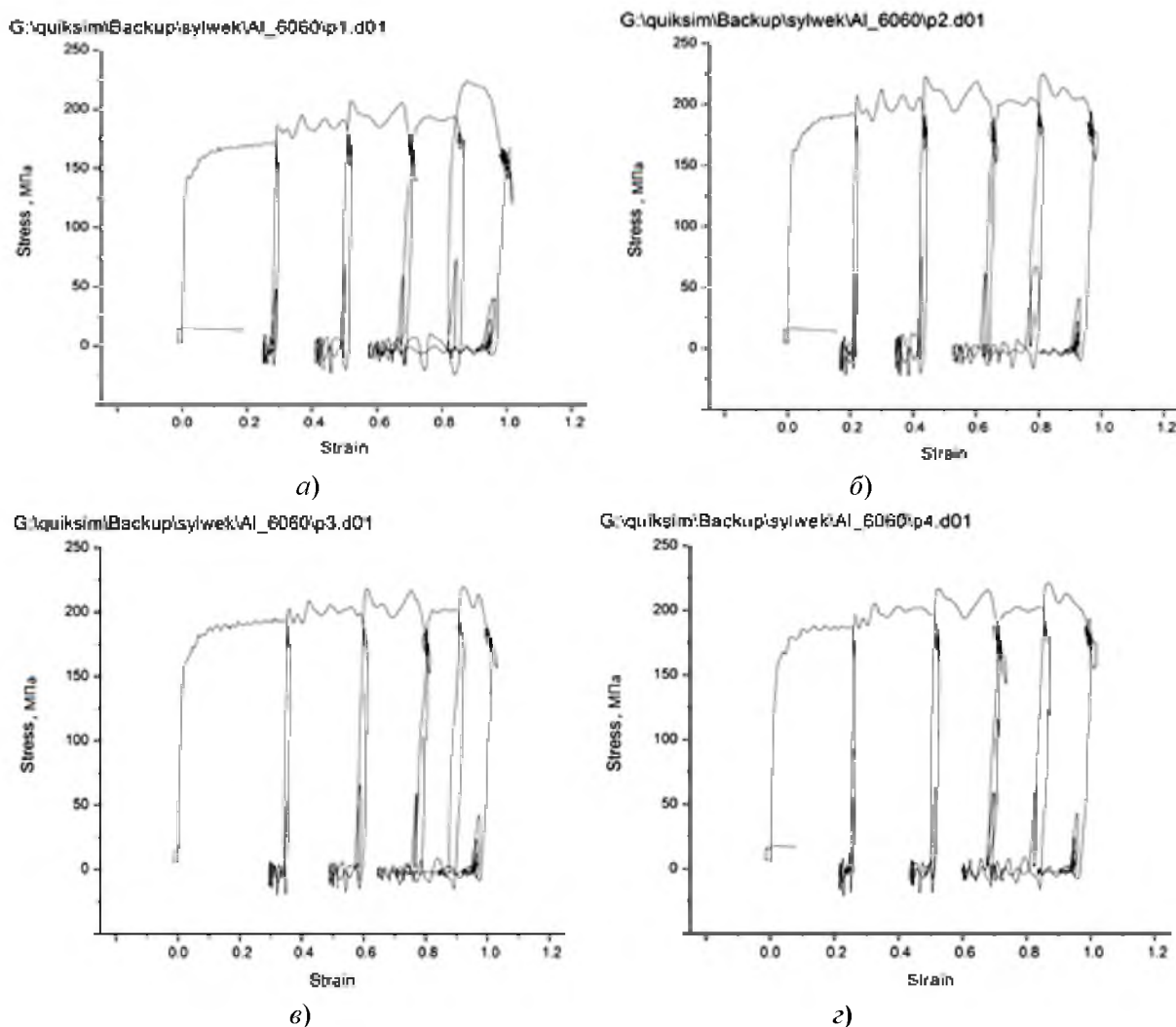
Металлографиялық зерттеулер үшін қажетті ысылманы, әдеттегі тәсілдерді қолданып, ажарлау және әрлеу дөңгелектерінде дайындадық. Үлгіліктерді улау үшін Келлер ертіндісін қолдандық.

Металлографиялық зерттеуді әмбебапты Neophot 32 (Karl Zeiss, Jena) (Германия) микроскопын қолданып жүргіздік. Neophot 32 микроскобы металлографиялық әдіспен микроқұрылымды зерттеу үшін және фотосуреттерді жасау үшін қолданылады. Бақылауды, үлкейтудің еселігін өзгертіп, жарық және қараңғы алаң әдісімен, поляризацияланған жарықта жүргізуге болады. Микроскопта мынандай үлкейтуді пайдаланады: 10-нан 2000 есе дейін. Микроскоп цифрлы айналы Olympus фотоапаратымен қамтамасыз етілген. Алынған микроқұрылымның суреттері компьютерде сақталып біртіндеп шығарып алуға болады.

Алынған нәтижелер және оларды талқылау

1-5 суреттерде 6060 алюминий қорытпасы үшін деформация кедергісінің пластикалық деформациядан тәуелділігі келтірілген. Осы суреттерде келтірілген деформациядан пайда болатын беріктенудің қисық сызықтары алюминий қорытпаларына тән түрге иемденген.

Пластикалық ағыс кезінде пайда болатын деформациялық беріктену және беріксіздену процестері, төменгі температураларда деформацияланған үлгілікте қалай жүретін болса, сондай заңдылықпен жоғары температурада деформацияланған үлгілікте жүретіндігі (1–5 суреттер), көптеген тәжірибелерден байқалды.



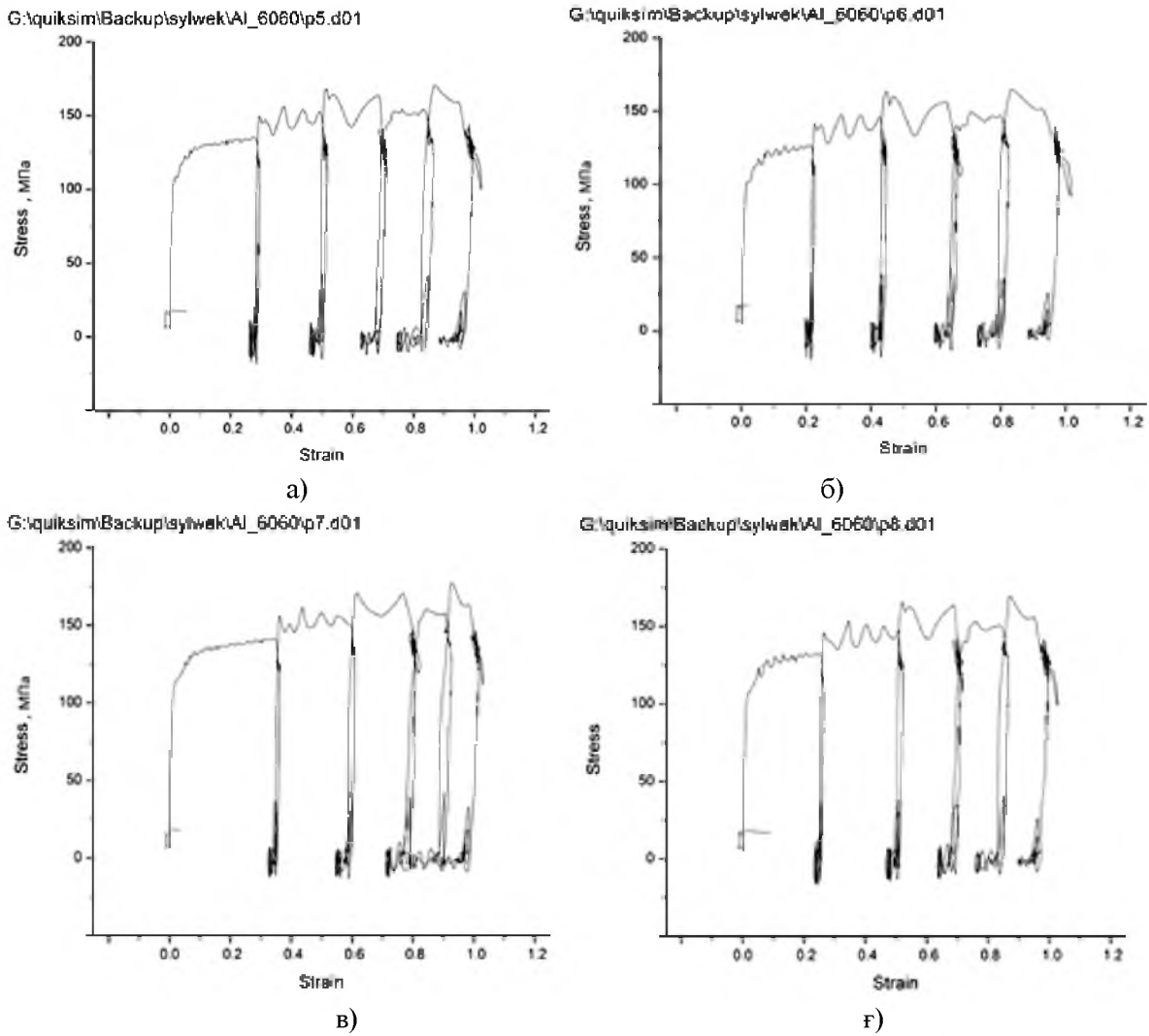
a – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – вариант 3; *г* – вариант 4

Сурет 1 – 250 °С температурасында 6060 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қысқь сызықтары

250 және 300 °С температураларында деформацияланған үлгіліктер үшін деформация кедергісінің бастапқы мәні салыстырмалы тым үлкен болатындығы 1 және 2 суреттерден көрінін түр және пластикалық деформациялаудың соңында кернеудің мәні салыстырмалы бәсең көбейетіндігін байқауға болады.

Өдетте жоғары температурада алюминий қорытпаларының деформациясы жеңіл іске асады. 350, 400 және 450°С температураларында деформация кедергісінің мөлшері салыстырмалы кішкентай мәндерге иемденген және температурадан азырақ тәуелді болады.

Төменгі температураларда (250 және 300 °С) деформацияланған кезде, жүктеме астында үлгілікті ұстаудың санын көбейтсек, онда соққышқа түсетін қысым аздап көбейетіндігін тәжірибелер көрсетті. Осы себептен, деформация кедергісінің мөлшеріде де бәсең үлкейіп отырды. Өйткені, 6060 қорытпасында беріктену және беріксіздену процестері біртіндеп жүріп және деформация үлгіліктің кейбір аймақтарына шоғырланып, деформация кедергісі тым бәсең үлкеюі мүмкін. Сонымен, осылай анықталған деформация кедергісі, зерттеліп жатқан үлгіліктің деформациялану жағдайын қамтып көрсетті (металдың температурасын, деформация дәрежесі мен жылдамдығын және т.б.).

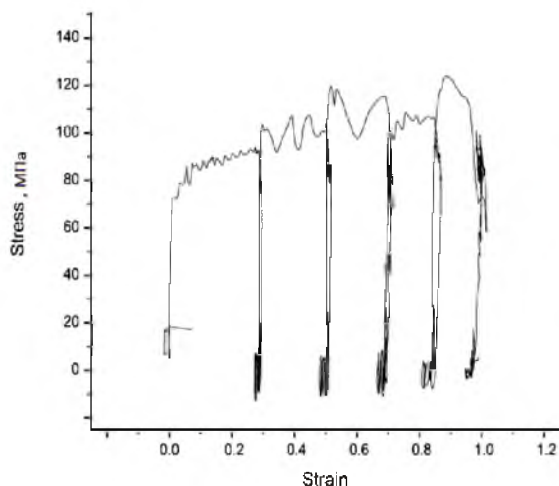


а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Сурет 2 – 300 °C температурасында 6060 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қисық сызықтары

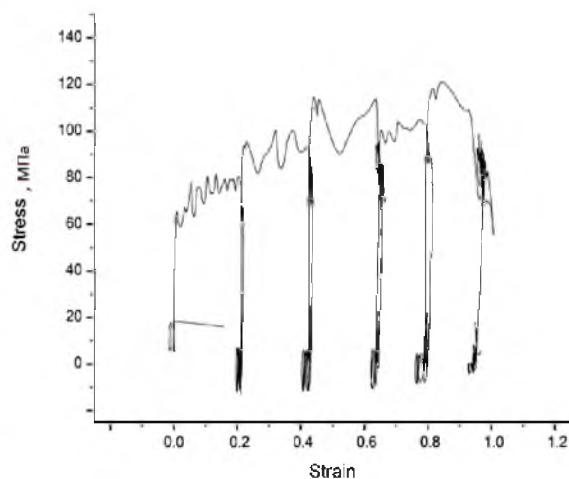
Жоғарғы температураларда (350, 400 және 450 °C) үлгіліктерді сынағанда, деформация кедергісінің мөлшері жаншу үлкейген сайын қарқынды көбейетіндігін көрсетті. Жоғарыда айтылғанды 3, 4 және 5 суреттер жақсы бейнелейді. Осы суреттер, жоғарғы температураларда деформация жылдамдығы мен деформацияның үлгілікте біркелкі таралуы деформация кедергісіне үлкен әсер ететіндігін көрсетеді. Бірінші қапаста кішкентай жылдамдықпен деформациялағанда алюминий қорытпасында беріктену және беріксіздену процестері қарқынды қатар жүріп, деформация кедергісі кішкентай мәнге ие болды, ал келесі қапастарда үлкен жылдамдықпен деформациялағанда беріктену процесі жақсырақ жүріп және деформация үлгілікте біркелкі тарап деформация кедергісі қарқынды көбейді.

G:\quiksim\Backup\sylwek\AI_6060\p9.d01



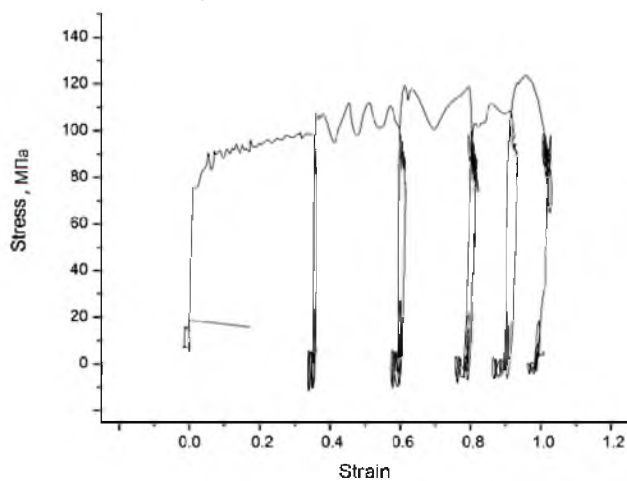
а)

G:\quiksim\Backup\sylwek\AI_6060\p10.d01



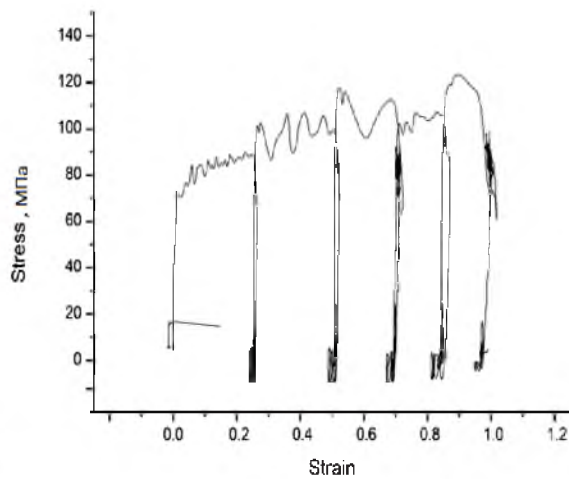
б)

G:\quiksim\Backup\sylwek\AI_6060\p11.d01



в)

G:\quiksim\Backup\sylwek\AI_6060\p12.d01



г)

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

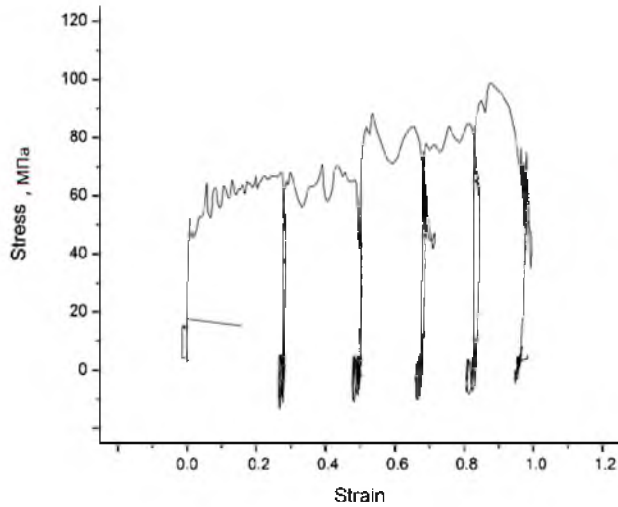
Сурет 3 – 350 °С температурасында 6060 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қисық сызықтары

Соңғы қапастарда үлкен жаншудымен жаймалайтын болсақ, онда деформация жылдамдығы жоғарлап, осыған сәйкесті деформация кедергісі үлкейіп, үлкен энергия шығынымен жаймалау іске асатындығына кеткен жөн.

Сонымен, 6060 алюминий қорытпасының беріктену және беріксіздену қисық сызықтарын талдасақ, онда беріксіздену деформациялаудың бастапқы секундтарында тым қарқынды дамидығын, ал ары қарай 250 және 300 °С температураларында беріктену мен беріксіздену бірқалыпты және бәсең жүретіндігін, ал 350, 400 және 450 °С температураларында беріксізденумен салыстырғанда беріктену қарқынды жүретіндігін байқауға болады. Басқа сынау параметрлерін тұрақты ғып ұстап, тек сынау температурасын жоғарлататын болсақ, онда беріктенудің қалдығы көбейетіндігін графиктерден көруге болады.

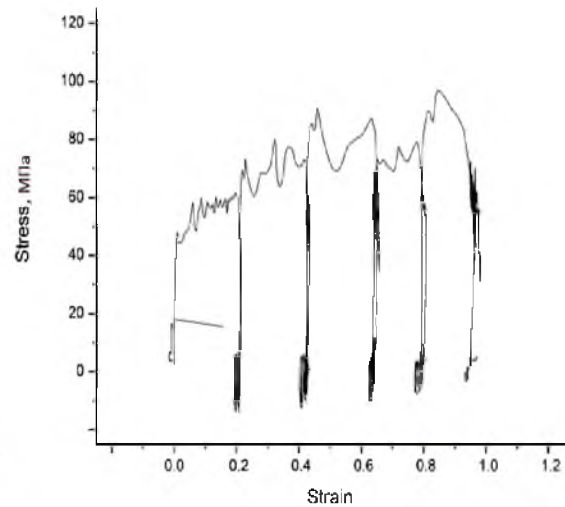
Біздің ойымызша, төменгі температураларда деформация кедергісінің бәсең өсуіне деформацияның үлгіліктің белгілі бір аймақтарында шоғырлануы, ал жоғарғы температураларда деформация кедергісінің қарқынды өсуіне деформацияның үлгілік көлемінде біркелкі таралуы себеп болады.

G:\quiksim\Backup\sy\wek\AI_6060\p13.d01



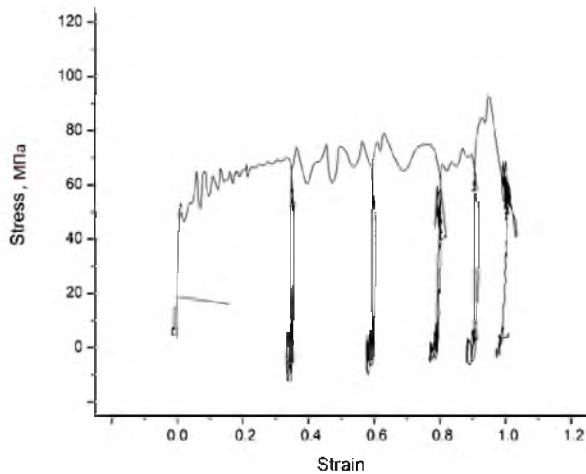
а)

G:\quiksim\Backup\sy\wek\AI_6060\p14.d01



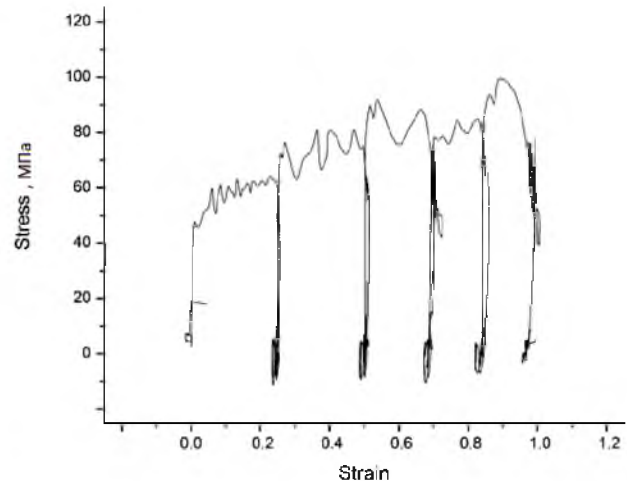
б)

G:\quiksim\Backup\sy\wek\AI_6060\p15.d01



в)

G:\quiksim\Backup\sy\wek\AI_6060\p16.d01



г)

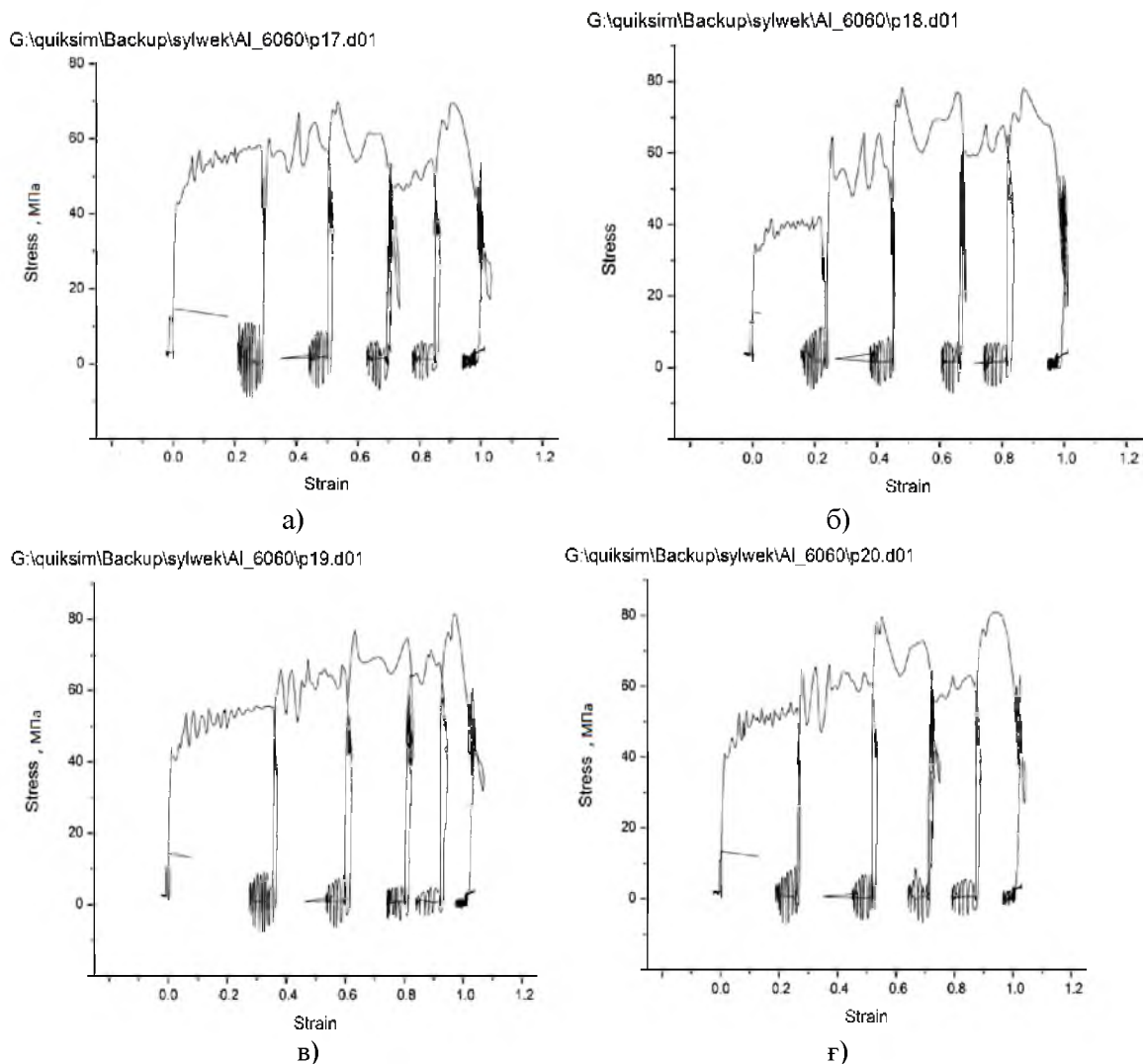
а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Сурет 4 – 400 °С температурасында 6060 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қисық сызықтары

Деформацияның дәрежесі $\varepsilon > 10 - 25\%$ болған кезде, 400 және 450 °С температуралары үшін салынған бөлшектеп деформациялаудың қисық сызықтары біртіндеп үлкейетіндігін тәжірибелер көрсетті, яғни тәжірибелерде қолданылған деформация аралығындағы тыныстар, бөлшектеп деформациялаудың дәрежесі және деформация жылдамдығы динамикалық және статикалық беріксізденудің өтуіне әсер етіп, осы процестерді жылдам жүргізуге мүмкіндік берді.

Көптеген жағдайда деформация кедергісін тәжірибемен зерттеп алған нәтижелер, салыстыруға болатын жағдайларда алынған, әдебиеттерде [6,10] жарияланған мәліметтермен сәйкес келеді.

6060 алюминий қорытпасынан жасалған дайындама бастапқы күйде біркелкі емес микроқұрылымға иемденген. Осы микроқұрылым рекристаллизацияланбаған ірі түйіршіктен тұрды. Айтылған түйіршіктердің орташа мөлшері үлгіліктің биіктік бағытында 431 мкм, ал көлденең бағытында 468 мкм тең болды. Ірі түйіршіктердің шекарасында өлшемі $\sim 53 - 58$ мкм болатын ұсақ түйіршіктер орналасқан.



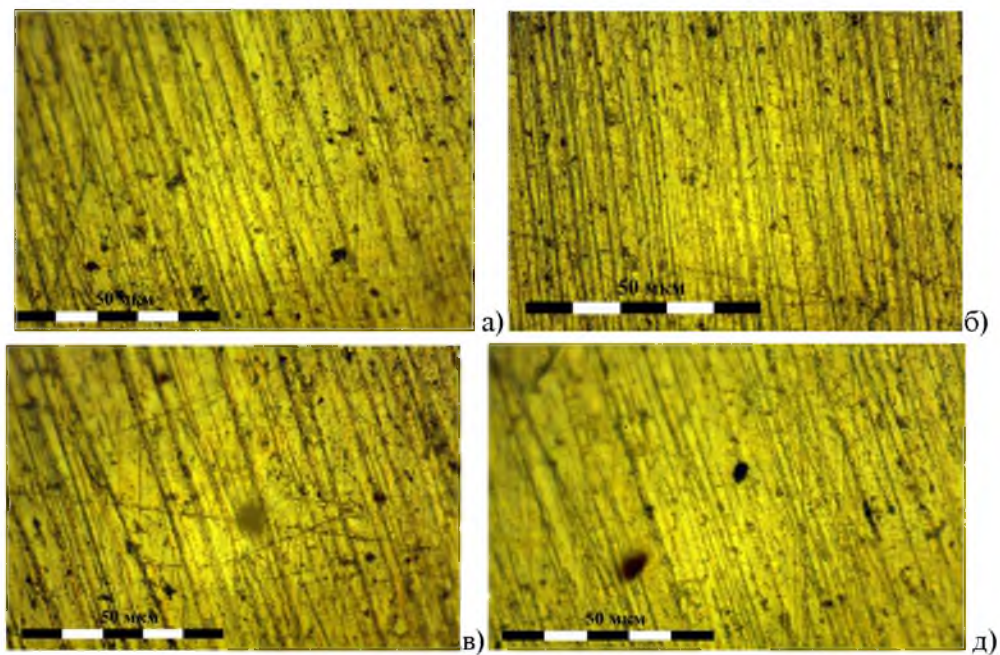
а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4

Сурет 5 – 450 °С температурасында 6060 алюминий қорытпасын әр түрлі варианттармен сынап алынған деформация кедергісінің қысық сызықтары

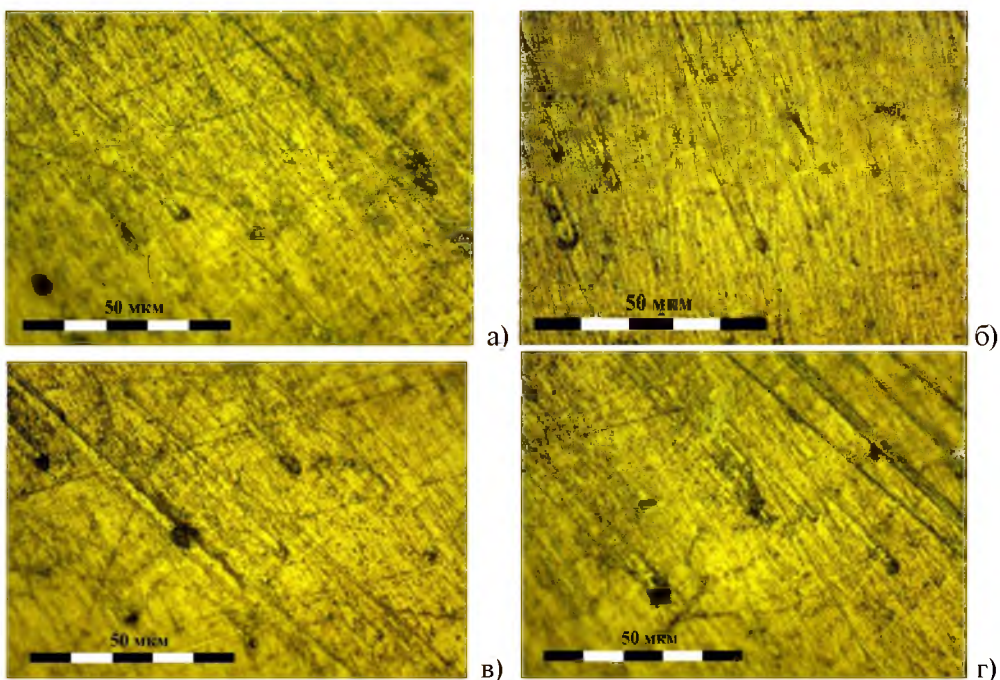
Деформацияланған үлгілікті металлографиялық зерттеу, 250 және 300°С температурасында шөктірілген металдың құрылымы рекристаллизацияланбаған екендігін көрсетті. Өйткені үлгілік түйіршіктерінің орташа өлшемі биіктік бағытында 431 мкм-ден 10-35 мкм дейін, ал көлденең бағытта 468 мкм-ден 1270 – 1320 мкм дейін өзгерді. Сонымен бірге, соңғы қапастардағы жаншуды үлкейткен кезде түйіршіктердің өлшемдері кішірейетіндігін айта кеткен жөн (суреттер 6, б және 7, б).

Сонымен 250 және 300 °С температурасында шөктірілген 6060 алюминий қорытпасының құрылымдық күйін зерттеу, үлгіліктің көлденең бағытында микрожолақтық құрылым қалыптасатындығын көрсетті (суреттер 6 және 7). Осындай кезде ішкі түйіршікті дислокацияның тығыздығы жоғарлап, ені 12-35 мкм-де тең болатын ығысу жолағы құрылады.

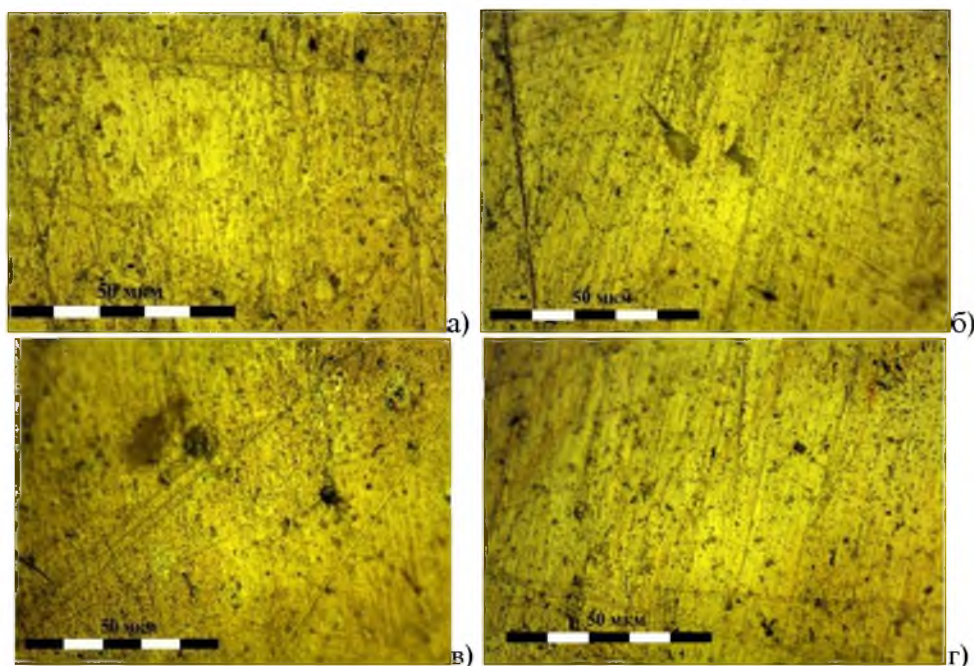
350, 400 және 450°С температураларында деформацияланған үлгіліктер металының құрылымы рекристаллизацияланған. Өйткені ыстықтай деформациялау нәтижесінде алынған биіктік бағытындағы түйіршіктер өлшемі 55 мкм-ден 92 мкм-ге дейін және көлденең бағыттағы түйіршіктер өлшемі 45 мкм-ден 84 мкм-ге дейін кішіреді (суреттер 8, 9 және 10).



а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; д – вариант 4
Сурет 6 – 6060 алюминий қорытпасын 250 °С температурасында жаймалаған кезде оның түйіршіктерінің өлшеміне жаншу мөлшерінің және деформация аралық тыныс уақытының әсері

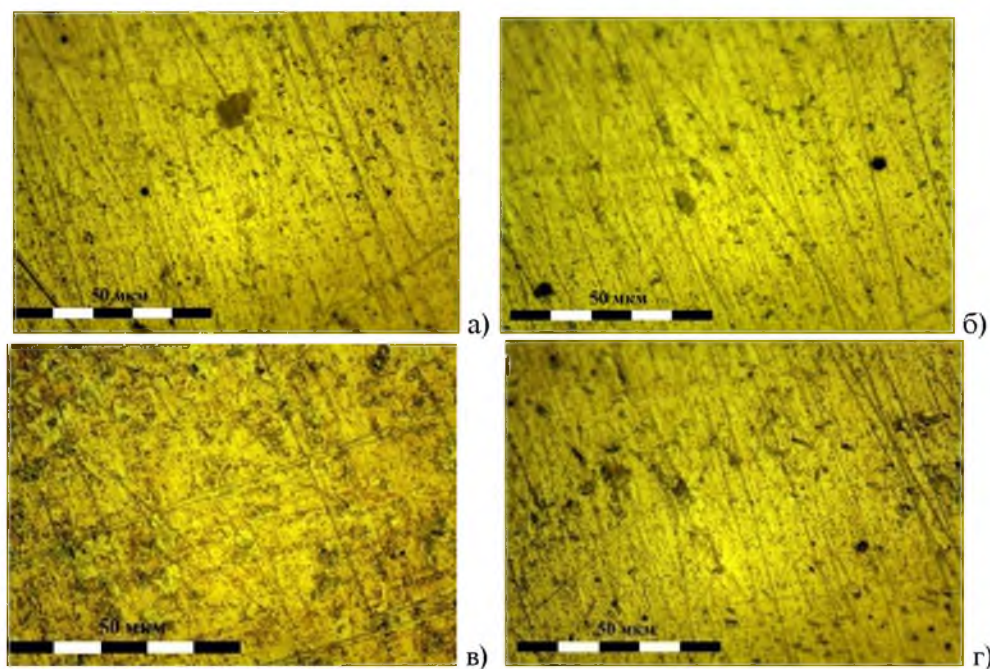


а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; г – вариант 4
Сурет 7 – 6060 алюминий қорытпасын 300 °С температурасында жаймалаған кезде оның түйіршіктерінің өлшеміне жаншу мөлшерінің және деформация аралық тыныс уақытының әсері



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

Сурет 8–6060 алюминий қорытпасын 350 °С температурасында жаймалаған кезде оның түйіршіктерінің өлшеміне жаншу мөлшерінің және деформация аралық тыныс уақытының әсері



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

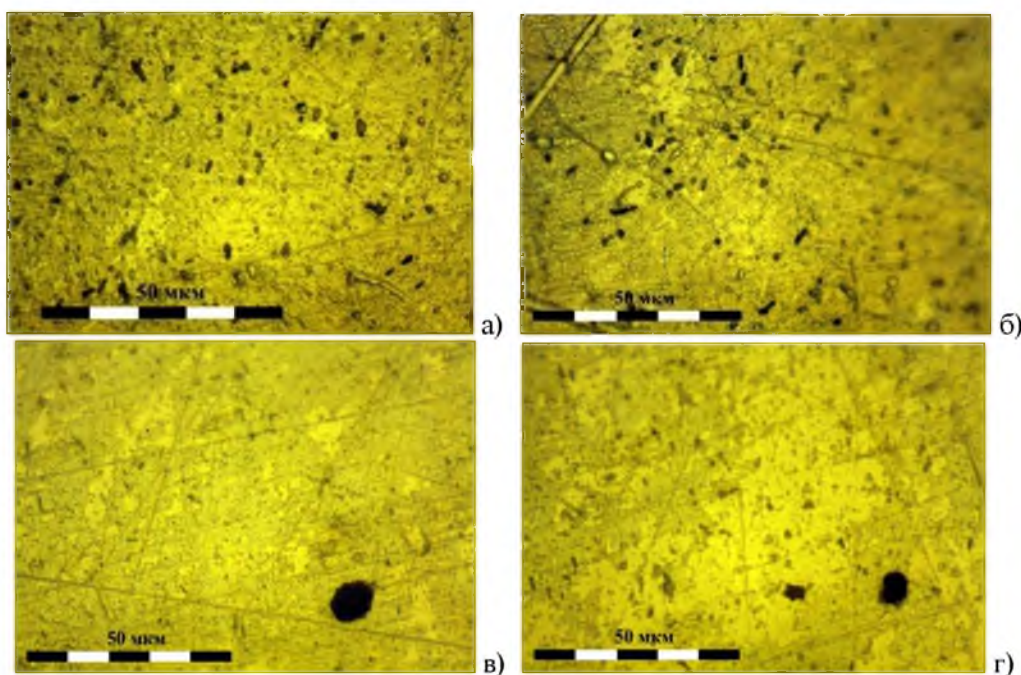
Сурет 9 – 6060 алюминий қорытпасын 400 °С температурасында жаймалаған кезде оның түйіршіктерінің өлшеміне жаншу мөлшерінің және деформация аралық тыныс уақытының әсері

Мөлшері бойынша ең кішкентай түйіршіктер, 450°С температурасында деформацияланған үлгіліктер металында алынғанына ерекше көңіл аудару қажет. Осы температурада үлгілік металын ыстықтай деформациялаған да биіктік және көлденең бағыттарда түйіршіктер өлшемі өте жақсы кішірейген, яғни түйіршіктер өлшемі биіктік және көлденең бағыттарда мынандай аралықта өзгерген (сәйкесті жазылған): 55 – 72 мкм; 45 – 68 мкм(сурет 10).

Сонымен, 350, 400 және 450°С температураларында үлгіліктерді деформациялау, дайындаманың бойлық және көлденең бағыттарында жуықты біркелкі және теңосьті құрылымды қалыптастыруға

алып келді (суреттер 8, 9 және 10). Тағыда айта кететін жай, ол температура өскен сайн дайындаманың түйіршікті және субтүйіршікті құрылымың ары қарай ұсақталуы. Дайындама металында беріксіздену процестері жүру нәтижесінде, полигонизация және рекристаллизация процестері жүрген құрылым үлгіліктің барлық көлемі бойынша қалыптасып, үлгілікте орташа өлшемі 45 – 92 мкм болатын түйіршіктер пайда болады.

Жоғарыда айтылған құрылымның өзгеру заңдылығын анықтағаннан кейін, деформация кедергісінің 350, 400 және 450 °С температураларында тез өсуін деформацияның үлгілікте біркелкі таралуымен тек түсіндіруге болады. Деформация біркелкі тарағанда деформация кедергісі мөлшерінің үлкен болатындығы белгілі [6,10]. Осымен бірге, 250 және 300 °С температураларында деформация кедергісінің бояу өсуіне үлгіліктің белгілі бір жерлерінде деформацияның шоғырлануы тек себеп болады деп айтуға болады.



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

Сурет 10 – 6060 алюминий қорытпасын 450 °С температурасында жаймалаған кезде оның түйіршіктерінің өлшеміне жанпұ мөлшерінің және деформация аралық тыныс уақытының әсері

Металл құрылымының осындай заңдылықпен өзгеруін былай түсіндіруге болады. Деформация температурасы төмен болған кезде алюминий қорытпаларында беріктену процестері едүір жылдам жүреді.

Алюминий қорытпаларын жоғары температураларда деформациялағанда ішкі энергияны жинау жеткілікті қарқынмен жүрмейді. Бұндай жағдайларда, тек салыстырмалы жоғары деформациялар мөлшерімен жаймалағанда, мөлшері жеткілікті ішкі энергия жиналап, полигонизация және рекристаллизация процестері толық жүреді. Бұл ұсақ түйіршікті құрылымды алуға мүмкіндік береді.

Қорытынды. 1. 6060 алюминий қорытпасын төменгі температурада бойлық-сыналы орнақта жаймалау металл құрылымында салыстырмалы ірі түйіршіктерді қалыптастыруға алып келеді.

2. Алюминий қорытпасын бойлық-сыналы орнақта жоғарғы температураларда деформациялағанда жолақ металында салыстырмалы ұсақ түйіршіктерді құрылым қалыптасады.

ӘДЕБИЕТ

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

[2] Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Металловедение и терм. обраб. металлов" /* - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: МИСИС, 2005. - 427 с.

[3] Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МИСИС, 1999. 416 с.*

[4] Fragmentation of the structure in Al-based alloys upon high speed effect / I.G. Brodova, E.V. Shorokhov, A.N. Petrova et al // *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.

[6] Микляев П.Г., Дуденков В.М. *Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов: Справочник. М.: Металлургия, 1979. -183 с.*

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

[8] Галкин В.И., Шлэнский А.Г. *Моделирование процессов штамповки методом конечных элементов: Метод. указания. – М.: МАТИ, 2006. – 76 с.*

[9] Моделирование процесса объемной штамповки в системе QForm / Сост. А.В. Овчинников: Метод. указания. – М.: МАТИ, 2006. – 39 с.

[10] Патент РК № 27884 . Продольно-клиновой стан для прокатки полос из сталей и сплавов / Машеков С.А., Нугман Е.З., Машекова А.С. и др. // *Опул. 25.12.2013, бюл. №12. 3 с.: ил.*

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

REFERENCES

[1] Brodova I.G., Petrova A.N., Shirinkina I.G. *Sravnenie zakonomernostej formirovaniya struktury aljuminievyh splavov pri bol'shoj i intensivnoj plasticheskoj deformacii / I.G. Brodova, // Izvestija RAN, Serija fizicheskaja, 2012, №11. S. 1378-1383. (in Russ.)*

[2] Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh metallov i splavov: ucheb. dlja studentov vuzov, obuchajushhhsja po special'nosti "Metallovedenie i term. obrab. metallov" /* - Izd. 4-е, pererab. i dop. - M.: MISIS, 2005. - 427 s. (in Russ.).

[3] Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh metallov i splavov. Uchebnik dlja vuzov. 3-е izd., pererab. i dop. M.: MISIS, 1999. 416 s. (in Russ.)*

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

[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. (in Russ.).

[6] Mikljaev P.G., Dudenkov V.M. *Soprotivlenie deformacii i plastichnost' aljuminievyh splavov: Spravochnik. M.: Metallurgija, 1979. -183 s. (in Russ.)*

[7] Skrjabin S.A. *Tehnologija gorjachego deformirovaniya zagotovok iz aljuminievyh splavov na kovochnyh val'cah // - Vinnica: A. Vlasjuk. – 2007. – 284 s. (in Russ.)*

[8] Galkin V.I., Shljonskij A.G. *Modelirovanie processov shtampovki metodom konechnyh jelementov: Metod. ukazanija. – M.: MATI, 2006. – 76 s. (in Russ.)*

[9] Modelirovanie processa ob#emnoj shtampovki v sisteme QForm / Sost. A.V. Ovchinnikov: Metod. ukazanija. – M.: MATI, 2006. – 39 s. (in Russ.)

[10] Patent RK № 27884 . Prodol'no-klinovoj stan dlja prokatki polos iz stalej i splavov / Mashekov S.A., Nugman E.Z., Masheкова A.S. i dr. // *Opubl. 25.12.2013, bjul. №12. 3 s.: il. (in Russ.)*

[11] Poluhin P.I., Gun G.Ja., Galkin A.M. *Soprotivlenie plasticheskoj deformacii metallov i splavov. Spravochnik. - M.: Metallurgija, 1983. - 352 s. (in Russ.)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ НА НЕПРЕРЫВНОМ ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.А.Машеков¹, Б.Н. Абсадыков², М.М. Акимбекова¹, А.С. Машекова¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан;

²Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. С использованием современной высокоточной установки Gleeble3500 исследованы закономерности изменения сопротивления деформации и структуры алюминиевого сплава 6060. При этом данные закономерности исследованы путем физического моделирования прокатки полос на продольно-клиновом стане с различными режимами обработки. С единой позиции описано изменение структуры алюминиевого сплава 6060 при многоступенчатом обжиге при различных температурах и скоростях деформирования. Установлено, что прокатка алюминиевого сплава при низких температурах приведет к формированию в структуре крупнозернистой структуры и, наоборот, прокатка при высоких температурах способствует формированию в структуре металла мелкозернистой структуры.

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

Поступила 16.05.2016 г.