

ӘОЖ 669.017.16.001.5  
МРНТИ 53. 37.13.

# ҚОРЫТПАДА ТЕЗ СУЫТҚАННАН КЕЙІН БОЛАТЫН CU-ZN-FE-NI-PB-AL СИСТЕМАСЫНДАҒЫ ЖЕЗ ҚОРЫТПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІ

СҰЛТАНБЕК Т.Ж., ДОСТАЕВА А.М., ҚАБДЫРАХМАНОВА А.Б.

*Қарағанды мемлекеттік техникалық университеті*

**Аңдатпа:** Қазіргі уақытта автомобиль жасауда алюминий-темір-никель-кремнийлі жездер кеңінен қолданылады, олар легірілеуші элементтердің болуы арқасында жоғары қаттылықпен бірегей жоғары иілгіштіктің үйлесіміне ие, тозуға төзімді және пайдалану кезінде беріктігі мықты. Мұндай материалдар рөлінде іс жүзінде бір фазалы болып табылатын  $Al-Fe-Ni-Sn-Cu-Zn$  қорытпасы да бола алады. Алайда оның елеулі кемшілігі – ыстық деформациялаудан кейін қалдық кернеулердің әсерінен морт-сынғыштық қасиеті пайда болады. Бұл қорытпаның негізгі құрылымдық құраушысы –  $B2 \beta$  бойынша реттелген  $CuZn$  фазасы, ол бөлме температурасында төмен иілгіштікпен сипатталады. Осыған байланысты механизмдерді анықтау, сонымен бірге құбыр және сақиналы үлгілерде жоғары қалдық кернеулердің пайда болу себептерін жою өте өзекті міндет болып саналады.

**Түйінді сөздер:** қорытпа, жез, фаза, балқыту, кристалдану

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛАТУННОГО СПЛАВА СИСТЕМЫ CU-ZN-NI-FE-PB-SN-AL ПОСЛЕ БЫСТРОЙ ЗАКАЛКИ ИЗ РАСПЛАВА

**Аннотация:** В настоящее время в автомобилестроении широко применяются алюминий-железо-никель-кремнистые латуни, которые, благодаря присутствию в них легирующих элементов, обладают уникальным сочетанием высокой пластичности с высокой твердостью, износостойкостью и прочностью при эксплуатации. В роли таких материалов может выступать и  $Al-Fe-Ni-Sn-Cu-Zn$  сплав, являющийся практически однофазным. Однако ее существенный недостаток – склонность к растрескиванию под действием остаточных напряжений, возникающих после горячего деформирования. Основная структурная составляющая этого сплава – упорядоченная по типу  $B2 \beta$ -фаза  $CuZn$ , которая при комнатной температуре характеризуется невысокой пластичностью. В связи с этим выявление механизмов и последующее устранение причин появления высоких остаточных напряжений в трубных и кольцевых образцах является весьма актуальной задачей.

**Ключевые слова:** сплав, латунь, фаза, отжиг, кристаллизация

## STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE BRASS ALLOY SYSTEM CU-ZN-NI-FE-PB-SN-AL AFTER QUICK MELTING

**Abstract:** At present, aluminum-iron-nickel-silicon brass is widely used in the automotive industry, which, due to the presence of alloying elements in them, has a unique combination of high ductility with high hardness, wear resistance and operational strength.  $Al-Fe-Ni-Sn-Cu-Zn$  alloy, which is practically single-phase, can also play the role of such materials. However, its significant drawback is its tendency to crack under the influence of residual stresses arising after hot deformation. The main structural component of this alloy is the  $CuZn$   $B2 \beta$  phase ordered by type, which is characterized by low ductility at room temperature. In this

regard, the identification of mechanisms, and the subsequent elimination of the causes of the appearance of high residual stresses in tube and ring samples is a very urgent task.

**Key words:** alloy, brass, phase, annealing, crystallization

## Кіріспе

Жаңа үлгідегі әртүрлі машиналарды құру, олардың жаппай өндірісін ұйымдастыру, әрбір агрегаттың жұмыс сенімділігін арттыруға ұмтылу жаңа материалдарды әзірлеуді және бұрын істетілген материалдарды түрлендіруді ынталандырады. Соңғы уақытта таспа түрінде 105-106 К/с жылдамдықпен балқымадан жылдам шындалған аморфты және микросталды құрылымы бар материалдар кеңінен қолданылады. Бұл әдіс қатты ерітінділерде қоспалайтын элементтердің ерігіштігін арттыру, құрылымдық құрауыштарды ұсату, метастабильді кристалды және аморфты фазалардың түзілуі есебінен қорытпалардың механикалық қасиеттерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік береді. Құрылымдық-сезімтал қасиеттері көп жағдайда балқымадан тез шынықтыру кезінде осы қорытпаларды алу шарттарына байланысты болады.

## Эксперимент әдісі

Легирленген жездер барлық конструкциялық машина жасау материалдарының арасында, олардың жоғары технологиялық өң-

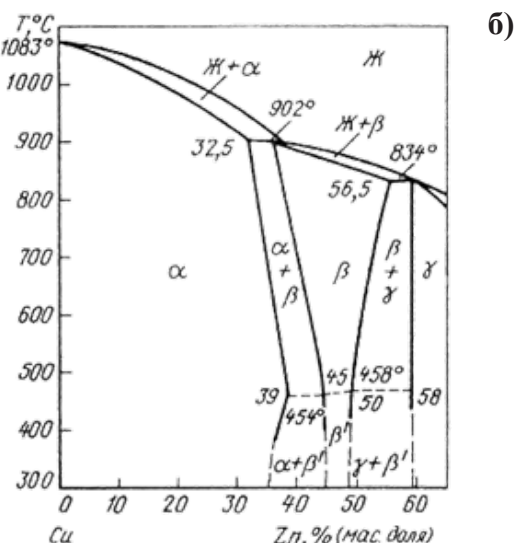
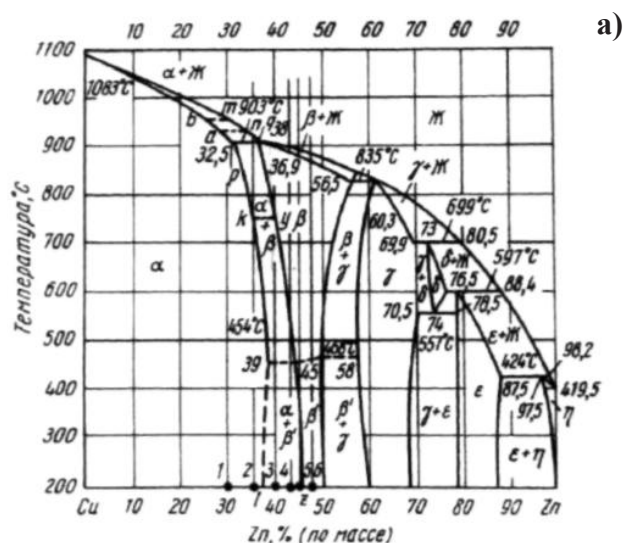
делуі мен алынатын пайдалану қасиеттерінің бірегей үйлесімділігінің арқасында жетекші орын алады. Жездердің техникалық және пайдалану қасиеттері Cu-Zn диаграммасындағы қорытпаның жағдайына сәйкес олардың құрылымдық жай-күйімен анықталады (1 сурет а және б).

Cu-Zn жүйесінің қорытпаларында келесі фазалар бар:

1.  $\alpha$  қатты ерітіндісі (мыстағы мырыш), жаққа орталықтандырылған текше, 100% болғанда Cu – a = 36,08 нм, 62,5% болғанда Cu – a = 36,93 нм.

2. Айнымалы құрамды ( $\beta$ -фаза) электрондық қосылысы (валенттілік электрондарының санының атомдар санына қатынасы = 3/2). Сан түрлі температурадағы  $\beta$  фазасындағы мыс концентрациясы 56,5-тен 63 массаға дейін өзгеруі мүмкін.  $\beta$ -фазаның торы көлемге орталықтандырған текше, a = 29,4 нм.

3.  $Cu_5Zn_8$  электрондық қосылысы (валентті электрондар санының атомдар санына қатынасы = 21/13). 52 атомнан тұратын



1 сурет – Cu-Zn күй диаграммасы: а – Zn диаграммасы, масс. %;  
б – Zn экв. мырыш эквивалентінің есептелген мәндері бар диаграмма, масс. %

ұяшықтары бар күрделі, текше типті тор,  $a = 88,5...88,6$  нм.

4.  $\delta$ -фаза - температура тар интервалында ғана бар фаза ( $697$  және  $555^\circ\text{C}$  арасында).  $\delta$  - қатты ерітінді (табиғатта анықталмаған).

5.  $\varepsilon$ -фаза,  $\text{CuZn3}$  электрондық типті үшінші қосылыс негізінде құрылған фаза (валентті электрондар санының атомдар санына қатынасы -  $7/4$  тең). Гексагональды тор:  $a = 27,18$  нм;  $c = 42,94$  нм  $20\%$  болғанда  $\text{Cu}$ ;  $c/a = 1,585$ .

6. Гексагональды тормен мырыштағы мыс қимасының қатты ерітіндісі  $\eta: a = 26,70$  нм;  $c = 49,66$  нм;  $c/a = 1,860$  [1-2].

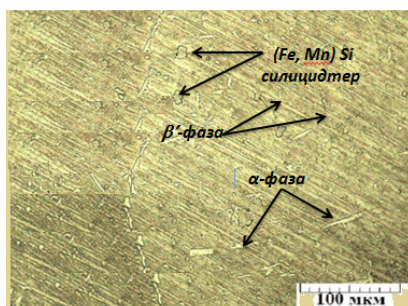
Зерттелетін алюминий-темір-никель-кремнийлі жездің құрамында  $\text{Fe}$ -дің  $0,5$ -ке дейін және  $\text{Ni}$ -дің  $0,4$  мас.% қосымшасын пайдалану кезінде жоғары қаттылығымен, тозуға төзімділігімен және беріктігімен ыстық деформациялауда жоғары икемділігімен ерекшеленетін легирленген көп компонентті жезге жатады.  $\text{Cu-Zn}$  экв. Күй диаграммасында (1 сурет) бұл қорытпа бір фазалы  $\beta$ -облысқа жақын орналасқан, ал оның негізгі жетіспеушілігін түсіндіреді – көптеген зерттеушілердің еңбектерінде атап көрсетілген ыстық деформациядан кейін сақтау кезінде жарылу үрдісі. Осы жезде темір мен ни-

кельдің аздаған қоспалары кейіннен ыстық деформация үшін қыздыру кезінде өтетін рекристаллизациялық процестерді тежеу мақсатында жасалған.

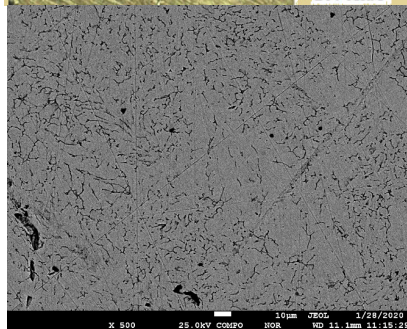
Бастапқы ыстық пластикалық деформациядан кейін жездің негізі  $\text{B2 } \beta'$ -фазасы бойынша реттелген  $\text{CuZn}$  құрайды, ал  $\alpha$ -фаза дәндері шекаралар бойынша немесе  $\beta'$ -дән ішіндегі деформация температурасынан суыту процесінде бөлінеді. Ол 2 суретте толығымен көрсетілген.

Балқымадан тез шыңдау процесінде жылдам шыңдалған таспаларды алу үшін бастапқы материал ретінде массалық үлесі, %:  $\text{Cu-64,4}$ ,  $\text{Zn-25,9}$ ,  $\text{Ni-4,0}$ ,  $\text{Fe-0,08}$ ,  $\text{Pb-0,5}$ ,  $\text{Sn-0,4}$ ,  $\text{Al-0,2}$  құрам қорытпасы пайдаланылды. Өртүрлі қалыңдықтағы тез жанған таспалар балқыманы мыс дискісінің цилиндрлік бетіне спиннингтеу әдісімен алынған. "Tescan Vega" электронды микроскопта және "альтами"металлографиялық микроскопта құйма және жылдам шыңдалған үлгілердің микроқұрылымдарын зерттеді. Латунды үлгілердің қаттылығын WILSON VH 1150 аспабында  $5$  кг жүктемесімен түрлі температураларда Виккерс бойынша өлшенген. Қаттылықты өлшеуге арналған WILSON VH 1150 құрылғысы 3 суретте көрсетілген.

а)  $\alpha$ -фазаның құрамы  $2\%$



б)  $\alpha$ -фазаның толық болмауы



2 сурет – Бастапқы ыстық пластикалық деформациядан кейінгі алюминий-темір-никель-кремнийлі жездің микроқұрылымы



3 сурет – WILSON VH 1150 құрылғысы

**1 кесте – Құйылған үлгілердің химиялық құрамы (м.дм., %)**

| Үлгі | Zn   | Cu   | Fe   | Pb   | Ni  | Sn  | Mn            | Al            |
|------|------|------|------|------|-----|-----|---------------|---------------|
| 1    | 25,9 | 68,5 | 0,21 | 0,8  | 4,0 | 0,5 | 0,04          | Құрамында жоқ |
| 2    | 21,8 | 71,4 | 0,15 | 0,55 | 4,8 | 0,4 | 0,04          |               |
| 3    | 25,9 | 66,4 | 0,12 | 0,55 | 4,6 | 0,4 | 0,36          |               |
| 4    | 25,9 | 66,4 | 0,08 | 0,5  | 4,0 | 0,4 | Құрамында жоқ | 0,2           |

Микроқаттылықты Виккердің алмаз пиромидасына үлгіні қысу арқылы ISOSCAN OD аспабында өлшенді. Жез қорытпаларының химиялық құрамын анықтау үшін THERMO SCIENTIFIC Niton XL2-100 құрылғысы қолданылды. Зерттелген жез қорытпаларының химиялық құрамы 1-кестеде көрсетілген.

**Эксперимент нәтижелері және оларды талқылау**

Жұмысты орындау барысында  $\alpha$ -фазаның бөлінуі мен күйдіру мөлшерінің ұзақтығы мен қарқыны бойынша зерттеулер жүргізілді. Қыздыру температурасының өзгеру диапазоны  $390^{\circ}\text{C}$ -тан  $520^{\circ}\text{C}$ -қа дейін, ұстау уақыты – 3 сағ.

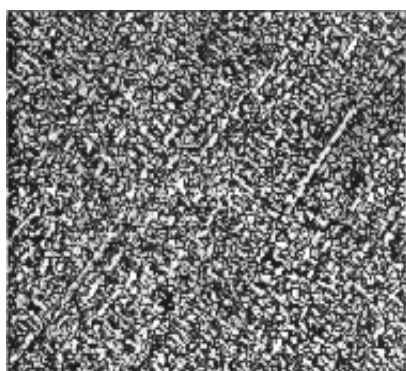
$390\ldots 420^{\circ}\text{C}$  күйдіруден кейін  $\alpha$ -фаза санының айырмашылығы үлкен:  $390^{\circ}\text{C}$  – 5,0%  $420^{\circ}\text{C}$  – 6,7% (4.а сурет).  $450^{\circ}\text{C}$  температурасында – 8,3%  $\alpha$ -фаза (4.б сурет).  $520^{\circ}\text{C}$  температурада біртекті  $\beta$ -құрылым алынды (4.в сурет). Қыздыру температурасы  $450^{\circ}\text{C}$  кезінде  $\alpha$ -фазаның максималды мөлшерін алу (4.б сурет)  $450^{\circ}\text{C}$ -қа дейін  $\alpha$ -фазаның мөлшері ұл-

ғаюымен түсіндіріледі, бұған алдыңғы зерттеулер дәлел болады, ал  $450^{\circ}\text{C}$  жоғары қызғанда  $\alpha$ -фазаның еруі жүреді, сақталған бөлшектер дөңгелек пішінді алады.

Күйдіру ұзақтылығының  $\alpha$ -фаза мөлшеріне әсерін зерттеу кезінде  $425^{\circ}\text{C}$  температурада ұстау уақытының ұлғаюымен  $\alpha$ -фазаның мөлшері өседі, оның күрт өсуі 3 сағатқа дейін байқалады, одан кейін қисық баяу өседі.

Әрқилы композициялардағы құйылған жездердің микроқұрылымы 4 және 5 суретте берілген. Олардың құрылымын зерттеу көрсеткендей, әртүрлі қоспалаушы элементтердің көп компонентті қорытпаларына кіріспе және олардың екі фазалы аймақтың  $\alpha+\beta$  шекараларының жағдайына әсерін байқадық, ал олардың фазалық құрамын немесе фазалардың арақатынасын мақсатты түрде өзгертуге болады, демек қорытпалардың механикалық және физикалық қасиеттеріне әсер етеді [3].

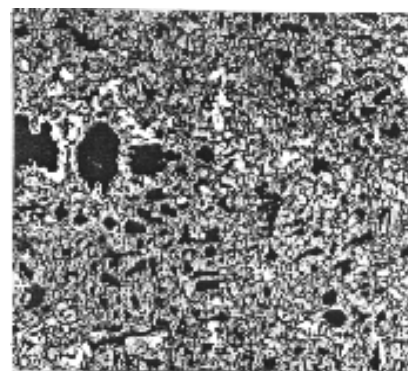
Cu-Zn жүйесі жағдайының диаграммасына сүйене отырып, мырыш мөлшері есептелген, салмақтық үлесі 4-4,8% құрайтын жезге



а

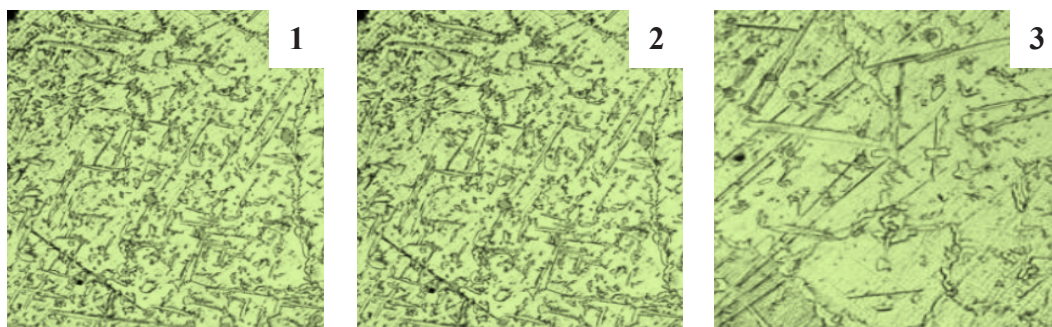


б



в

4 сурет – Құйылған жездердің микроқұрылымдары,  $\times 100$



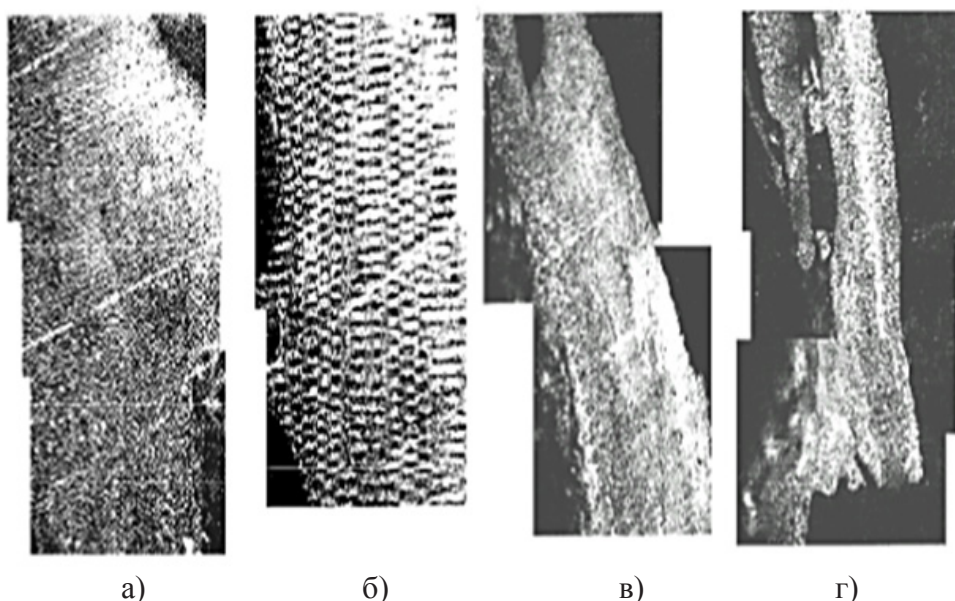
5 сурет – Пикринді улаудан кейінгі құрылымы (1 г пикрин қышқылы  $C_6H_3N_3O_7$ , 5 см<sup>3</sup> HCl ерітілген, 100 см<sup>3</sup> спирт қосылған)

никель енгізу металл кокилде зерттелген қорытпалардың ұсақталған дәнімен бір фазалы қорытпасын алуға мүмкіндік береді  $\alpha$  және  $\beta$ -фазасы бар екі фазалы теңсіз жез алынған. Екі фазалы құрылымның пайда болу себебі шамамен 102-103 К/с жылдамдықпен қорытпаның жылдам суытылуы еді, онда барлық фазалық түрленулер пайда болуына үлгермеді, яғни  $\beta$ -кристалдар  $\alpha$ -фазада еруге үлгермеді. Құйма жез қорытпаларының құрылымында  $\alpha$  және  $\beta$ -дәндер көлемінде біркелкі бөлінген темір негізіндегі ерімейтін бөлшектер, сондай-ақ дәндер ішіндегі жеке окшауланған түзілімдер түріндегі қорғасын қоспалары табылды. Тәжірибедегі 4-ші үлгіде (4, 5 сурет) мыс диоксидтері мен сульфидтердің өшірілуі орын алды. Дәндердің мөлшері орташа шартты дәндер диаметрін өлшеу әдісімен анықталды және 0,02-0,038 мм құра-

ды, бұл 2-3 дән санына сәйкес келеді, ал құйма үлгілерінің микроаттылығы 692-731 МПа диапазонында болды [4].

4, 5 және 6-шы суреттерінде Cu-Zn-Ni-Fe-Pb-Sn-Al жүйесінің балқыманы спиннингтеу әдісімен 105-106 К/с суыту жылдамдығымен алынған жез қорытпасының құрылымы берілген.

Бұл тез күйдірілген қорытпаның құрылымын орташа 0,1-ден бірнеше нанометрге дейінгі кристаллит мөлшері бар микрокристалды деп сипатталады. Қорытпаның біртектілігі мен гомогендігі жоғары дәрежеге ие. Құйма жездерге қарағанда, темір мен қорғасынның бөлшектерінің бәрі ериді, салқындату бойынша қатты ерітіндіде қоспалайтын элементтердің ерігіштігін едәуір арттырады. Түсірудің әдістемелік ерекшеліктері 200 нм кем өлшемдегі біртектілік туралы толық ақпарат



6 сурет – Сан түрлі қарама-қарсы және жарықпен орындалған жез қорытпаларының панорамалары,  $\times 500$

алуға мүмкіндік берді. 1500 есе ұлғайған кезде, мұндай біртекті емес, ұзын пішінді және бірнеше түйілген (5 сурет). Анықталған эллипсоидальды ақаулар бір осьтің бойымен өзінің үлкен өлшемдеріне бағдарланған (таспа жазықтығында дискінің айналу бағытына перпендикуляр болуы мүмкін). Қорытпаларда біркелкі емес полидисперсті. Өлшемдердің спектрі бірнеше бірліктен бірнеше жүз нанометрге дейінгі диапазонды қамтиды. Ақаулар пішіні қимасы бойынша өзгереді және қорытпаларды алу параметрлерінің үйлесіміне айтарлықтай байланысты болуы мүмкін.

Электронды фотосуреттерді талдағанда, құрылымның жүздегенінде негізінен ГЦК торымен ( $\alpha$  фазасына сәйкес) субмикросталдар бар деп қорытынды жасауға болады. Сонымен қатар Ультрадисперсті құрылымды қалыптастырудың ең ерте кезеңдерінде шекара маңындағы учаскелер жартылай аморфты болып келеді. Бұл туралы құрылымға микросталды ретінде елестетуге болады, онда жеке кристалдар арасындағы дән шекаралары аморфты фазаның аудандары болып табылады.

Тез шындалған үлгілердің микро қаттылығы 6-7 ГПа шегінде болады (құйылған үлгілердің микро қаттылығынан 9-10 есе жоғары).

Қорытпалардың жоғары қаттылығын, біріншіден, тез қатаю салдарынан легирлеуші элементтермен қаныққан микросталдардың өте аз мөлшерін түсіндіруге болады. Екіншіден, кристаллиттің екінші шекарасы бойымен аморфты қабат түзеді. Үшіншіден, легирлеуші элементтердің жоғары концентрациясы пластикалық ағынның жоғары кернеулерін іске асыру үшін қосымша жағдайлар жасайды [5-6].

### Қорытынды

1. Cu-Zn-Ni-Fe-Pb-Sn-Al жүйесінің көп компонентті жезін кристалдану кезінде салқындату жылдамдығы 105-106 К/с аралығында, оны субмикросталдан кристаллит шекаралары бойымен аморфты қабатқа ауыстырып, қорытпалардың құрылымына айтарлықтай әсер етеді.
2. Жоғары салқындату жылдамдығымен алынған қорытпа біркелкі, біртекті ұсақ кристалды құрылымға ие және оның ұлғаюы қатты ерітіндідегі легирленген элементтердің ерігіштігін едәуір арттырады.
3. Тез күйдірілген қорытпаның жоғары мәні бар, құйылған қорытпалардың микро қаттылығымен салыстырғанда 9-10-да жоғары көрсетті.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Анализ механизмов пластической деформации сплава на основе алюминия при разных температурно-скоростных режимах / М.М. Мышляев, С.Ю. Миронов, Ю.А. Перлович, М.Г. Исаенкова // Докл. РАН. – 2010. – 430, №5. – С.618-621.
2. Ефремов Б.Н. Латуни. От фазового строения к структуре и свойствам: монография/Б Н. Ефремов. – Москва: ИНФРА-М, 2014. – 312 с.
3. Пугачева Н.Б. Анализ равномерности распределения зерен  $\alpha$ -фазы по сечению трубных заготовок из сплава 58Cu-34Zn-3Mn-2Al/Н.Б. Пугачева, А.В. Лебедь (Герасимова) // Обработка металлов. – 2014. – №3 (64). – С. 6-13.
4. Грачев С.В. Физическое материаловедение. Учебник для вузов. 2-е изд. Переработанное и дополненное/С.В. Грачев, В.Р. Бараз, В.П. Богатов, В.П. Швейкин. – Екатеринбург: изд-во УГТУ-УПИ, 2009. – 548 с.
5. Шмойлова Р.А. Теория статистики. Учебник / Р.А. Шмойлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 656 с.
6. Ванюхин В.Н. Возможности метода дифракции обратно-рассеянных электронов для анализа структуры деформированных материалов/В.Н. Ванюхин, Е.Г. Пашинская, А.В. Завоев, В.В. Бурковецкий. – Киев: Наукова думка. – 2014. – 102 с.