

Түсіпжанов А.Е., Әлихан Ж.,
Кантай Н., Бектасова Г.С.

**Легірлеуші элементтер
қосылған қоланың физикалық
механикалық қасиеттерін
зерттеу**

Қазіргі таңда дүние жүзінде жаңа технологиялармен материалдарға ерекше көңіл бөлінуде, машина жасау және авиа өнеркәсіп саласында қойылатын талап артуда. Сондықтан материалдардың қолдану қасиеттерін арттырып, құнын арзандату қазіргі материалтанудың приоритті тапсырмасы болып табылады. Жұмыста құрамына легірлеуші элементтер қосылған қоланың физика-механикалық қасиеттері зерттелген. Модификацияланған қоланың бастапқы және термиялық өңдеуден кейінгі механикалық қасиеттері зерттелген. Бастапқы күйде қола қыры центрленген кубтық тордан тұратыны, ал илектеуден кейін тетрагоналді CuAl_2 екінші дәрежелі фазасы бөлінетіні анықталды. Ni, Pb және La легірлеуші элементтері қосылған қоланың микроқаттылығы бастапқымен салыстырғанда 94% артқандығы анықталған, бірақ үлгіде фазалық алмасулар болғандығы анықталмаған. Құрылымдық зерттеулер түйіршік шекараларында екінші фаза бөлшектерінің бөлінгендігін анық көрсетеді.

Түйін сөздер: Механикалық қасиеттер, микроқаттылық, термиялық өңдеу, беттік модификациялау, фаза, беріктік шегі, аққыштық шегі.

Tussupzhanov A.E., Alihan Z.,
Kantai N., Bektasova G.S.

**Investigation of physical and
mechanical properties
of bronze alloying elements**

At present, the international community paid special attention to new technologies and materials, in engineering and aviation industries. Therefore, one of the priorities of the Materials is, improve performance and reduce the cost of materials used. In The article studied the physical and mechanical properties of the bronze with addition of alloying elements. Investigations of mechanical properties of the modified bronze in the initial state and after heat treatment. The studies revealed that in the initial state bronze has a face-centered cubic lattice, and after rolling appears tetragonal CuAl_2 secondary phase. The microhardness of the sample with the Ni, Pb and La alloying elements increasing by 94%, but the phase changes on X-ray diffraction did not reveal. Investigation of the structure on a scanning electron microscope shows that there is an allocation of secondary phases along grain boundaries.

Key words: Mechanical properties, microhardness, heat treatment, surface modification, phase, strength limit, yield strength.

Тусупжанов А.Е., Алихан Ж.,
Кантай Н., Бектасова Г.С.

**Исследование физико-
механических свойств бронзы
с легирующими элементами**

В настоящее время мировое сообщество уделяет особое внимание новым технологиям и материалам, растут требования предъявляемые к материалам в машиностроение и авиационной промышленности. Поэтому одним из приоритетных задач материаловедения является, улучшение эксплуатационных характеристик и уменьшение себестоимости применяемых материалов. В работе изучены физико-механические свойства бронзы с добавлением легирующих элементов. Проведены исследования механических свойств модифицированной бронзы в исходном состоянии и после термической обработки. В результате исследований выявлено, что в исходном состоянии бронза имеет гранецентрированную кубическую решетку, а после прокатки появляется вторичная тетрагональная CuAl_2 -фаза. Микротвердость образца с легирующими элементами в виде Ni, Pb и La увеличивается на 94%, но прохождение фазовых превращений на рентгеновском дифрактометре не выявлено. Исследование структуры на растровом электронном микроскопе показывает, что происходит выпадение вторичных фаз по границам зерен.

Ключевые слова: Механические свойства, микротвердость, термическая обработка, модификация поверхности, фаза, предел прочности, предел текучести.

ЛЕГІРЛЕУШІ ЭЛЕМЕНТТЕР ҚОСЫЛҒАН ҚОЛАНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Кіріспе

Ең жоғарғы технологиялық құймалардың илектеу нәтижесінде БрБ2 қоланы алудың сапаның көрсеткіші пластметриялық ізденіс үстінде [1, 2].

Қола үйкеліске қарсы қасиеттерінің жеке тобын құрайды және олардың механикалық қасиеттерін тікелей байланыста болмайды. Механикалық қасиеттері көлемді материалдың қасиеттері анықталады, ал үйкеліске қарсы қасиеттері, беттік қабатының қасиеттері ретінде анықталады. Бұл жағдайда айқын делінген подшипниктерде қолданылатын екі қоланы салыстыруға болады – БрС30, БрАЖ9-4. БрС30 қоланың барлық механикалық сипаттамаларын (беріктігі, қаттылығы, салыстырмалы ұзаруы) БрАЖ9-4 айтарлықтай қайталамайды. Алайда, бұл жоғары жылдамдықпен және (соғуды қоса алғанда) жоғары жүктеме мүмкіндік беретін, аса жауапты подшипниктерге қолданылады [2].

Қола-мыс пен қалайының, алюминийдің, қорғасынның және мырыштан басқа элементтермен қорытпасы, құрамына енгізілген негізгі легірлеуші элементтерге қарай қалайылы, алюминийлі, бериллийлі, кремнийлі, қорғасынды қола болып ажыратылады. Қоланың құйылу қабілеті жақсы, кесіуге және қысыммен өңдеуге ыңғайлы. Коррозияға төзімді және антифрикциялық қорытпа ретінде кеңінен қолданылады [3].

БрАЖ маркалы қола шырағдалдардың төлкесіне, босату клапандарының бағыттауышторында және басқа да бөлшектерде қолданылады. Қалыпты термиялық өңдеу (850°) шынықтыру кезінде (1,5 – 2 сағ) суда ұстап тұру және (1,5 сағ) ауада суыту арқылы 350° босату жасау арқылы алынады. Осындай термиялық өңдеуден кейін $H_v = 130-170$ Кг/лш² термиялық өңдеуден кейін $G.50$ Кг/мм², 12% да болады [3].

Алюминийлі қолалар: БрАЖ9-4, БрАЖ9-4Л, БрАЖН10-4-4. Құрамында 9,4 %-ғадейін алюминий бар қолалар- қатты ерітіндінің бір фазалы құрылымына ие. Алюминийдің үлесі 9,4... 15,6% болғанда, мыс – алюминий жүйесінің құрылымы – және – фазалы еісі фазадан тұрады [4].

Алюминийлі қоладан шағын көлемді, бірақ жауапкершілігі жоғары бөлшектер: тісті доңғалақтар, втулкалар, фланецтер

күймалау және қысыммен өңдеу арқылы дайындалады. БрА5 қоласынан штамптылау арқылы медальдер мен ұсақ тиындар жасалады [5].

Марганец алюминийлі қоланың қасиетіне темірге ұқсас әсер етеді, бұдан басқа қызуға төзімділігін, тозуға төзімділігін, коррозияға төзімділігін арттырады. Құрамында 2%-ға дейін болғанда тұтқырлығын, тығыздығын, сұйықтай аққыштығын арттырады; 2%-дан артық болғанда ұсақ сызаттардың пайда болуына әсер етеді [6].

4%-ға дейін темір химиялық тұрақтылығын түсірмей, темір-алюминийлі қоланың механикалық қасиетін арттырады. Қорытпаның көп фазалығына қарамастан ол ұсақ түйірлі құрылымды болады және онда РеА13 химиялық қосылысы біркелкі таралған [6].

Зерттеу материалы және әдістемелері

Зерттеу материалы ретінде өнідісте әзірленген БрАЖ 9-4 қола қорытпасы алынды. Химиялық құрамы: Al – 9,2%, Fe – 2,8%, Mn – 0,2%, Zn – 0,2%, P – 0,01%, Pb – 0,01%, Si – 0,1%, Sn – 0,05%, Cu – 85%. Әртүрлі деформацияланатын жартылайфабрикаттарды, ленталарды, машина жасауда және авиа өнеркісібінде қолданылады. Қола жоғары механикалық және жақсы антифрикциялық қасиетке ие, тот басуға төзімді болып табылады. Бірақ кей жағдайларда қоланың пайдалану қасиеттері жеткіліксіз болғандықтан қымбат металлдардан жасалған қорытпалар қолданылады. Сондықтан Agatronic G индукциялық пешінде қола құрамына легірілеуші элементтер қосылып қайта балқытып алынды. Қорытпаны қорытатын тигель көміртегіден жасалып, қорыту кезінде инертті аргон газы тотығудан қорғаныш ретінде қолданылды. Легірілеуші элементтер ретінде Ni, Pb және La, Sc, Pr, Nd сияқты сирек кездесетін металлдар қолданылды. Осы легірілеуші металлдарды қола құрамына қосу арқылы, үш түрлі қорытпа келесі массалық үлестер бойынша қорытылып алынды: қорытпа 1 – қола+4% Ni +4% Pb+2%La; қорытпа 2 – қола+2% La+2%Nd; қорытпа 3 – қола+2% Pr+2%Sc.

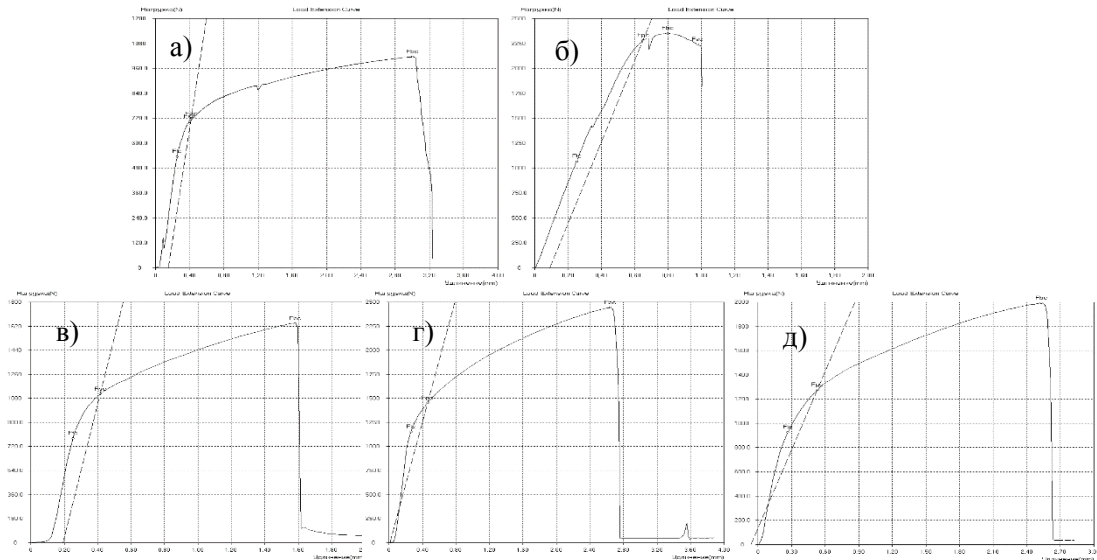
Термиялық өңдеуді қосымша кварц құбырымен жабдықталған СУОЛ-4 құбырлы пештерінде жасалды. Кварц құбырының ішінде қалдық қысым 10^{-3} МПа, сондай ақ температураның ауытқуы ± 5 градустан жоғары болмайтындай жағдай жасалынды. № Жұмыстарентген-фазалық талдау ДРОН-3 рентген дифрактометрінді жасалды. Микроқұрылымның өзгеруін кернеуі 25 кВ JSM-

6390LV растрлы электрондық микроскобында зерттелді. Микроқаттылықтың өзгеруін, индентор ретінде төбесіндегі бұрыш 136° тең болатын алмаз пирамидка қолданылатын ПМТ-3 құралы арқылы анықтадық. Үлгінің механикалық қасиеттерін WDW-5 әмбебап сынау құрылғысында бөлме температурасында анықтадық. Коррозияға төзімділігі Р150 гальваностат потенциалында бес мольярлы азот қышқылын пайдалану арқылы жүргізілді. Коррозияғы ұшырау ауданын нақты анықтау үшін, үлгінің бір бетінен басқа жақтары лакпен өңделді.

Зерттеу нәтижелері

БрАЖ 9-4 қоласы 30%, 50%, және 70%-ға (1-сурет) илектуден кейін және қола құрамына сирек кездесетін элементтер қосылып балқытып алынғаннан (2-сурет) соң механикалық қасиеттері WDW-5. Мехникалық қасиеттерді сынауға үлгілер МЕМСТ 1497 – 84 сәйкес дайындалды, әр тәртіпке кем дегенде үш үлгіден әзірленіп, сыналды. Үлгілерді созуға сынау графигі бірқалыпты болып келеді, сондай-ақ 70% илектеуден кейін үлгінің салыс-тырмалы ұзару коэффициенті төмендегені байқалады (1-сурет). Созуға сынау кезінде бастапқы қоланың беріктілік шегі $\sigma_g = 1020$ МПа, ал салыстырмалы ұзаруы $\delta_{max} = 10\%$ -ды құрады. Илектеудің дәрежесі артқан сайын үлгінің беріктілік шегі артатындығы, ал салыс-тырмалы ұзаруы төмендейтіні [3] қола үлгілерінде де байқалады (1-кесте). Қоланың қасиеттерін оңтайландыру үшін қола құрамына легірілеуші элементтер қосылып балқытып алынған үлгілердің беріктілік шектері екі есе өсіп $\sigma_g = 2370$ МПа жетті, сондай ақ пластикалық қасиеттері де төмендеген жоқ. Ең жоғары беріктілік шегімен қатар жоғары салыстырмалы ұзаруды Қола+Pr+Sc үлгісі көрсетті (1-кесте).

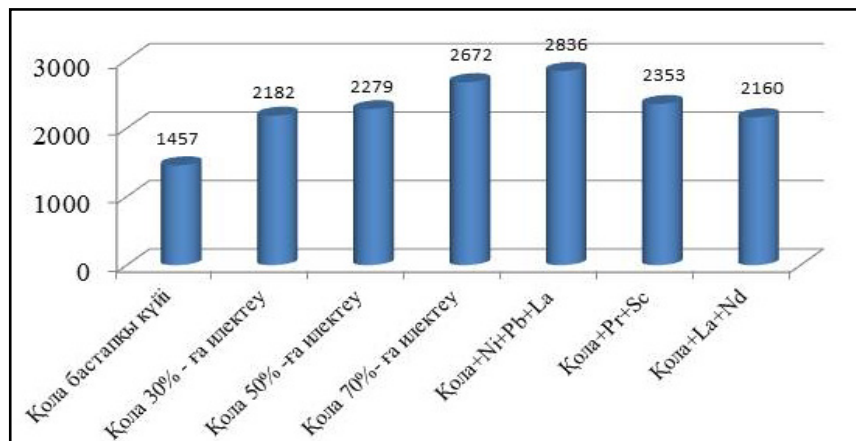
Үлгілердің микроқаттылығын зерттеу созуға сынау кезінде алынған нәтижелерді дәлелдейді (2-сурет). Бастапқы қоланың микроқаттылығы $H_\mu = 1457$ МПа құрады, ал 70% илектелген қоланың $H_\mu = 2672$ МПа жетіп, 83% артты. Легірілеуші элементтер қосылып балқытылған үлгілердің арасында ең жоғары микроқаттылықты Қола+Ni+Pb+La үлгісі көрсетті, бастапқыдан 94% артты. Беріктілік шегі ең жоғары болған Қола+Pr+Sc үлгісінің микроқаттылығы да жоғары деңгейде болып, бастапқыдан 61% артты, бірақ Қола+Ni+Pb+La үлгісінен 20% төмен нәтиже көрсетті (2-сурет).



а) – бастапқы күйі; б) – 70% илектеу; в) – Қола+Ni+Pb+La; г) – Қола+La+Nd; д) – Қола+ Pr+Sc;
1-сурет – Қорытпаның бөлме температурасындас озу кезіндегі жүктелген күш пен салыстырмалы ұзаруының байланыс графигі

1-кесте – Қола құрамына сирек кездесетін элементтер қосып балқытып алынған кейінгі және әртүрлі пайызға илектеуден кейінгі созуға сынаудың нәтижелері

Үлгі/қасиеті	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	d	Y
Бастапқы	540	1020	10	4
30%	830	1520	9	3
50%	1110	1810	7	2
70%	1070	2350	5	1
Қола+Ni+Pb+La	1540	2110	10	12,9
Қола+La+Nd	1360	2320	15	27,4
Қола+Pr+Sc	1420	2370	20	8,4



2-сурет – Қола қорытпасының микроқаттылығының өзгерісі

2-кесте – Қорытпаларды коррозияға төзімділігін сынаудың нәтижелер

Үлгі/қасиеті	S(m ²)	t(c)	m ₀ (г)	m ₁ (г)	K
Қола бастапқы күйі	254,34	82	11,6239	11,5871	1,76 · 10 ⁻³
Қола+Ni+Pb+La	157,5	82	5,5073	5,4902	1,32 · 10 ⁻³
Қола+La+Nd	91	82	3,3172	3,2872	4,02 · 10 ⁻³
Қола+Pr+Sc	145	82	2,8449	2,8255	1,63 · 10 ⁻³

Қола коррозияға төзімді материалдар қатарына жататын болғандықтан [1, 3, 6], жаңадан балқытып алынған үлгілердің коррозияға төзімділігі масса жоғалту әдісі бойынша зерттелді.

K – коррозияға ұшырау жылдамдығының коэффициенті келесі формула арқылы анықтадық:

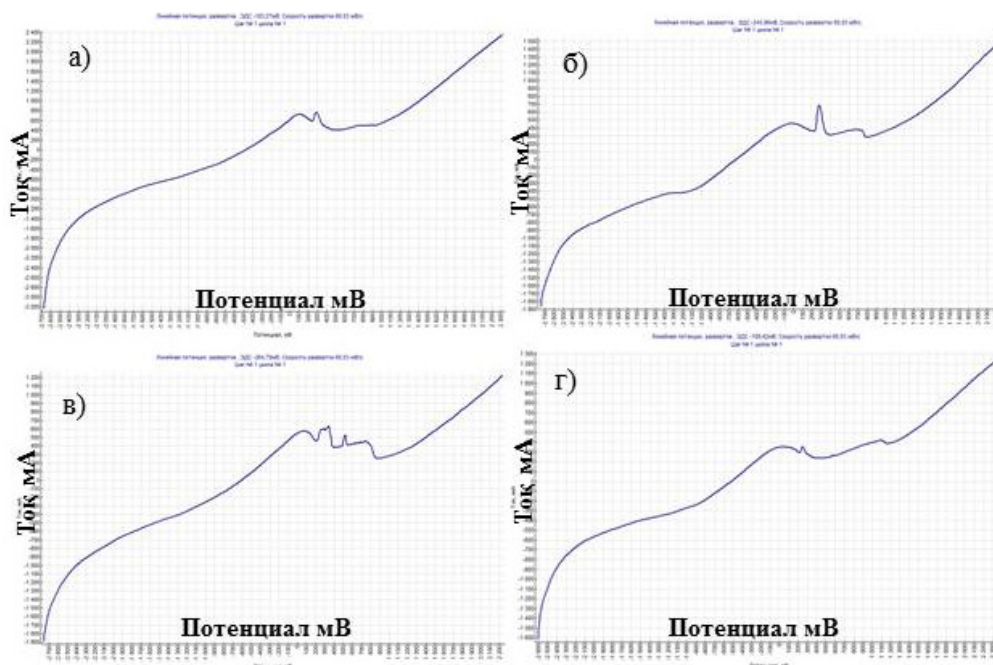
$$K = \frac{m_0 - m_1}{S \cdot \tau},$$

мұнда τ – уақыт, сағат; S – үлгінің ауданы, м², m₀ және m₁ – үлгінің бастапқы және сынақтан кейінгі масса, г

Төзімділікке сынау кезінде алынған график динамикалық қисықтан тұрады (3-сурет). Бұл сызық коррозиялық үдерістер бір калыпті жүр-

мейтіндігін көрсетеді. Коррозияға ұшырау жылдамдығының коэффициенті бастапқы күйде 1,76 · 10⁻³ тең болды. Қола+Pr+Sc үлгісінің коррозияға ұшырау жылдамдығы бастапқы қоладан 7%-ға, ал Қола+Ni+Pb+La үлгісінікі 25%-ға жоғары болды (2-кесте)

Бастапқы үлгі мен құрамына сирек кездесетін элементтер қосып балқытып алынған қорытпа тетрагоналды кристалдық торға ие CuAl₂ және Cu негізіндегі қыры центірленген кубтық тордан тұратындығын көреміз (4-сурет). Дифрактограммалардағы пиктардың интенсивтілігінің өзгеруі, балқытып алу немесе илектеу кезінде қорытпа құрамындағы ақаулардың үлесіне, фазалар қатынасына тәуелді деп есептейміз.

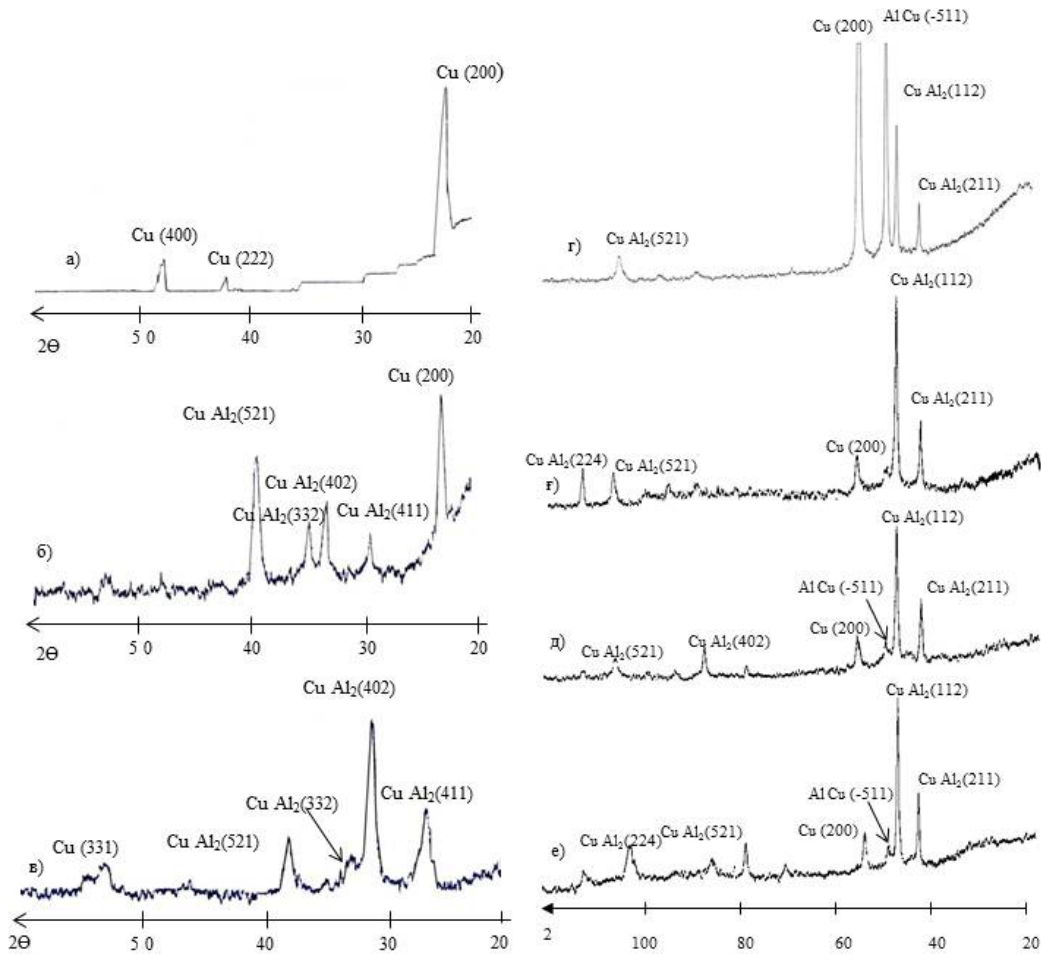


а) – бастапқы күйі; б) – қола+Ni+Pb+La; в) – қола+La+Nd; г) – қола+ Pr+Sc

3-сурет – Қорытпаларды коррозияға төзімділігін сынау Ток, mA мен Потенциал, mV байланыс графигі

Үлгілердің микроқұрылымын зерттеу үшін металл бетін ортофосфор қышқылымен электрохимиялық уландырдық. Электрохимиялық уландыру 5В кернеуде 2 минут уақытымен жасалды. Бастапқы және құрамына Ni+Pb+La қосылған үлгілер екі фазадан тұратыны анықталды. Екінші фаза бөлшектері сфера тәріздес домалақ пішінге ие. Бастапқы үлгі құрамындағы екін-

ші фаза бөлшектері түйіршік денесінде және шекараларында орналасқан, өлшемі шамамен 10 мкм, ал Қола+Ni+Pb+La үлгісінде екінші фаза бөлшектері негізінен түйіршік шекараларында орналасқан өлшемі бес микрометрден аспайды (5-а,б-сурет). Қола+La+Nd; және қола +Pr+Sc үлгілерінде аз мөлшерде өлшемі бір микрометр болатын домалақ бөлшектер байқалады.

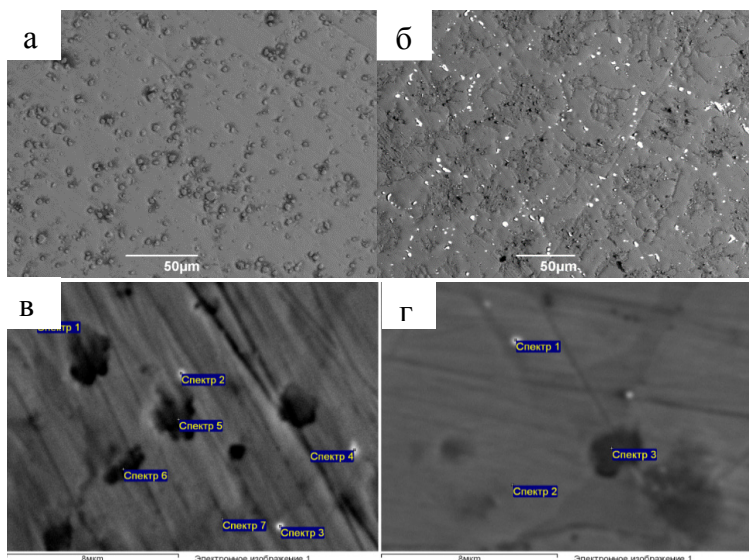


а) – Бастапқы күйі; б) – 30% илектеу; в) – 70% илектеу г) – Қоланың бастапқы күйі;
 р) – Қола+Ni+Pb+La; д) – Қола+La+Nd; е) –Қола+ Pr+Sc

4-сурет – БрАЖ 9-4 қорытпаны рентген-фазалақ талдаудың дифрактограммасы

Растрлы электроды микроскопта үлгінің микроқұрылымдық ерекшеліктерін анықтау кезінде екінші фаза бөлшектерінің және үлгі денесінің химиялық құрамы ЭДС қосымшасында анықталды (6-сурет). ба-суретінде көрсетілген спектрлерді талдайтын болсақ, үшінші спектр үлгі денесінен алынған және қола құжатындағы

химиялық құрамға толығымен сай келеді, екінші және үшінші спектр төмен орналасқан «шұңқырдан» алынғандықтан нәтижелерінің қателігі жоғары болып келеді. Ал ба-суретіндегі төртінші спектр бастапқы үлгінің құрамындағы екінші фаза бөлшектерінің химиялық құрамын көрсетеді деп ойлаймыз.



а) – бастапқы күйі; б) –қола+Ni+Pb+La; в) – қола+La+Nd; г) –қола+ Pr+Sc
5-сурет – БрАЖ 9-4 қорытпаның растрлық микроскопка түсірілген үлгілердің микроқұрлымдар

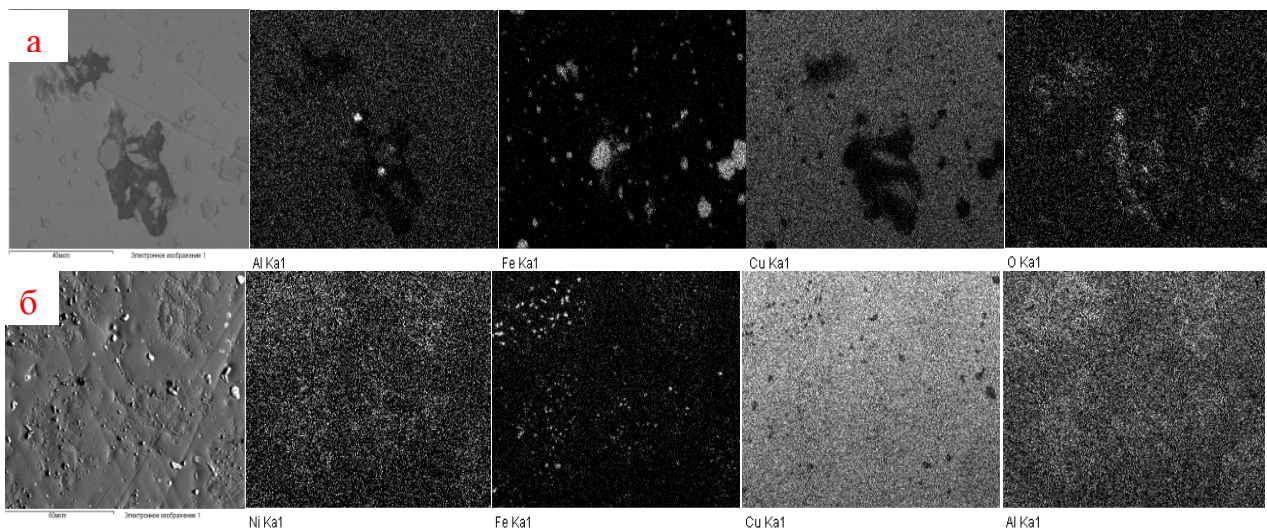
	Спектр	O	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Итого
	Спектр 1	9.43	6.06	4.34	0.96	2.27		11.71	0.99	65.25	100
	Спектр 2	4.93	4.81	1.55	0.70	5.54	0.78	28.48	3.36	49.85	100
	Спектр 3		8.00				0.66	2.59		88.75	100
	Спектр 4		6.41	5.04			1.53	36.10		50.93	100
	Спектр	O	Al	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb	Итого		
	Спектр 1	6.98	1.66		1.28	1.44	27.64	61	100.00		
	Спектр 2	5.30	1.71		1.46	1.60	26.77	63.16	100.00		
	Спектр 3	2.06	8.74	0.57	6.12	5.72	76.78		100.00		
	Спектр 4		1.84		1.23	1.59	29.26	66.08	100.00		
	Спектр	O	Al	Mn	Fe	Ni	Cu	Итого			
	Спектр 1		7.90	0.72	2.51		88.87	100.00			
	Спектр 2	1.94	7.96	0.67	2.55		86.88	100.00			
	Спектр 3	1.67	9.80	0.87	2.39	0.75	84.52	100.00			
	Спектр 4	1.86	8.31	0.63	2.56	0.76	85.89	100.00			
	Спектр 5	2.53	7.62	1.06	8.00		80.79	100.00			
	Спектр 6	1.67	8.75	0.61	2.90		86.07	100.00			
	Спектр 7	1.96	8.39		2.58		87.07	100.00			
	Спектр	O	Mg	Al	Mn	Fe	Ni	Cu	Pb	Итого	
	Спектр 1	1.36	1.54	22.20	0.51	2.15		61.82	10.41	100.0	
	Спектр 2	1.05	1.55	25.33	0.76	2.12	0.64	68.54		100.0	
	Спектр 3		1.62	24.93	0.59	2.33		70.53		100.0	

а) – бастапқы күйі; б) –қола+Ni+Pb+La; в) – қола+La+Nd; г) –қола+ Pr+Sc

6-сурет – БрАЖ 9-4 қорытпаның химиялық құрамын нақтылау үшін ЭДС қосымшада түсірілген үлгілердің микроқұрлымдар

Қола+Ni+Pb+La үлгісіндегі екінші фаза негізін қорғасын элементі құрайтыны анықталды (6б-сурет) шамамен 61-66%. Осы суреттегі *в* бөлігіндегі шамаларды талдайтын болсақ, түйіршік өлшемі тым кіші болғандықтан, негізгі металл бөлігін қоса өлшеді деп есептейміз, сондай ақ суретте байқалатын қара дақтар ол ұйттау кезінде «жұлынып» кеткен бөлшектердің орны деп есептейміз. Бөлшектер қолада ерімеген легірлеуші элементтер ұнтағы болуы мүмкін. Нақты пайыздық өлшемдер массалық үлеспен 6-суреттегі кестелерде көрсетілген. Үлгілер бетіндегі химиялық элементтердің таралуын толығымен анықтау үшін растрлық электронды микроскопта химиялық элементтер бойынша «карталау» жасалынды (7-сурет).

Карталау нәтижесінде бастапқы үлгінің екінші фаза бөлшектері темір элементінен тұратыны, оның құрамында мыс жоқтығы және темір шоғырланған жерде оттегі элементі де көп екені анық көрінеді. Қола+Ni+Pb+La үлгісінде де көрінген екінші фаза бөлшектері құрамында темір элементі көптеп байқалады бірақ нүктелік зерттеу кезінде 60 пайызға дейін қорғасыннан тұратыны анықталғандықтан, темір мен қорғасын фазасы деп болжам жасаймыз. Бұл фазаның массалық үлесі аз болғандықтан рентген фазалық талдау нәтижесінде байқалмады, сондықтан бұл жұмыста фазалық құрамды толығырақ талдау қажет. Сондай-ақ қола+Ni+Pb+La үлгісінде никель және алюминий элементтері көбірек шоғырланған аймақтар байқалады.



а) – бастапқы күйі; б) – қола+Ni+Pb+La

4-сурет – Үлгі бетін карталау нәтижелері

Қорытынды

1. БрАЖ9-4 қоласының аққыштық шегі 50% илектеуден кейін $\sigma_{0.2} = 1110$ МПа көрсетті, бастапқы күйімен салыстырғанда $\sigma_{0.2} = 51\%$ -ға артты. Үлгінің беріктік шегі 70% илектеуден кейін $\sigma_B = 2350$ МПа жетіп, бастапқымен салыстырғанда 56% артты. Ал илектеуден кейін салыстырмалы ұзаруы бастапқы күйінде ең жоғары $\delta_{max} = 10\%$ болды. Қола құрамына сирек кездесетін элементтер қосып балқытып алынған үлгілер ең жоғарғы беріктік шегі қола+La+Nd $\sigma_B = 2320$ МПа жетті, бастапқы күйімен салыс-

тырғанда $\sigma_B = 56\%$ -ға артты. ал аққыштық шегі қола+La+Nd $\sigma_{0.2} = 1540$ МПа көрсетті, бастапқы күйімен салыстырғанда $\sigma_{0.2} = 62\%$ -ға артты.

2. Үлгі бастапқы күйде Cu негізіндегі қыры центрленген кубтық тордан тұратыны, ал илектеуден кейін тетраоналды $CuAl_2$ екінші дәрежелі фазапайда болатыны анықталды. Қола құрамына сирек кездесетін элементтер қосып балқытып алынғаннан кейінгі фазалық құрамның ауысқандығы байқалмайды.

3. Бастапқы қорытпаның коррозияға ұшырау жылдамдығының коэффициенті $1,76 \cdot 10^{-3}$ көрсетті, ал бастапқымен салыстырғанда қола + Ni +

Pb + La қорытпасының коэффициенті төменірек $K=1,32 \cdot 10^{-3}$, яғни коррозияға ұшырау жылдамдығы 25%-ға төменірек.

4. БрАЖ 9-4 қоласының микроқаттылығы 70% илектеуден кейін $H_M=2672$ МПа жетіп, бастапқы күйге қарағанда 45,5% -ға артты. Қола+Ni+Pb+La қорытпасының микроқаттылығы $H_M=2836$ МПа көрсетті, бастапқы күйге қарағанда 49%-ға жоғарырақ. Қола+Pr+Sc және қола+La+Nd қорытпаларының микроқатты-

лығы $H_M=2353$ МПа және $H_M=2160$ МПа жетіп, бастапқы күйден шамамен 35% -ға артты.

5. Үлгілердің құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу кезінде қола+Ni+Pb+La үлгісінің түйіршік шекараларында өлшемі 5мкм аспайтын домалақ бөлшектер бөлінгені анықталған. Осы бөлшектер негізін 66%-ға дейін Pb тұратыны анықталды. Қола+La+Nd және қола+Pr+Sc үлгілерінде де көлемдік үлесі 5% аспайтын бөлшектердің бар екендігі анықталды.

Әдебиеттер

- 1 Зисельман В.Л., Шаталов Р.Л., Алдунин А.В. Особенности технологии и основные проблемы производства плоского проката из бериллиевых бронз // Цветные металлы. – 2006. – №1. – С. 74-75.
- 2 Зисельман В.Л., Босхамджиев Н.Ш., Шаталов Р.Л., Алдунин А.В. Передерни С.Ю. Совершенствование технологии производства и качество лент из бериллиевых бронз // Цветные металлы. – 2005. – №12. – С. 86-89.
- 3 Түленденова Н.К. Материалтану және құрылымдық материалдар технологиясы. Оқу құралы, ШҚМТУ. – Өскемен, 2010. – 164 б.
- 4 Немеребаев М. Материалдар мен конструкциялық материалдар технологиясы: Оқулық. – Алматы; 2011. – 264 б.
- 5 Львовский П.Г. Справочное руководство механика металлургического завода. Справочное издание / П.Г. Львовский – 4 изд., переработанное и допол. – Свердловск: Металлургия, 1962. – 980 с.
- 6 Клинов И.Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. Учеб. пособие для хим.-технол. вузов и фак. – М. – Ленинград, Госхимиздат, 1950. – 292 с.

References

- 1 V.L. Ziselman, R.L. Shatalov, A.V. Aldunin, Svetnyemetaly, 1, 74-75, (2006) (in russ).
- 2 V.L. Ziselman, N.Sh. Boskhomdzhiyev, R.L. Shatalov, A.V. Aldunin, S.Yu. Perederni, Svetnyemetaly, 12, 86-89, (2005) (in russ).
- 3 N.K. Tulendenova, Materialtany jane qurylymdyq materialdar tehnologiasy, Oququrali, ShQMTU, Oskemen, 2010, 164 b. (in kaz).
- 4 M. Nemerebaev, Materialdarmenkonstruksiialyqmaterialdartechnologyacy: Oqulyq. – Almaty; 2011, 264b. (in kaz).
- 5 P.G. Lvovscii, Spravoshnoe rukovodstvo mehanika metallurgicheskogo zavota. Spravochnoe Izdanye/ P.G. Lvovscii, 4 izd., Pererabotannoe i dopol, Metallurgya, 1962, 980 s. (in russ).
- 6 I. YKlinov, Korroziia himicheskoi apparatury I korrozionnostoikie materials. Usheb. Posobiedliahim., Tehnol. vuzov I fak. Moskva Leningrad, Goshimizdat, 1950, 292 s. (in russ).