

Раздел 1. «Металлургия»

МРНТИ 55.22.19
УДК 669.2/8

Г.М. Жуманазарова, Д.К. Мусин, А.А. Аменова, И.К. Ибраев, В.Л. Лехтмец

¹КЕАҚ «Қарағанды индустриалық университет», Теміртау, Қазақстан
E-mail: zhumanazarova.gulnura@mail.ru, musin-d58@mail.ru, aliya_a.555@mail.ru

Никель эвтектика негізіндегі беріктегі жоғары алюминий құймалардың құрамдарын оптимизациялау

Thermo-Calc бағдарламалық өнімдерін пайдаланып Al-Ni-Fe-Si жүйесіндегі көпкомпонентті алюминий негізіндегі жүйелердің фазалық схемаларының сұйық және қатты бөліктерінің проекцияларын, политермалды бөлімдері жасалған;

Al-Ni-Fe-Si жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамы мен құрылымына теориялық талдау жасалды, ол Ni-құрамында эвтектика негізіндегі жаңа буынның ыстыққа төзімді алюминий қорытпаларына қолданылады. Политермиялық және изотермиялық қималар, Al-Ni-Fe-Si жүйесінің фазалық диаграммасының ликвидус бетінің проекциялары есептеу арқылы тұрғызылады. Кремний кристалдану аралығын едәуір кеңейтеді (қазірдің өзінде 0,1% ол ~57 °C), құю кезінде қорытпаның ыстық жарықтар түзу үрдісін арттырады.

Аз легіріленген Al-Ni-Fe-Si алюминий қорытпасы негізгі сипаттамалар жиынтығы бойынша (жылуға төзімділік, беріктік, қаттылық және технологиялық қасиеттері) AM5 (Al-Cu) ең көп таралған ыстыққа төзімді өнеркәсіптік алюминий қорытпаларынан айтарлықтай асып түседі.

Түйін сөздері: алюминий қорытпалары, кристалдану, біркелкі емес кристалдану, изотермиялық және политермиялық қималар, қатты ерітінді, балқыту және микроқұрылым.

Кіріспе

Құйылған алюминий қорытпаларының ішінде легірлеуші элемент ретінде құрамында кремний бар силуминдер кеңінен қолданылады. Әртүрлі механикалық, технологиялық және экономикалық сипаттамалардың сәтті үйлесуі арқасында олар барлық дерлік әдістермен пішінді құйма алу үшін кеңінен қолданылады [1-3].

Алайда, жоғары температурада жұмыс істейтін маңызды өнімдер үшін өнеркәсіптік силуминдерде қол жеткізілетін механикалық қасиеттер деңгейі көбінесе алюминийдің қатты ерітіндісінде кремнийдің болуына байланысты жеткіліксіз болады [4]. Кремнийдің болуы сөзсіз фактор болғандықтан, 300 ° C жоғары температурада ұзақ мерзімді жұмыс істеуге қабілетті жаңа силуминдерді жасау шындыққа жанаспайтын міндет деп санауға болады.

Бұл талаптарды жүзеге асыру көпкомпонентті (кем дегенде төрттік) фазалық диаграммалардың сандық талдауын қолдануды талап етеді. Айта кету керек, соңғысының тәжірибелік құрылысы өте еңбекті қажет ететін жұмыс, ал графикалық әдістерді қолдану айтарлықтай шектеулер қояды. Атап айтқанда, сандық бағалау тек үштік қорытпаларға қатысты жасалуы мүмкін. Неғұрлым күрделі жүйелерді талдау есептеу техникасын және заманауи арнайы бағдарламалық өнімдерді қажет етеді. Осыған байланысты Thermo-Calc бағдарламасын (TTAL7 деректер базасы) пайдалана отырып, алюминий негізіндегі көпкомпонентті диаграммалардың фрагменттері өнеркәсіптік және жетілдірілген қорытпаларға қатысты құрастырылды және талданды.

Фазалық диаграммалар (ФД) және термодинамикалық (ТК) қасиеттері де жаңа материалдарды игеру үшін іргелі негіз болып табылатыны белгілі. Екілік және әсіресе көпкомпонентті жүйелердің ФД және ТК екеуін де эксперименттік зерттеу көп уақыт пен қаржылық ресурстарды қажет етеді.

Al-Ni-Fe-Si жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамын талдау

Раздел 1. «Металлургия»

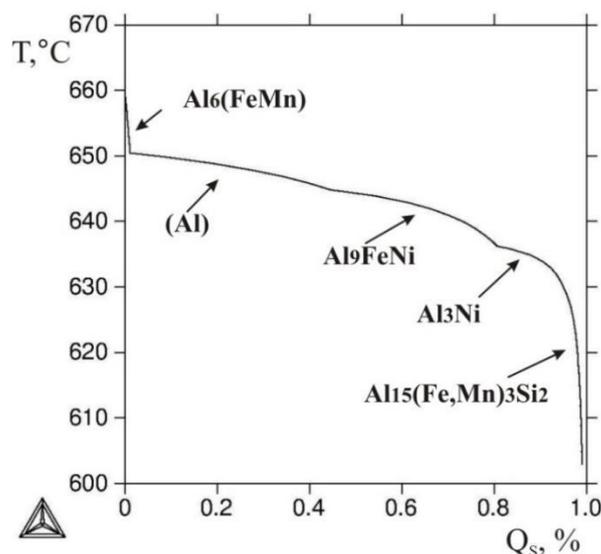
Оптимальды құрамды таңдау үшін әртүрлі мөлшерде Fe және Ni бар қорытпалар дайындалды. Сонымен қатар, тәжірибелік және сұрыпты қорытпалардың құю қасиеттерін салыстырмалы талдау үшін MetalHealth Molds MH090012 сериялық металл қалыптарында құймалар дайындалды.

Аз легирленген никалин Al-Ni-Fe-Si-де темір қоспа емес, легирлеуші компонент болып табылады, ол негізгі құрылымдық компонент - (Al) + Al₉FeNi эвтектикасын құрайды. Осыдан қорытпаның негізі Al-Ni-Fe-Si жүйесі болып табылады (кремнийдің сөзсіз қоспасын ескере отырып). Қарастырылып отырған қорытпалар тобына қолданылатын төрт компонентті жүйеде 8 фаза болуы мүмкін: Al₃Ni, Al₃Fe, Al₆(Fe), Al₉FeNi, Al₈Fe₂Si, Al₁₅(Fe)₃Si₂(α), Al₅FeSi, (Si). Олардың сипаттамалары мен қысқартулары 1-кестеде келтірілген.

1 кесте. Al-Ni-Fe-Si жүйенің қорытпаларында болатын фазалардың сипаттамасы

Формула	Белгіленуі	Құрамы, % (мас.)	Тығыздығы, г/см ³
Si	(Si)	~100Si	2,3
Al ₃ Fe	Al ₃ Fe	37 Fe	3,90
Al ₃ Ni	ε (Al ₃)	42Ni	3,95
Al ₅ FeSi	β (Al ₅)	25–30Fe, 12–15Si	3,45
Al ₈ Fe ₂ Si	α (Al ₈)	30–33Fe, 6–13Si	3,58
Al ₉ FeNi	T (Al ₉)	4,5–14Fe, 18–28Ni	3,4
Al ₁₅ (Fe) ₃ Si ₂	α _m (Al ₁₅)	0–31Fe, 1,5–29Mn, 8–13Si	3,55

Алюминий қорытпаларының кристалдану процесінің нақты жағдайларында, әдетте, тепе-теңдіктен айтарлықтай ауытқулар болатыны белгілі [2]. Нәтижесінде құйма күйінде құйманың фазалық құрамының қалыптасуын бағалау арнайы әдістемелерді қажет етеді. 1-суретте эксперименттік құрамның тепе-теңдіксіз кристалдануы бірнеше кезеңді қамтитынын көрсетеді. Алдымен Al₆(Fe) фазасының бастапқы кристалдары түзіледі, содан кейін эвтектикалық реакциялар алюминий қатты ерітіндісінің (Al) және Al₉FeNi, Al₃Ni, Al₁₅(Fe)₂Si₃(α) фазаларының түзілуімен жүреді. Кристалдану L→(Al)+ Al₉FeNi+Al₃Ni+Al₁₅(Fe)₂Si₃(α) реакциясы арқылы 603°C температурада аяқталады. Осылайша, жалпы кристалдану аралығы (ΔT) 57°C (660-603°C) құрайды.



а)

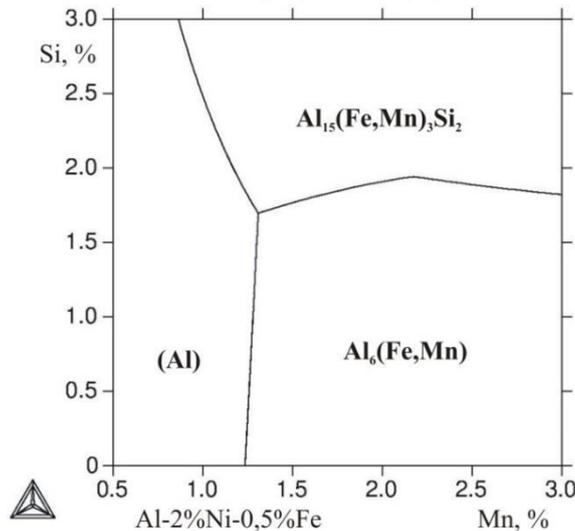
1 сурет. Тепе-тең емес кристалдану процесінде Al-2%Ni-0,5%Fe-0,1%Si жүйесінің қорытпасындағы қатты фазалардың массалық үлесінің температураға тәуелділігі

[5] жұмысында Si мөлшері 0,1%-дан жоғары Al-Ni-Fe-Si қорытпасында кремний фазасының қатысуымен төмен температуралы эвтектика түзілетіні анықталды. Бұл ыстық крекингке

Раздел 1. «Металлургия»

бейімділіктің күрт өсуіне әкеледі, өйткені ΔT өте үлкен болады ($>100^\circ\text{C}$). Зерттелетін құрамның қорытпасындағы кремнийдің төмен мөлшері (0,07-0,08% Si) бұл эвтектиканы болдырмауға мүмкіндік береді, бұл тәжірибелік мәліметтерге сәйкес келеді (2-сурет).

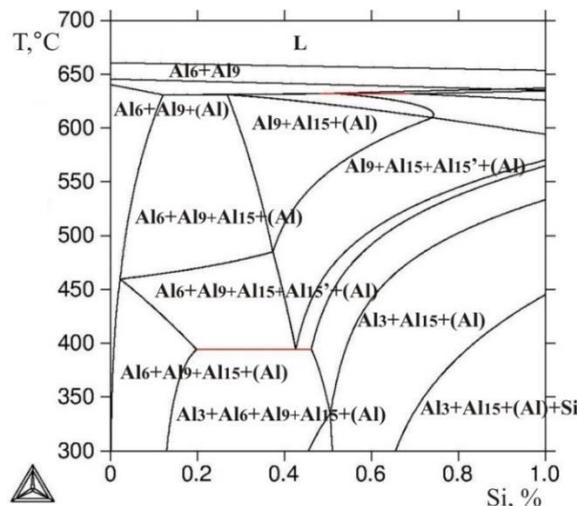
Барлық интерметаллдық қосылыстардың бастапқы кристалдары анық қалаусыз екенін ескере отырып, әртүрлі бөлімдердегі әртүрлі фазалардың бастапқы кристалдану шекаралары есептелді (ликвидус проекциялары).



б)

2 сурет. 2%Ni 0,5%Fe кезінде Al-Ni-Fe-Si жүйесінің сұйық беті

Политермиялық қисықтан кристалдану кезінде көптеген реакциялардың жүруі мүмкін екенін көруге болады. Кремнийдің әсері 2% Ni және 0,5% Fe кесіндісін көрсетеді (3-сурет), бұл барлық фазалардың (Al_6Fe , Al_9FeNi , Al_3Ni) салыстырмалы түрде шағын температура диапазонында (10 К-ден төмен) кристалданатынын көрсетеді. Кремний болған жағдайда политермиялық кесулердің құрылымы әлдеқайда күрделене түседі. $\text{Al}_{15}(\text{Fe})_2\text{Si}_3$ фазасының пайда болуы үшін қазірдің өзінде 0,15% Si жеткілікті.



3 сурет. Құрамы өзгермелі кремний бар Al-2%Ni-0,5%Fe-Si жүйесінің политермиялық қисығы

Қорытынды

1) Al-Ni-Fe-Si жүйесінің қорытпаларының фазалық құрамы мен құрылымына теориялық талдау жасалды, ол Ni-құрамында эвтектика негізіндегі жаңа буынның ыстыққа төзімді алюминий

Раздел 1. «Металлургия»

корытпаларына қолданылады. Политермиялық және изотермиялық кималар, Al-Ni-Fe-Si жүйесінің фазалық диаграммасының ликвидус бетінің проекциялары есептеу арқылы тұрғызылады..

2) Кремний кристалдану аралығын едәуір кеңейтеді (қазірдің өзінде 0,1% ол ~57 °C), құю кезінде қорытпаның ыстық жарықтар түзу үрдісін арттырады.

3) Аз легіріленген Al-Ni-Fe-Si алюминий қорытпасы негізгі сипаттамалар жиынтығы бойынша (жылуға төзімділік, беріктік, қаттылық және технологиялық қасиеттері) AM5 (Al-Cu) ең көп таралған ыстыққа төзімді өнеркәсіптік алюминий қорытпаларынан айтарлықтай асып түседі.).

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов.- М.: Metallurgia 1979, с. 640.
2. Белов Н.А., Золоторевский В.С. «Литейные сплавы на основе алюминиево-никелевой эвтектики (никалины) как возможная альтернатива силуминам», Цветные металлы, 2003, №2, С.99-105.
3. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Metallovedenie litynykh alyuminievykh spлавov - М.: МИСиС, 2005, 376 с.
4. Belov N.A. “Principles of Optimising the Structure of Creep-Resisting Casting Aluminium Alloys Using Transition Metals” Journal of Advanced Materials, 1994 1 (4), p.321-329.
5. Белов Н.А., Санников А., Мишуров С.С., Белов В.Д. «Влияние кремния на характер кристаллизации и горячеломкость жаропрочного литейного алюминиевого сплава АН2ЖМц». Цветные металлы, 2011, № 7, С. 68-71.
6. Toleuova A.R., Smagulov D.U., Amenova A.A. Prospecting aluminum alloys with zirconium and scandium additives. Nauka and studia. №12 (43), 2011, Стр.86-92.
7. Amenova A.A., Smagulov D.U. Quantitative analysis of the Al – Ni – Fe – Mn – Zr – Si phase diagram as a base of heat-resistant cast aluminum alloys of new generation. Бял ГРАД БГ. 2013, стр 3-7.
8. A. Amenova, N. Belov, D. Smagulov, A. Toleuova. Scientifically based choice of heat-resistant cast aluminum alloys of new generation. International Journal "Applied Mechanics and Materials", Trans Tech Publications. May 2013.
9. Zolotarevskii, V.S. and Belov, N.A., Metallovedenie liteinykh alyuminievykh spлавov (Physical Metallurgy of Cast Aluminum Alloys), Moscow: MISiS, 2005, 376p.
10. Belov N.A., Sannikov A., Mishurov S.S., Belov V.D. Tsvetn. Met., 2011, no. 7, p. 68-71.
11. Belov, N.A., Fazovyi sostav alyuminievykh spлавov (Phase Composition of Aluminum Alloys), Moscow: MISiS, 2009.
12. Belov N.A., Zolotarevskii V.S. Liteinye spлавy na osnove alyuminievo-nikelevoy evtektiki (nikaliny) kak vozmojnaya al'ternativa siluminam, Tsvetn. Met., 2003, no. 2, p. 99-105.

Г.М. Жуманазарова, Д.К. Мусин, А.А. Аменова, И.К. Ибраев, В.Л. Лехтмец

Оптимизация составов высокопрочных алюминиевых отливок на основе никелевой эвтектики.

С помощью программного продукта Thermo-Calc разработаны проекции жидких и твердых частей, а также политермические разрезы фазовых схем многокомпонентных систем на основе алюминия в системе Al-Ni-Fe-Si; Проведен теоретический анализ фазового состава и структуры сплавов системы Al-Ni-Fe-Si, который применяется к термостойким алюминиевым сплавам нового поколения на основе эвтектики, содержащей Ni.

Раздел 1. «Металлургия»

Политермические и изотермические сечения, проекции поверхности ликвидуса фазовой диаграммы системы Al-Ni-Fe-Si строятся расчетом.

Кремний значительно расширяет интервал кристаллизации (уже на 0,1% он составляет $\sim 57^{\circ}\text{C}$), увеличивая тенденцию сплава к образованию горячих трещин при литье. Низколегированный алюминиевый сплав Al-Ni-Fe-Si по совокупности основных характеристик (теплостойкость, прочность, твердость и технологические свойства) значительно превосходит наиболее распространенные термостойкие промышленные алюминиевые сплавы AM5 (Al-Cu).

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, кристаллизация, неравномерная кристаллизация, изотермические и политермические сечения, твердый раствор, плавление и микроструктура.

G.M. Zhumanazarova, D.K. Musin, A.A. Aminova, I.K. Ibraev, V.L. Lehtmetz

Optimization of compositions of high-strength aluminum castings based on nickel eutectic

Projections of liquid and solid parts, as well as polythermal sections of phase diagrams of multicomponent aluminum-based systems in the Al-Ni-Fe-Si system were developed using the Thermo-Calc software product; A theoretical analysis of the phase composition and structure of alloys of the Al-Ni-Fe-Si system, which is applied to heat-resistant aluminum alloys of a new generation, was carried out based on eutectic containing Ni. Polythermal and isothermal sections, projections of the liquidus surface of the phase diagram of the Al-Ni-Fe-Si system are constructed by calculation.

Silicon significantly expands the crystallization interval (already by 0.1% it is $\sim 57^{\circ}\text{C}$), increasing the tendency of the alloy to form hot cracks during casting. The low-alloy aluminum alloy Al-Ni-Fe-Si significantly surpasses the most common heat-resistant industrial aluminum alloys AM5 (Al-Cu) in terms of a set of basic characteristics (heat resistance, strength, hardness and technological properties).

Keywords: aluminum alloys, crystallization, uneven crystallization, isothermal and polythermal sections, solid solution, melting and microstructure.

Literature

1. Mondolfo L.F. Structure and properties of aluminum alloys.- M.: Metallurgy 1979, p. 640.
2. Belov N.A., Zolotarevsky V.S. "Foundry alloys based on aluminum-nickel eutectic (nikalin) as a possible alternative to silumins", Non-ferrous metals, 2003, No. 2, pp.99-105.
3. Zolotarevsky V.S., Belov N.A. Metallovedenie foundry aluminum alloys - M.: MISiS, 2005, 376 p.
4. Belov N.A. "Principles of Optimising the Structure of Creep-Resisting Casting Aluminium Alloys Using Transition Metals" Journal of Advanced Materials, 1994 1 (4), p.321-329.
5. Belov N.A., Sannikov A., Mishurov S.S., Belov V.D. "The influence of silicon on the character of crystallization and the hotness of heat-resistant cast aluminum alloy AN2ZHMC". Non-ferrous metals, 2011, No. 7, pp. 68-71.
6. Toleuova A.R., Smagulov D.U., Amenova A.A. Prospecting aluminum alloys with zirconium and scandium additives. Nauka and studia. No.12 (43), 2011, pp.86-92.
7. Amenova A.A., Smagulov D.U. Quantitative analysis of the Al – Ni – Fe – Mn – Zr – Si phase

Раздел 1. «Металлургия»

diagram as a base of heat-resistant cast aluminum alloys of new generation. Byal GRAD BG. 2013, pp. 3-7.

8. A. Amenova, N. Belov, D. Smagulov, A. Toleuova. Scientifically based choice of heat-resistant cast aluminum alloys of new generation. International Journal "Applied Mechanics and Materials", Trans Tech Publications. May 2013.

9. Zolotarevskii, V.S. and Belov, N.A., Metallovedenie liteinykh alyuminievykh splavov (Physical Metallurgy of Cast Aluminum Alloys), Moscow: MISiS, 2005, 376p.

10. Belov N.A., Sannikov A., Mishurov S.S., Belov V.D. Tsvetn. Met., 2011, no. 7, p. 68-71.

11. Belov, N.A., Fazovyi sostav alyuminievykh splavov (Phase Composition of Aluminum Alloys), Moscow: MISiS, 2009.

12. Belov N.A., Zolotarevskii V.S. Liteinye splavy na osnove alyuminievo-nikelevoy evtpektiki (nikaliny) kak vozmojnaya al'ternativa siluminam, Tsvetn. Met., 2003, no. 2, p. 99-105.