ОДЕРЖАННЯ ТА ОБРОБКА РОЗПЛАВІВ

УДК 669.715:66.067

В. П. Головаченко, *наук. співроб., e-mail: onmlptima@ukr.net*
Л. К. Шеневідько, *наук. співроб.*
Н. П. Ісайчева, *гол. технолог*
В. М. Дука, *мол. наук. співроб.*
Т. Г. Цір, *мол. наук. співроб.*
А. Г. Вернидуб, *гол. технолог*

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ РОТОРНОЇ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ РОЗПЛАВІВ В КОВШІ В ПРОЦЕСАХ РЕО-ТИКСОЛИТТЯ

Наведено особливості роторної обробки алюмінієвих розплавів в ковші для реалізації сучасних ливарних процесів рео-тиксолиття. Показано, що в системі «ротор–ківш з розплавом» є дві взаємопов'язані між собою поверхні, що генерують центри кристалізації – ротору та ковша. Із застосуванням теплофізичних формул показано, що головним критерієм утворення центрів кристалізації є переохолодження розплаву, який знаходиться в передкристалізаційному стані. Особливості роботи системи полягає в наступному: ротор, що обертається, переохолоджує прилеглі до нього прошарки алюмінієвого розплаву і струменевою течією направляє їх на стінки ковша, з яких змиває центри кристалізації та сформовані мікрокристалики і замішує їх в об'єм розплаву. Після проведення роторної обробки на поверхні ковша утворюються мікрокристалики, які в процесі заливання розплаву в порожнину форми в турбулентному режимі додатково замішуються в його об'єм. В розплаві на його поверхні постійно формуються тонкі плівки із оксиду алюмінію, товщина яких залежить від часу витримки та температури. Роторна обробка розплаву в активній гідродинамічній верхній зоні ковша (h ~ 15–20 мм) руйнує оксиди алюмінію та замішує їх в об'єм розплаву, які можуть стати додатковими центрами кристалізації. Знято стопкадр гідромоделювання процесу роторної обробки із застосуванням газонасиченої (CO_2) води. Зафіксовано зону рівномірного розподілу газу в об'ємі ємності з водою. Таким чином, утворюється суспензія з твердою фазою у вигляді центрів кристалізації (мікрокристаликів) α-твердого розчину алюмінію та інтерметалідів заліза, які спонтанно утворилися над лінією ліквідус. Показано, що роторна обробка розплаву в передкристалізаційній області температур змінює процес кристалізації залізовмісних інтерметалідів, що призводить до формування окремих компактних фаз розміром 10–15 мкм, замість разгалуджених. Сфероідизація α-твердого розчину при роторній обробці розплаву при температурі близькій до ліквідуса призводить до зменшення зерен, підвищення пластичності виливків у 3–5 разів, а також – міцності.

***Ключові слова**: роторна обробка, рео-тиксолиття, алюмінієві сплави, гідромоделювання .*

До цього часу в процесах роторної обробки алюмінієвих широкоінтервальних сплавів для здійснення прогресивних технологій рео-тиксолиття не досліджували особливості роботи системи «ротор–ківш з розплавом».

Розроблений в ФТІМС НАН України спосіб рео- тиксолиття [1] передбачає проведення роторної обробки алюмінієвих сплавів, що знаходяться в передкристалізаційному стані, для створення додаткової множини центрів кристалізації за рахунок переохолодження розплаву в системі ротор-ківш, а також відносне переміщення твердої фази, що є необхідною умовою формування глобулярної структури α-твердого розчину у алюмінієвих виливках [2, 3, 4].

В умовах переохолодження розплаву, в якому постійно знаходяться фазові флуктуації (кластери), встановлюється ближній порядок в розміщенні атомів, які можуть стати центрами кристалізації.

В роботі [5] показано, що такі групи атомів зберігаються в розплаві при його нагріванні до високих температур. Однак такий розплав не успадковує характерних властивостей, притаманних ординарному сплаву.

Згідно з роботою [6] при переохолодженні розплаву в результаті хаотичного теплового руху атомів число фазових флуктуацій критичного розміру пропорційно вірогідності енергетичної флуктуації:

$$I = K\exp\left(\frac{A_к}{RT}\right),$$

де R – постійна Больцмана; K – кінетичний коефіцієнт, величина якого залежить від швидкості обміну між зародком кристалізації і розплавом; $A_к$ – робота утворення зародка; T – температура розплаву.

Лінійна швидкість росту для атомарно шорстких поверхонь граней кристалів пропорційна переохолодженню і має вигляд:

$$V = K \cdot \Delta T,$$

а для східчастих поверхонь граней кристалів вона збільшується і становить:

$$V = K \cdot \Delta T^2.$$

Таким чином, переохолодження розплаву є основою зародження та росту кристалів α-фази алюмінію.

Проведеними дослідженнями за допомогою гідромоделювання роторної обробки [2], де в якості моделюючої речовини використовували газонасичену воду, встановлено, що найбільш активна зона перемішування утворюється у верхніх прошарках води висотою приблизно 15–20 мм, що створює інтенсивні масообмінні процеси між поверхневою плівкою та водою. На рис.1 зображено стоп-кадр відеозйомки гідромоделювання процесу роторної обробки газонасиченої води зі швидкістю обертання ротору n = 800 об/хв, його діаметром 20 мм та діаметром ковша 80 мм.

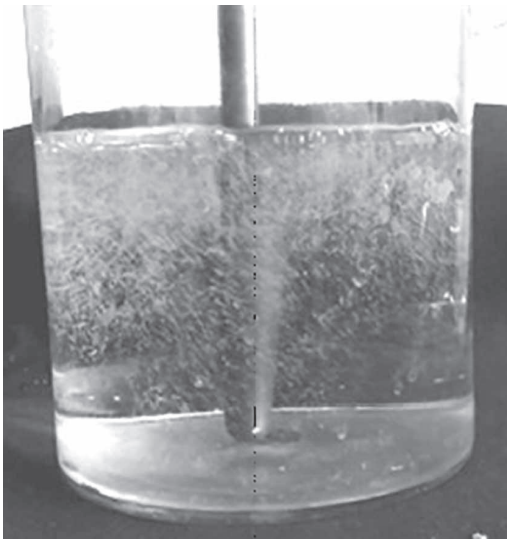


Рис. 1. Стоп-кадр гідромоделювання процесу роторної обробки газонасиченої води

В розплаві на його поверхні постійно формуються плівки із оксидів алюмінію, товщина яких залежить від часу витримки та температури. Роторна обробка розплаву в активній зоні замішує та руйнує оксиди алюмінію в об'єм розплаву, які згідно [6] можуть стати додатковими центрами кристалізації, а також – покращити механічні властивості виливків.

Реальний процес роторної обробки розплаву здійснюють в тонкостінному (~ 1,2–2 мм) стальному циліндричному ковші з великою тепловідвідною поверхнею, контактуючою з розплавом.

Наприклад, поверхня (холодного) ротору для обробки дози алюмінієвого розплаву масою 1 кг становить 60 см^2, стального ковша – 240 см^2. Співвідношення контактуючих з розплавом поверхонь становить 1:4, а вся сумарна поверхня тепловідведення становить 300 см^2.

В процесі роторної обробки розплаву задіяно дві поверхні, які генерують центри кристалізації: ротору та ковша.

Схему роботи системи «ківш–ротор–розплав» при одержанні металевої суспензії з глобулярною морфологією α-фази зображено на рис. 2.

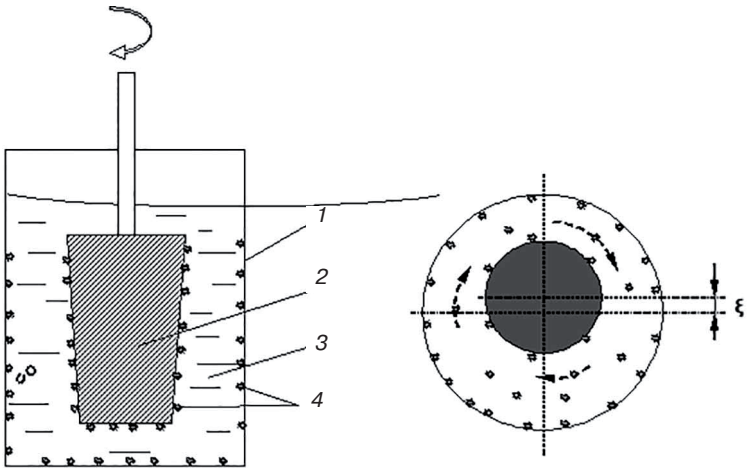


Рис. 2. Схема зародження центрів кристалізації в системі «ківш–ротор–розплав» при роторній обробці; *1* – ківш; *2* – ротор; *3* – розплав; *4* – центри кристалізації; ξ – ексцентриситет

Завдяки ексцентриситету ротору він працює за принципом пластинчатого насосу з зонами всмоктування та нагнітання, створюючи швидкість потоку (n = 800 об/хв) на рівні 5,5–6 см/с, що є достатнім для змивання центрів кристалізації (кристаликів) на поверхні ковша.

Згідно з [7] при невеликих перегрівах розплаву над лінією ліквідус (до 50 ^{0}С) в реальних ливарних алюмінієвих сплавах з домішками заліза утворюються інтерметаліди на основі заліза з більшою питомою вагою, порівняно з алюмінієм. Завдяки цьому розроблено технології рафінування алюмінієвих розплавів від домішок заліза (центрифугування, вистоювання та ін.).

Таким чином, в умовах переохолодження в процесі роторної обробки стан розплаву в передкристалізаційній області температур відповідає металевій суспензії, в якій тверду фазу складають центри кристалізації (мікрокристалики) α-твердого розчину з програмою їх глобулярного росту при подальшій кристалізації (рис. 3). Додатково в процесі заливання дози алюмінієвого розплаву, обробленого ротором, на стінках ковша утворюються центри кристалізації та мікрокристалики, які також замішуються в об'єм металу за рахунок турбулентності потоку.

Для розширення технологічних можливостей і визначення оптимальної температури розплаву в процесі приготування суспензії використовували мідистий силумін АК5М2, хімічний склад якого надано в табл. 1.

Закристалізований багатокомпонентний сплав АК5М2 має 6 основних фаз [8]:

- α *(*Al) – твердий розчин алюмінію
- α (FeMn) : Si_2Al_{15}, θ–$CuAl_2$, β – Fe–$SiAl_5$, Mg_2Si, $FeMg_3Si_6Al_8$.

Основними структурними складовими є дендрити твердого розчину (Al) і потрійна евтектика Si + (Al) +β.

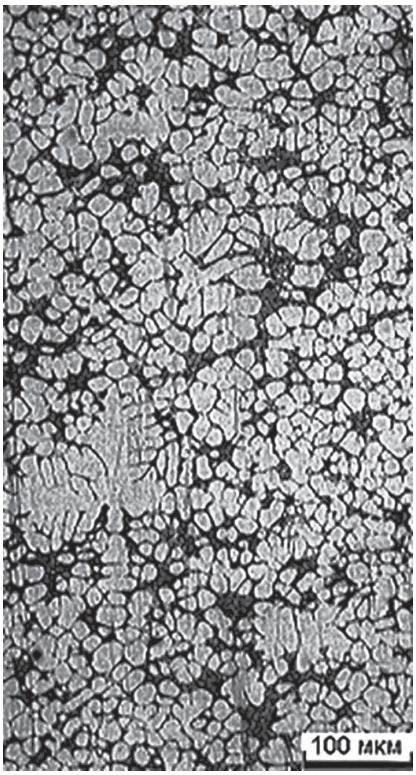


Рис. 3. Мікроструктура виливка, одержаного в камері пресування із попередньо обробленого роторним активатором алюмінієвого сплаву АК7

Магнієвомідновміщуючі фази спостерігаються у вигляді евтектичних прожилок: (Al)+Mg_2Si+θ ($CuAl_2$).

Дослідний сплав АК5М2 плавили в електричній печі опору з керамічним тиглем ємністю 3 кг алюмінію. При температурі 800 ^{0}С розплав рафінували таблетками «Degaser» виробництва ФРГ в кількості 0,2 % від маси металу.

Для визначення стояння температури ліквідус використовували термічний аналіз А. А. Смульського, точність вимірювання температури якого становила ± 0,5 ^{0}С. Температура стояння ліквідус, що визначена за цією методикою, становила 625 ^{0}С.

Дозу алюмінієвого сплаву масою 0,3 кг обробляли в тонкостінному (δ = 1,5 мм) сталевому ковші графітовим ротором (d = 15 мм, n = 800 об/хв) із вимірюванням температури, після чого при заданій температурі заливали в тонкостінний (δ = 1 мм) сталевий кокіль діаметром 50 мм і висотою 50 мм, який охолоджували в атмосферних умовах з середньою швидкістю 0,36 ^{0}С/с (рис. 4).

Залишок розплаву в ковші після проведення роторної обробки сплаву заливали в окрему ємність. Завдяки цьому підтримували чистоту експерименту.

Технологічні параметри лиття надано в табл. 2.

В процесі проведення досліджень макро- і мікроструктури литих зразків використовували оптичні мікроскопи МБС3, МІМ7, МІМ8, МІМ10, мікротвердомір ПМТ3 та растровий електронний мікроскоп мікроаналізатор РЕММФ2 для вивчення хімічного складу фазових складових.

Таблиця 1

Хімічний склад сплаву АК5М2

Марка сплаву	Масова доля, %					Заліза не більше
	Основні компоненти					
	Магній	Кремній	Марганець	Мідь	Титан	
АК5М2	0,35	5,03	0,38	1,8	0,05	0,98; 1,57

Згідно з класичною кластерною будовою металевих розплавів [9–12] при низькому їх перегріванні над лінією ліквідус розплав мікронеоднорідний і має сіботаксичні комплекси відносно великих розмірів. Утворення зародків кристалізації в такому розплаві полегшено. Ріст кристалів відбувається як за рахунок приєднання окремих атомів, так і атомних комплексів. У випадку мікронеоднорідного розплаву це призводить до підвищеної хімічної та фізичної мікронеоднорідності твердого металу. Обробка ротором розплаву в передкристалізаційній області температур збільшує множину центрів кристалізації та усуває мікронеоднорідність розплаву, що позначається на мікро- та макроструктурі литого металу.

Сильно перегрітий розплав більш однорідний, має підвищену в'язкість, розміщення атомів в ньому стає більш статистичним.

На рис. 5 зображено макроструктуру перерізів литих зразків діаметром 50 мм, одержаних литтям в кокіль при різних температурах лиття із вихідного (рис. 5, *а*, *б*) і обробленого ротором сплаву АК5М2 (рис. 5, *в, г*).

При низькому (Tл + 5 ^{0}С) перегріванні розплаву травленням не виявлено макроструктурау із-за подрібнення структурних складових.

Зі збільшенням температури перегрівання до 850 ^{0}С в макроструктурі спостерігаються різнонаправлені конгломерати α-твердого розчину алюмінію, площа яких може досягати 3–6 см^2. Слід відзначити, що такий стан мікроструктури в перерізі зразків притаманний для температур лиття 650–750 ^{0}С. Зі збільшенням температури лиття до 750–850 ^{0}С макрозерно α-твердого розчину алюмінію подрібнюється приблизно в 1,5 рази і становить 1,5–2 см^2.

Роторна обробка розплаву при аналогічних температурах лиття призводить до подрібнення макрозерна в 2–3 рази за рахунок доданої кількості центрів кристалізації. При цьому спостерігається як модифікуючий так і значний рафінуючий ефекти [13], який проявляється в утворенні газової пористості за рахунок виділення розчиненого в розплаві водню. Найбільш дрібна пористість розміром 0,5–1 мм спостерігається в перерізах виливків, одержаних при $T_з$ = 800 ^{0}С. З підвищенням в'язкості розплаву при більш низьких температурах лиття розмір пор збільшується в 1,5–2 рази, оскільки швидкість видалення водню знижується.

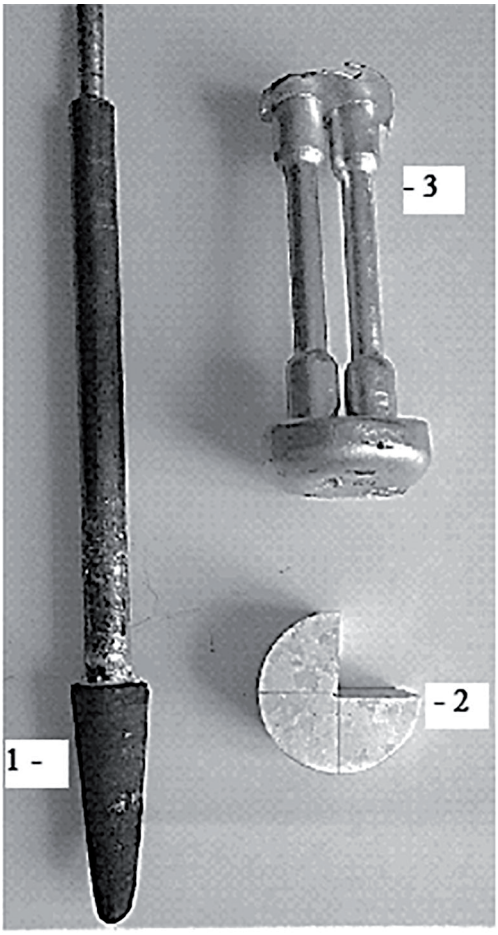


Рис. 4. Графітовий ротор, зразки для дослідження мікро, - макроструктури, міцності

На рис. 6 приведена мікроструктура вихідних і оброблених ротором зразків (d = 50 мм) із сплаву АК5М2, одержаних при температурі лиття 625–750 ^{0}С. Найбільш суттєві структурні зміни зразків обумовлені роторною обробкою розплаву в передкристалізаційній області температур (625–630 ^{0}С), оскільки «холодний» ротор генерує додаткову множину центрів кристалізації, що змінює процес кристалізації фаз. Так, інтерметаліди залізовмісних фаз зразка,

Таблиця 2

Технологічні параметри лиття зразків із розплаву АК5М2, обробленого ротором

Марка сплаву	Температура, ^{0}С						Час обробки розплаву ротором, с	Середня швидкість охолодження зразка, ^{0}С/с
	початок обробки розплаву	кінець обробки розплаву, виливка	вихідна температура заливки	ротор до обробки розплаву	ротор після обробки розплаву	початкова кокіля		
АК5М2	820	800	800	100	140	100	6	0,36
	770	750	750	+	+	+	+	
	720	700	700	+	+	+	5	
	670	650	650	+	+	+	4	
	650	630	630	+	+	+	+	

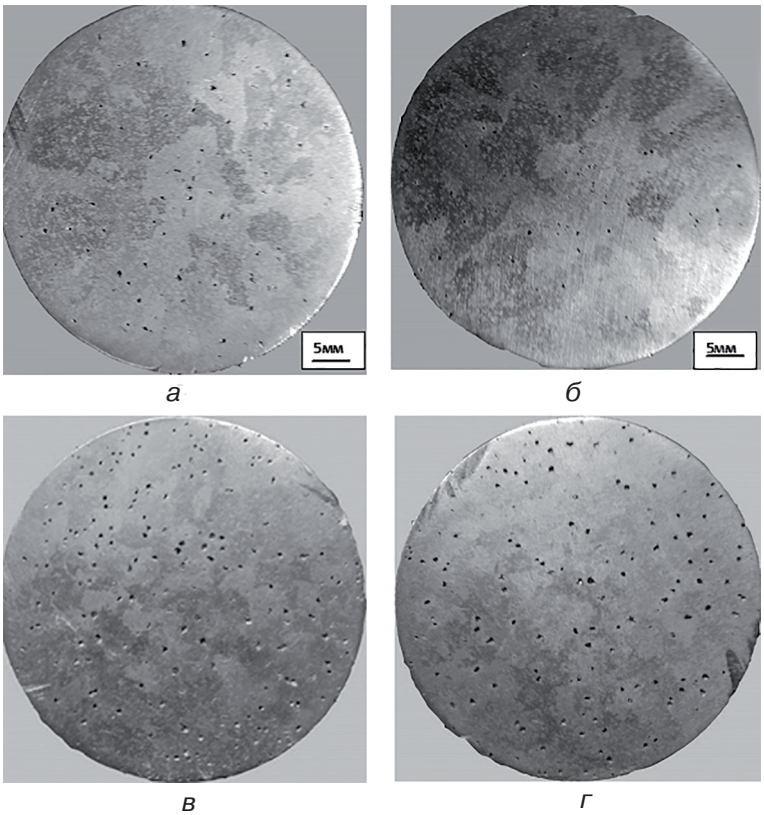


Рис. 5. Макрошліфи перерізів зразків, одержаних з розплаву марки АК5М2, Fe = 0,98 %: *а* – 700 ^{0}С, із вихідного сплаву; *б* – 650 ^{0}С, із вихідного сплаву; *в* – 700 ^{0}С, із обробленого сплаву; *г* – 650 ^{0}С, із обробленого сплаву

одержаного із вихідного сплаву, мають тонко диференційовану структуру у вигляді угрупувань – китайських ієрогліфів площиною 0,01–0,04 мм^2 (рис. 6).

Інтерметаліди на снові заліза сформовані із розплаву, обробленого ротором, в основному мають компактну морфологію з розміром окремих фаз 10–15 мкм, які більш-менш рівномірно розподілені по перерізу зразка (рис. 6, *г*). Глобулярізація α-твердого розчину алюмінію, компактна морфологія залізної фази суттєво впливають на фізико-механічні властивості, особливо на пластичність, яка збільшується в 3–5 рази, порівняно з вихідним зразком.

Компактна морфологія інтерметалідів на основі заліза сприяє ефективному (більш глибокому) очищенню розплаву від цих інтерметалідів.

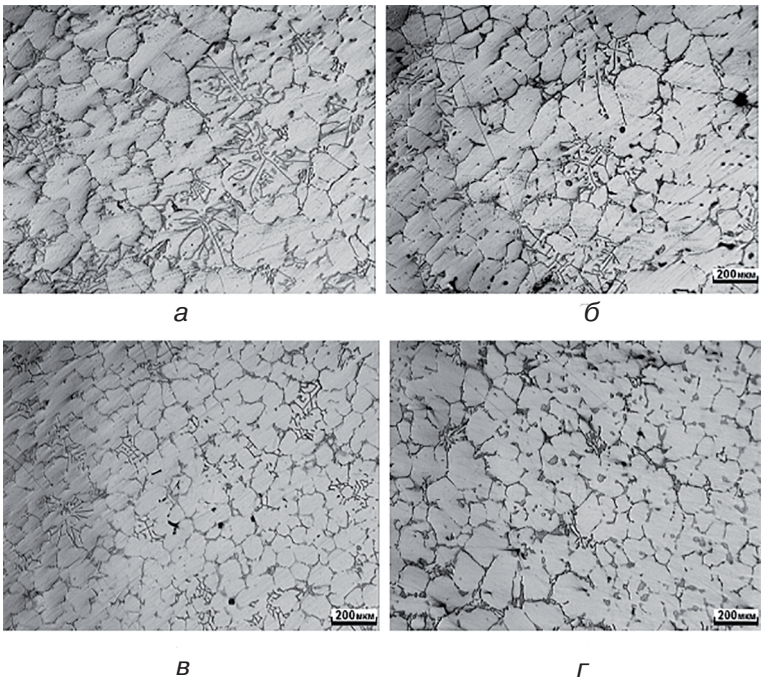
При низькому перегріванні розплаву спостерігається сфероідизація первинних кристалів α-твердого розчину алюмінію, що в 2–3 рази зменшує їх розмір, порівняно з дендритами.

При збільшенні температури розплаву до 650 ^{0}С ефективність обробки ротором знижується (рис. 6, *а, б*).

Обробка розплаву при більш високих температурах малоефективна. При температурах 800–850 ^{0}С формується тонко диференційований, розгалужений інтерметаліди α-$(FeMn)_3$ Si_2AL_{15}. В табл. 3, 4 наведено хімічний склад фаз зразків.

На основі порівняльного аналізу табличних даних хімічного складу фаз можна зробити висновок:

- фази зразків з вихідного сплаву мають менше елементів – домішок; так, в фазі α-алюмінію відсутні такі елементи як Fe, Mn, тобто вона менш легована і становить 98,84 % алюмінію;



а *б* *в* *г*

Рис. 6. Мікроструктура перерізів зразків із сплаву марки АК5М2, одержаних при різних температурах, Fe = 0,98 %: *а* – 650 ^{0}С, із вихідного сплаву; *б* – 650 ^{0}С, із обробленого сплаву; *в* – 630 ^{0}С, із вихідного сплаву; *г* – 630 ^{0}С, із обробленого сплаву

- залізовмісна фаза має заліза 22,01 % для вихідного сплаву і 24,05 % для обробленого ротором;

- мідьвмісна фаза має 32,43 і 14,63 % Cu відповідно для вихідного і обробленого ротором розплаву.

Найбільшу мікротвердість α-твердого розчину – 72,5; 70 N/мм^2 отримано в зразках, виготовлених із обробленого ротором розплаву при низьких температурах 630 і 650 ^{0}С відповідно.

Характер мікротвердості інтерметалідів на основі заліза подібний. Максимальне значення їх мікротвердості 530 і 480 N/ мм^2 одержано в зразках, виготовлених із розплаву АК5М2, обробленого ротором при низьких температурах 630 і 650 ^{0}С відповідно.

Механічні властивості литих зразків (∅10х100 мм), виготовлених литтям в кокіль залежно від температури лиття і роторної обробки наведено в табл. 5.

Аналіз результатів таблиці свідчить, що литі зразки, виготовлені із обробленого

Таблиця 3

Хімічний склад фаз зразка, виготовленого з вихідного сплаву АК5М2 при температурі 630 ^{0}С

Елемент	Вміст, с, %	Елемент	Вміст, с, %	Елемент	Вміст, с, %
а		б		в	
Mg	0,18	Mg	0,26	Mg	3,16
Al	98,84	Al	61,53	Al	57,54
Si	0,91	Si	8,13	Si	6,42
Cr	0,00	Cr	0,10	Cr	0,05
Mn	0,00	Mn	6,55	Mn	0,00
Fe	0,00	Fe	22,01	Fe	0,40
Cu	0,7	Cu	1,42	Cu	32,43

Таблиця 4

Хімічний склад фаз зразка, виготовленого з обробленого ротором сплаву АК5М2 при температурі 630 ^{0}С

Елемент	Вміст, с, %	Елемент	Вміст, с, %	Елемент	Вміст, с, %
а		б		в	
Mg	0,40	Mg	0,21	Mg	1,40
Al	98,04	Al	61,71	Al	68,73
Si	1,01	Si	7,12	Si	11,86
Cr	1,03	Cr	0,04	Cr	0,04
Mn	0,16	Mn	6,19	Mn	0,17
Fe	0,08	Fe	24,05	Fe	3,18
Cu	0,29	Cu	0,67	Cu	14,63

Таблиця 5

Механічні властивості литих зразків, виготовлених із обробленого ротором розплаву АК5М2

Марка сплаву	Температура лиття, ^{0}С	$\sigma_в$, МПа	δ, %
АК5М2	800	190	2,6
	750	164	2,8
	650	165	1,8
	630	160	2,4

ротором розплаву АК5М 2, мають підвищену пластичність (у 3–5 рази більшу, ніж вимоги держстандарту ДСТУ 2839-94 для виливків, одержаних литтям в кокіль).

Слід відзначити максимальний поріг міцності $\sigma_в$ = 190 МПа, одержаний із розробленого розплаву при температурі 800 ^{0} С.

Таким чином, роторна обробка розплавів в процесах рео-тиксолиття має ряд переваг порівняно з ординарнми сплавами:

- змінює процес кристалізації α-твердого розчину з дендритного на недендритний (глобулярний) при одночасному його модифікуванні;
- змінює морфологію інтерметалідів на основі заліза: замість розгалужених кристалів – компактні, розміром 10–15 мкм;
- підвищує фізико-механічні властивості виливків: міцність, пластичність у 3–5 разів;
- рафінує розплави від водню.

Список літератури

1. Головаченко В. П., Борисов Г. П., Дука В. М. Способ тиксолиття. Патент Украины № 5981, опубл. 10.03.09, Бюл. № 5.
2. Головаченко В. П., Хвостенко И. В., Вернидуб А. Г. Что дает роторная обработка алюминиевых расплавов в предкристаллизационной области температур. *Процессы литья*. № 3. 2013. С. 8–12.
3. Головаченко В. П., Борисов Г. П., Дука В. М., Баев С. А., Цир Т. Г. Опытно-промышленная проверка нового способа реолитья. *Процессы литья.* № 4. 2013. С. 38–30.
4. Головаченко В. П., Цир Т. Г., Дука В. М, Вернидуб А. Г., Исайчева Н. П. Преимущества литья частично затвердевших алюминиевых сплавов (реолитья). *Процессы литья*. № 3. 2019. С. 33–39.
5. Скребцов А. М. Температура разрушения кластеров металлического расплава академика В.И.Архарова или только потеря наследственных свойств шихты. Эффект А. М. Скребцова. *Процессы литья.* № 5. 2008. С. 9–15.6.
6. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливок. Часть II. Формирование микроскопического строения отливки. Москва. *Машиностроение*. 1979. 335 с
7. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. Москва. Металлургия. 1979. 640 с.
8. Пригунова А. Г., Белов Н. А., Таран Ю. Н. и др. Силумины. Атлас микроструктур и фракто грамм промышленных сплавов. М.: МИСИС, 1996. 175 с.

9. Stewart G.W.X-ray diffraction in water the nature of molecular association. Phys. Rew. 1931/-37, N 1. P.9–21.
10. Баум Б. А. Металлические жидкости. М.: Наука, 1979. 120 с.
11. Данилов В. И. Строение и кристаллизация жидкостей. М.: Высшая школа, 1971. 256 с.
12. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. Ленинград: Наука, 1975. 392 с.
13. Головаченко В. П., Исайчева Н. П., Вернидуб А. Г., Дука В. М., Цир Т. Г., Шеневидько Л. К. Экологически чистый способ финишного рафинирования алюминиевых сплавов. *Процессы лиття*. 2019. № 5. С. 11–16.

Надійшла 06.10.2020

References

1. Patent of Ukraine No. 85981, publ. 03/10/09, Bull. No. 5. Thixolt method. Golovachenko V. P., Borisov G. P., Duka V. M. [in Russian].
2. Golovachenko V. P., Khvostenko I. V., Vernidub A. G. (2013) What gives rotary processing of aluminum melts in the precrystallization temperature range. *Casting processes*, 3, pp. 8–12 [in Russian].
3. Golovachenko V. P., Borisov G. P., Duka V. M., Baev S. A., Tsir T. G. (2013) Experimental-industrial verification of a new method of casting. *Casting processes*, 4, pp. 38–30 [in Russian].
4. Golovachenko V. P., Cir T. G., Duka V. M., Vernidub A. G., Isaicheva N. P. (2019) The advantages of casting partially hardened aluminum alloys (re-casting). *Casting processes,* 3, pp. 33–39 [in Russian].
5. Skrebtsov A. M. (2008) The temperature of the destruction of clusters of metal melt academician V. I. Arkharova or only the loss of hereditary properties of the mixture. Effect A. M. Skrebtsova. *Casting processes*, 5, pp. 9–15 [in Russian].
6. Balandin G .F. (1979) Fundamentals of the theory of the formation of castings. Part II. The formation of the microscopic structure of the casting. Moscow: Engineering. 335 p. [in Russian].
7. Mondolfo L .F. (1979) The structure and properties of aluminum alloys. Moscow: Metallurgy. 640 p. [in Russian].
8. Prigunova A. G., Belov N. A., Taran YU. N. and other (1996) Siluminy. Atlas mikrostruktur i fraktogramm promyshlennykh splavov. M.: MISIS, 175 p. [in Russian].
9. Stewart G. W. X-ray diffraction in water the nature of molecular association. *Phys. Rew*. 1931/- 37, No 1, pp. 9–21.
10. Baum B. A. Metallic liquids. Moscow: Nauka, 1979, 120 p. [in Russian].
11. Danilov V. I. (1971) The structure and crystallization of liquids. Moscow: Higher school. 256 p. [in Russian].
12. Frenkel Ya. I. (1975) Kinetic theory of liquids. Leningrad: Nauka. 392 p. [in Russian].
13. Golovachenko V. P., Isaicheva N. P., Vernidub A. G., Duka V. M., Tsir T .G., Shenevidko L. K. (2019) Environmentally friendly method of finishing refining of aluminum alloys. *Casting processes*, 5, pp. 11–16 [in Russian].

Received 12.05.2020

V. P. Golovachenko, *Research, Scientist, e-mail: onmlptima@ukr.net*
L. K. Shenevidko, *Research, Scientist*
N. P. Isaicheva, *Chief Technologist,*
V. M. Duka, *Junior Researcher*
T. G. Tsir, *Junior Researcher*
A. G. Vernidub, *Chief Technologist*
Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

FEATURES OF ROTARY PROCESSING OF ALUMINUM MELTS IN THE LADLE IN THE RHEO-THIXOCASTING PROCESSES

Features of rotary processing of aluminum melts in a ladle for the implementation of modern casting processes of rheo-thixocasting are given. It is shown that in the system "rotor - ladle with melt" there are twointerconnected surfaces that generate crystallization centers - the rotor and the ladle. Using the rmophysical formulas it is shown that the main criterion for the formation

of crystallization centers is the supercooling of a melt in a precrystallization state. Features of the system are as follows: a rotor rotating undercools the layers of aluminum melt adjacent to it and stream direct them to the walls of the ladle, sweeping from them crystallization centers and microcrystals were formed and transport them into the volume of the melt. When rotor processing is carried out, microcrystals are set on the surface of the ladle, which, during the process of pouring the melt into the empty form in a turbulent regime, are then frozen into the volum. Thin films of aluminum oxide are constantly formed on the melt surface, its thickness depends on the exposure time and temperature. Rotary treatment of the melt in the active hydrodynamic upper zone of the ladle (h ~ 15–20 mm) routed aluminum oxide and submerged in the bulk melt, which can become the additional crystallization centers. Rotary processing of the melt in the upper active zone (h ~ 15–20 mm) agitates and destroys aluminum oxides in the melt volume, which can become additional crystallization centers. The freeze frame of the hydro-modeling of the rotary treatment process using gas-saturated (CO_2) water is given. The zone of uniform distribution of gas in the volume of the tank with water is fixed. Thus, a suspension with a solid phase is formed in the form of crystallization centers (microcrystals) of an α-solid solution of aluminum and iron intermetallics, which spontaneously formed above the liquidus line. It is shown that the rotary treatment of the melt in the pre-crystallization region of temperatures changes the process of crystallization of the galvanized intermetallics, and that the process of the crystallization of the intermetallic particles is reduced to the formation of some compact phases with a size of 10–15 microns to replace the dissolution. Spheroidization of α-solid size during rotary molding at temperatures close to liquidus is reduced to a change in grains, an increase in the plasticity of a grain in 3–5 times, as well as performance.

Keywords: *rotary machining, rheo-thixocasting, aluminum alloys, hydro modeling.*

До уваги авторів!

Статті, що надходять в редакцію, повинні мати анотації і ключові слова українською та англійською мовами. Об'єм статті - не більше 12 стор., малюнків - не більше 5.

Статті подаються як на папері, так і в електронному форматі. Для текстових матеріалів бажано використати формат doc. Для графічних матеріалів - jpeg. Графічні матеріали необхідно зберігати в окремих файлах. Фотографії, малюнки, графіки і креслення мають бути чорно-білими, чіткими і контрастними.