

Е. В. Середенко, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., e-mail: mgd@ptima.kiev.ua

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ЛИТОЙ СТРУКТУРЫ СПЛАВА НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ЕГО ЗАЛИВКЕ

Показано, что при заливке сплава алюминия Al–Cu–PЗМ в форму при условии $Re > 2300$ в потоке металла возникают микромасштабные возмущения, приводящие к перемешиванию его локальных объемов, имеющих разную температуру, вследствие неравномерного охлаждения потока. В условиях охлаждения отливки при $Fo = 5$ в структуре металла фиксируются неоднородности распределения включений металлических фаз. Зоны более охладившихся объемов, существовавших в потоке расплава, обогащены включениями, а менее – обеднены. Наложение на расплав при заливке постоянного магнитного поля ($Ha = 13,6$, $N = 0,04$, $Al = 3,8$) подавляет возмущения в потоке расплава, что способствует формированию однородной структуры отливки.

Ключевые слова: сплав алюминия, литая структура, микромасштабные возмущения, постоянное магнитное поле.

Показано, що при заливці сплаву алюмінію Al–Cu–PЗМ у форму при умові $Re > 2300$ в потоці металу виникають мікромасштабні збурення, що призводять до перемішування його локальних об'ємів, які мають різну температуру, внаслідок нерівномірного охолодження потоку. В умовах охолодження виливка при $Fo = 5$ в структурі металу фіксуються неоднорідності розподілу, включень металевих фаз. Зони більш охолоджених об'ємів, що існували в потоці розплаву, були збагачені включеннями, а менш охолоджених – збіднені. Накладення на розплав при його заливці постійного магнітного поля ($Ha = 13,6$, $N = 0,04$, $Al = 3,8$) пригнічує збурення в потоці розплаву, що сприяє формуванню однорідної структури виливка.

Ключові слова: сплав алюмінію, лита структура, мікромасштабні збурення, постійне магнітне поле.

It is shown, that when the aluminum Al–Cu–REM alloy is poured into the mold under the condition $Re > 2300$, microscale perturbations arise in the metal flow, leading to mixing of its local volumes having different temperatures due to uneven cooling of the flow. Under conditions of cooling of the casting at $Fo = 5$, the inhomogeneity of the distribution of inclusions of the metallic phases is fixed in the metal structure. Zones of more cooled volumes existed in the melt stream are enriched of inclusions, and less cooled depleted. The application of a constant magnetic field to the melt ($Ha = 13.6$, $N = 0.04$, $Al = 3.8$), suppresses the perturbations in the melt flow, which contributes to the formation of a uniform casting structure.

Keywords: aluminum alloy, cast structure, microscale perturbations, constant magnetic field.

Одним из показателей качества литой заготовки, в частности из сплавов алюминия, является однородность ее макро- и микроструктуры. Важным этапом формирования литой структуры выступает процесс течения расплава в полости формы во время заливки. В движущемся потоке наблюдается неоднородность скорости, температуры и вещества [1]. Различие в температуре обуславливает отличие физических свойств отдельных объемов в движущемся металле. В случае неодинаковой скорости движения объемов с разными физическими характеристиками вдоль их зоны соприкосновения в ней могут развиваться возмущения [2], что приводит к перемешиванию объемов в потоке. В турбулентной среде мелкомасштабными вихрями переносятся взвешенные в потоке частицы и осуществляется перемешивание жидкостей. Воздействие вихревого течения рас-

плава во время заполнения формы на структуру сплавов алюминия изучено с точки зрения образования неметаллических включений вследствие захвата потоком металла воздуха, оксидной пленки и шлака [3]. Менее изучен аспект взаимосвязи движения потока расплава, несущего неоднородно охлаждающиеся и перемешивающиеся объемы с характером распределения металлических фаз, образованных компонентами сплава.

Алюминий и его литейные сплавы весьма чувствительны к плавности течения расплава из-за окисления его поверхности, поэтому заполнение форм предпочтительно в ламинарном режиме, а для уменьшения завихрений в расплаве применяются специальные конструкции литниковых систем с целью снижения скорости его течения [3]. Однако заполнение форм для мелкого литья и отливок с тонкими стенками необходимо осуществлять с высокими скоростями (до 3 кг/с) [4]. В условиях быстрого течения расплава, при отбегании препятствий, резком изменении размеров сечения полости формы в потоке неизбежно происходит образование вихрей и перемешивание его отдельных объемов, имеющих различную температуру. Мерой интенсивности перемешивания является сообщенная расплаву удельная мощность, определяемая кинетической энергией заливаемого металла. Удельная мощность перемешивания и вязкость определяют масштаб вихрей, возникающих в жидкости [5]. При рассмотрении процесса получения эмульсии методом перемешивания объемов двух жидких металлов с одинаковой температурой, находящихся в концентрационной зоне несмешивания, в работе [6] было показано, что преимущественно объемы более вязкой фазы проникают в менее вязкую и при определенных условиях образуют удлиненные участки и циркуляционные контуры. Также при разливке расплавов более вязкими являются объемы, охладившиеся в большей мере.

Для коррекции скоростных характеристик расплава при литье заготовок в настоящее время применяются различные внешние методы воздействия, в том числе постоянное магнитное поле [7]. В технологии непрерывного литья заготовок оно применяется для воздействия на крупномасштабные потоки – торможение истекающей струи металла, что основано на эффекте Гартмана, а также уменьшения колебаний мениска расплава в кристаллизаторе (эффект подавления трехмерной турбулентности) [8]. При охлаждении и затвердевании расплава магнитное поле действует на мелкомасштабные неоднородности – растущие кристаллы за счет эффекта Зеебека [9].

В процессе полунепрерывного литья заготовок на установке в постоянном магнитном поле из алюминиевого сплава АЛ4 эвтектика равномерно распределялась тонкой сеткой в α -твердом растворе алюминия, что связывалось с влиянием поля на турбулентность расплава, приводившего к повышению структурной и химической однородности [10]. При этом не было дано количественной оценки характера течения расплава, особенностей поведения неравномерно охлаждающихся объемов в потоке и масштабов турбулентных возмущений, на которые влияло постоянное магнитное поле. В работе [11] отмечено, что наложение постоянного магнитного поля на расплав при заливке металла в полость литейной формы приводило к перераспределению кинетической энергии струи и более однородному перемешиванию объема жидкого сплава в форме. В результате происходило измельчение фаз в структуре металла.

Целью данной работы было установление влияния постоянного магнитного поля при заполнении литейной формы на расплав, несущий неоднородно охлаждающиеся и перемешивающиеся локальные объемы, на литую структуру сплава алюминия.

Исследования проводились на сплаве алюминия с медью с добавкой редкоземельных металлов (РЗМ), используемых для повышения свойств алюминиевых сплавов [12]. Состав сплава Al–Cu–РЗМ (в %мас.): Cu – 3,7; РЗМ – 13,0.

Сплав для отливок готовился в лабораторной печи электросопротивления в алундовом тигле из алюминия марки А9, меди М1 и РЗМ в виде мишметалла. Термовременная обработка расплава проводилась при температуре 820 °С в течение

10 мин. Полученный металл с указанной температурой заливался в окрашенный чугунный кокиль. Отливки представляли собой стержни с утолщениями на концах, снабженные литниковой чашей и прибылью. Отливка в форме располагалась горизонтально. Длина отливки составляла 0,12 м. Утолщенные части стержня имели длину 0,015, диаметр – 0,014 м. Диаметр средней части стержня был 0,01 м. Заливка расплава производилась из тигля с высоты ~ 0,10 м через прибыль струей диаметром 0,005–0,003 м. Поток расплава при касании дна формы менял направление с вертикального на горизонтальное и последовательно проходил сужение и расширение литейной полости, вследствие чего в нем генерировались возмущения. Скорость струи расплава при касании дна формы определялась по формуле Торричелли, скорость его течения в полости формы – по уравнению Бернулли [3].

Режим движения расплава при заполнении формы характеризовался числом Рейнольдса (Re) [8]. Размер вихрей (d , м), возникавших в расплаве, определялся по формуле Колмогорова [5]: $d = (v^3 / E)^{1/4}$, где v – кинематическая вязкость расплава, m^2/c ; $E = E_k / (\tau \cdot m)$ – удельная мощность перемешивания, Вт/кг; E_k – кинетическая энергия, полученная расплавом при его заливке, Дж; τ – время перемешивания расплава, с; m – масса перемешиваемого расплава, кг. Время перемешивания расплава было принято равным времени заполнения полости формы, определенному расчетным путем. Согласно подходу, разработанному для случая перемешивания жидкостей с ограниченной взаимной растворимостью, вследствие влияния вязкости подавление развития возмущения на межфазной поверхности между их объемами происходит, если выполняется условие [14]: $L_p = (\lambda \cdot \rho \cdot \sigma) / \eta^2 \gg 1$, где L_p – число Лапласа, λ – длина волны возмущения на межфазной поверхности объемов, м; ρ – плотность, kg/m^3 ; σ – межфазное натяжение, Н/м; η – динамическая вязкость, Па·с. Для расплава алюминия в результате оценки величины σ в зоне соприкосновения его локальных объемов, отличающихся температурой в $1^\circ C$, проведенной с помощью правила Антонова [15], определено, что оно имеет порядок $1 \cdot 10^{-4}$ Н/м, а различие η данных объемов составляет порядка $1 \cdot 10^{-9}$ Па·с.

Для осуществления воздействия постоянного магнитного поля во время заливки и охлаждения сплава алюминия литейная форма была помещена в зазор электромагнита. Силовые линии магнитного поля были направлены перпендикулярно оси стержневой полости формы. В контрольных экспериментах электромагнит был отключен. Режим заливки расплава в поле описывался числами Гартмана (Ha), параметром МГД-взаимодействия (N) и Альфвена (Al). Их расчет выполнялся по методике, использовавшейся в работе [16]. Согласно [8], при условии соотношения чисел $Ha/Re \geq 4 \cdot 10^{-3}$ в потоке жидкости происходит подавление турбулентности. В диапазоне от $8 \cdot 10^{-3}$ до $15 \cdot 10^{-3}$ существенно возрастает интенсивность подавления турбулентности. В результате теплообмен в расплаве замедляется. С целью обеспечения влияния магнитного поля на характер течения расплава без значительного снижения интенсивности теплоотвода от охлаждающегося металла величина индукции магнитного поля (B) была выбрана, исходя из условия $4 \cdot 10^{-3} \leq Ha/Re \leq 8 \cdot 10^{-3}$. Поэтому соотношение Ha/Re в экспериментах было принято на уровне $6 \cdot 10^{-3}$.

Скорость охлаждения сплавов алюминия рассчитывалась на основе данных работы [17]. Этап охлаждения расплава характеризовался числом Фурье (Fo) [16]. Значения физических свойств компонентов сплавов для расчетов были взяты из источников [18, 19].

Литые образцы исследовались в поперечных сечениях после шлифования, полирования и травления в растворе плавиковой кислоты с помощью микроскопа для металлографических исследований METAM-P1.

Заполнение средней части стержневой полости формы жидким сплавом происходило при $Re = 2310$. Время перемешивания расплава составило 0,5 с, удельная мощность перемешивания – 0,06 Вт/кг. Диаметр вихрей, возникших в потоке согласно расчету по формуле Колмогорова, равнялся 40 мкм. Длина волны возмущения, ограниченного вязкостью, составляла по расчету 72 мкм, что указывало на возмож-

Кристаллизация и структурообразование сплавов

ность существования в потоке вихрей диаметром > 36 мкм. Скорость охлаждения отливки была $48,5^{\circ}\text{C}/\text{с}$ ($Fo = 5$). При данных условиях охлаждения в литой структуре были зафиксированы неоднородности литой структуры, созданные скоплениями включений эвтектики.

В зоне поверхности отливки, имевшей толщину $0,0015$ м, наблюдались неоднородности в структуре металла в виде участков как обедненных, так и обогащенных включениями эвтектики (рис. 1). Центральная зона отливки имела неоднородности, характерные для выше указанной области, и дополнительно участки с четкими вихревыми образованиями, сопряженными с удлинёнными скоплениями включений эвтектики. Диаметр вихрей и ширина удлинённых участков соответствовала 40 мкм (рис. 2). В поверхностной зоне отливки, в отличие от ее центральной части, четких вихревых образований не наблюдалось. Это обусловлено сносом вихрей в центральную часть потока вследствие разности скорости. В местах, обогащенных эвтектикой, присутствовали сотни ее включений, имевших преимущественную ориентировку. Расстояние между ними было $1,5 \pm 0,23$ мкм, что характерно для обеих зон.

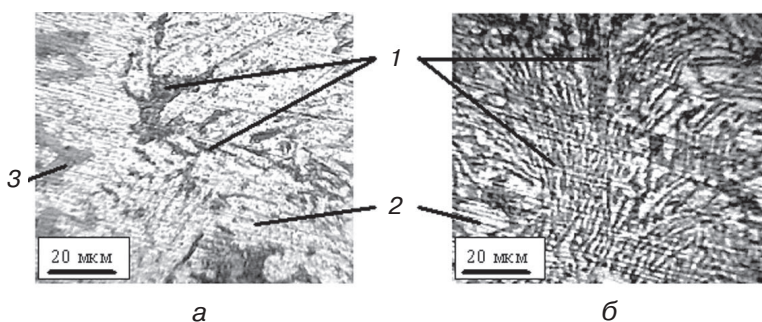


Рис. 1. Структура сплава Al–Cu–P3M в зоне поверхности отливки: а – участок, обедненный эвтектикой; б – участок скопления эвтектических включений; 1 – включения эвтектики; 2 – α -твердый раствор алюминия; 3 – кристаллы фазы на основе Al–P3M

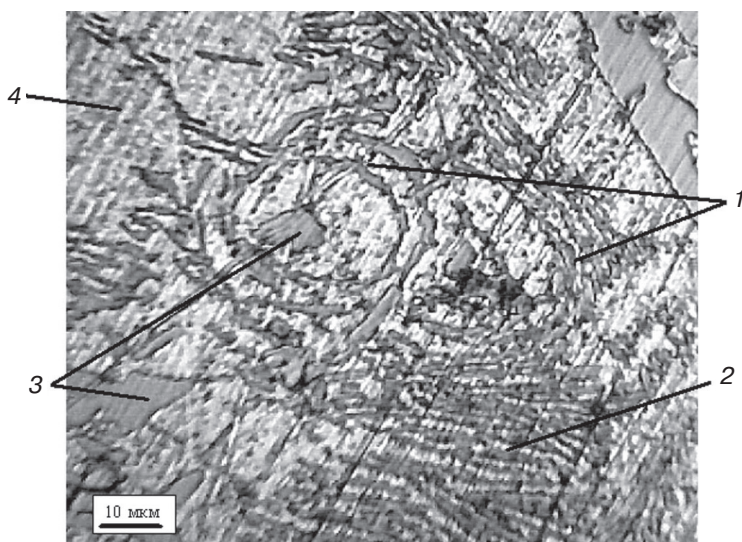


Рис. 2. Структура сплава Al–Cu–P3M: 1 – вихревые образования расположения эвтектических включений; 2 – удлинённый участок скопления включений эвтектики; 3 – кристаллы фазы на основе Al–P3M; 4 – α -твердый раствор алюминия

Наложение постоянного магнитного поля на расплав при его заливке и затвердевании ($Ha = 13,6$, $N = 0,04$, $Al = 3,8$) привело к увеличению однородности литой структуры сплава. По сравнению с контрольным металлом, скопления включений были рассеянными, без четких очертаний. Включения в скоплениях не имели определенной общей ориентации в вытянутых и циркуляционных контурах, а образовывали блоки размерами 10–40 мкм, содержавшие от трех до десятка включений. Различие между расположением металлических фаз в структурах зон у поверхности и в центре отливки было незначительно и состояло в том, что расстояние между включениями в скоплениях было у поверхности и в центре отливки соответственно в 1,5 и 1,25 раза больше, чем в контрольном металле (рис. 3 и рис. 1, 2).

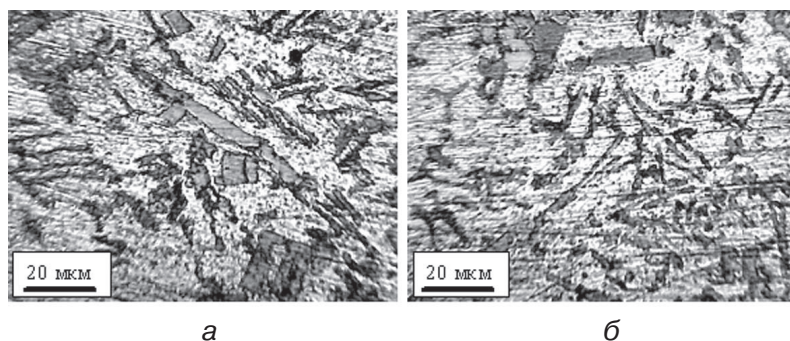


Рис. 3. Структура сплава Al–Cu–P3M, полученная при заливке расплава в постоянном магнитном поле: а – у поверхности отливки; б – в центре отливки

Данные проявления действия магнитного поля на структуру сплава, вероятно, связано с тем, что согласно эффекту Гартмана поле сильнее оказывает тормозящее действие на объемы, обладающие большей скоростью, то есть на более горячие, чем на более медленные холодные, и это способствовало выравниванию скоростей отдельных объемов внутри потока расплава. В результате снижалась скорость движения локальных объемов с разной температурой относительно друг друга, и затруднялось развитие возмущения в зоне их соприкосновения. Эффект гашения трехмерной турбулентности жидкости в магнитном поле проявлялся тем более выражено, чем больше было различие в температурах отдельных объемов. Чем холоднее объем, тем выше его магнитная восприимчивость. Согласно данным работы [20], относительная магнитная восприимчивость расплава Al–2 % ат. Се (Al–13 %мас. Се) увеличивается на 20 % при уменьшении температуры от 820 до 650 °С. Вероятно, этим также обусловлено отсутствие выраженных зон в структуре отливки, обработанной постоянным магнитным полем.

Таким образом, показано, что в структуре отливки могут образовываться зоны с неоднородным распределением фаз, связанные с перемешиванием объемов с разной температурой в потоке расплава при его заливке. Масштаб этих неоднородностей соответствует размеру возмущений в перемешивающемся расплаве. Постоянное магнитное поле устраняет образование подобных зон в отливке, обусловленных различием скоростей охлаждения металла и неоднородности в структуре, вызванные перемешиванием металла при заливке.

Перспектива дальнейших исследований заключается в исследовании влияния постоянного магнитного поля на структуру отливок при условии $Ha/Re \leq 4 \cdot 10^{-3}$.



Список литературы

1. *Повх И. Л.* Техническая гидромеханика.: Л. – Машиностроение, 1969. – 524 с.
2. *Биркгоф Г.* Гидродинамика. – М.: Иностранная литература, 1963. – 244 с.
3. *Vukota B.* Metal Shaping Processes: Casting and Modeling. Particulates Processing Deformation Processes. Metal Removal.: New York. – Industrial Press Inc, 2010. – 431 p.
4. Производство отливок из сплавов цветных металлов: Учебник для вузов / А.В. Курдюмов, М. В. Пикунов, В. М. Чурсин, Е. Л. Бибииков. – М.: Металлургия, 1986. – 416 с.
5. *Колмогоров А. Н.* Уравнения турбулентного движения несжимаемой жидкости // Изв. АН СССР. Серия физическая. – 1942. – Т. 6. – № 1–2. – С. 56–58.
6. *Дубоделов В. И., Середенко В. А., Середенко Е. В., Паренюк А. А.* Влияние движения расплава на диспергирование добавки в объеме металла на начальном этапе сплавления компонентов монотектической системы // Процессы литья. – 2015. – № 4. – С. 47–55.
7. *Ефимов В. А.* Влияние внешних воздействий на процессы формирования отливок // Специальные способы литья : Справочник / Под ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – С.10–52.
8. *Гельфгат Ю. М., Лиелаусис О. А., Щербинин Э. В.* Жидкий металл под действием электромагнитных сил. – Рига: Зинатне, 1975. – 248 с.
9. *Li Xi, Ren Z., Gagnoud A., Budenkova O., Bojarevics A., Fau-trelle Y.* Thermo-electric motions and structures generated by static magnetic fields during the solidification of metallic alloys // Journal of Iron and Steel Research International. – 2012. – Vol. 19. – suppl. 1. – № 1. – pp. 9–18.
10. *Живодеров В. М., Ананченко Т. О.* Повышение структурной и химической однородности сплава АЛ 4 // Литейное производство. – 1986. – № 5. – С. 7–11.
11. *Дубоделов В. И., Середенко В. А., Косинская А. В., Середенко Е. В., Богатырева Ж. Д.* Структура и микротвердость Al–Mn сплавов в области эвтектического и перитектического превращений, залитых в кокиль при наложении постоянного магнитного поля // Процессы литья. – 2014. – № 2. – С. 50–57.
12. *Guo J. Q., Kita K., Kazama N. S., Nagahora J., Ontera K.* Mechanical properties, microstructure and crystal structures of Al-3xCu2xFexCexZr (x = 1 – 3 at.%) alloys extruded from their atomized powders // Mater. Sci. Eng. A – Struct. Mater. – 1995. – vol. 203. – № 1. – pp. 420–426.
13. *Дытнерский Ю. И.* Процессы и аппараты химической технологии. Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. – М.: Химия, 2002. – 400 с.
14. *Кутателадзе С. С.* Анализ подобия и физические модели. – Новосибирск: Наука, 1986. – 295 с.
15. *Пацкевич И. Р., Рябов В. Р., Деев Г. Ф.* Поверхностные явления при сварке металлов / Отв. Ред. Д. М. Рабкин. – К.: Наук. думка, 1991. – 240 с.
16. *Середенко Е. В., Дубоделов В. И., Хоружий В. Я.* Модифицирование постоянным магнитным полем литой структуры многокомпонентного сплава на базе системы Al–Cu–Ce при заливке, охлаждении и затвердевании // Процессы литья. – 2014. – № 4. – С. 23–32.
17. *Сосненко М. Н.* Современные литейные формы. – М.: Машиностроение, 1967. – 234 с.
18. *Смитлз К. Дж.* Металлы: Пер. с нем. – М.: Metallurgizdat. 1980. – 446 с.
19. *Леенсон И.* Химические элементы. Путеводитель по периодической таблице. – М.: АСТ, 2016. – 167 с.
20. *Быков В. А.* Магнитная восприимчивость разбавленных сплавов Al–Ce, Al–Dy, Al–Yb при высоких температурах: Автореф. канд. физ.-мат. наук: 01. 04. 07. – Екатеринбург, 2007. – 20 с.



References

1. Povkh, I. L. (1969) *Tekhnicheskaya gidromekhanika [Technical hydromechanics]*. L.: Mashinostroenie, 524 s. [in Russian].
2. Birkhof, G. (1963) *Gidrodinamika [Hydrodynamics]*. Moscow: Inostrannaya literatura, 244 s. [in Russian].
3. Vukota, B. (2010) *Metal Shaping Processes: Casting and Modeling. Particulates Processing Deformation Processes. Metal Removal.*: New York. Industrial Press Inc, 2010, 431 p. [in English].
4. Kurdyumov, A. V., Pikunov, M. V., Chursin, V. M., Bibikov, Ye. L. (eds) (1986) *Proizvodstvo otlivok iz splavov tsvetnykh metallov: Uchebnik dlya vuzov [Production of castings from non-ferrous alloys: Textbook for high schools]*. Moscow: Metallurgiya, 416 s. [in Russian].
5. Kolmogorov, A. N. (1942) *Uraveneniya turbulentnogo dvizheniya neszhimaemoy zhidkosti [Equations of turbulent motion of an incompressible fluid]*. Izv. AN SSSR. Seriya fizicheskaya, T. 6, no. 1–2, pp. 56–58. [in Russian].
6. Dubodelov, V. I., Seredenko, Ye. V., Parenjuk, A. A. (2015) *Vliyanie dvizheniya raspplava na dispergirovanie dobavki v obeme metalla na nachalnom etape splavlenniya komponentov monotekhticheskoy sistemy [Effect of melt movement on the dispersion of the additive in the bulk of the metal at the initial stage of fusing the components of the monotectic system]*. *Protsessy litya*, no. 4, pp. 47–55. [in Russian].
7. Yefimov, V. A. (1991) *Vliyanie vneshnikh vozdeystviy na protsessy formirovaniya otlivok [The influence of external influences on the formation of castings]*. *Spetsialnye sposoby litya: Spravochnik*. Moscow: Mashinostroenie, pp. 10–52. [in Russian].
8. Gelfgat, Yu. M., Lielausis, O. A., Shcherbinin, E. V. (1975) *Zhidkiy metall pod deystviem elektromagnitnykh sil [Liquid metal under the influence of electromagnetic forces]*. Riga: Zinatne, 248 s. [in Russian].
9. Li, Xi, Ren, Z., Gagnoud, A., Budenkova, O., Bojarevics, A., Fautrelle, Y. (2012) *Thermo-electric motions and structures generated by static magnetic fields during the solidification of metallic alloys // Journal of Iron and Steel Research International*. Vol. 19, suppl. 1, no. 1, pp. 9–18 [in English].
10. Zhivoderov, V. M., Ananchenko, T. O. (1986) *Povyshenie strukturnoy i khimicheskoy odnorodnosti splava AL 4 [Increase of structural and chemical homogeneity of the alloy AL 4]*. *Liteynoe proizvodstvo*, no. 5, pp. 7–11 [in English].
11. Dubodelov, V. I., Seredenko, V. A., Kosinskaya, A. V., Seredenko, Ye. V., Bogatyreva, Zh. D. (2014) *Struktura i mikrotverdost Al–Mn splavov v oblasti evtekticheskogo i peritekticheskogo prevrashcheniy, zalitnykh v kokil pri nalozhenii postoyannogo magnitnogo polya [The structure and microhardness of Al–Mn alloys in the region of eutectic and peritectic transformations filled into a mold when a constant magnetic field is applied]*. *Protsessy litya*, no. 2, pp. 50–57 [in Russian].
12. Guo, J. Q., Kita, K., Kazama, N. S., Nagahora, J., Ontera, K. (1995) *Mechanical properties, microstructure and crystal structures of Al-3xCu2xFexCexZr (x = 1–3 at.%) alloys extruded from their atomized powders*. *Mater. Sci. Eng. A – Struct. Mater.*, Vol. 203, no. 1, pp. 420–426 [in English].
13. Dytnerskiy, Yu. I. (2002) *Protsessy i apparaty khimicheskoy tekhnologii. Teoreticheskie osnovy protsessov khimicheskoy tekhnologii. Gidromekhanicheskie i teplovye protsessy i apparaty [Processes and apparatus of chemical technology. Theoretical bases of processes of chemical technology. Hydromechanical and thermal processes and apparatus]*. Moscow: Khimiya, Ch. 1, 400 s. [in Russian].
14. Kutateladze, S. S. (1986) *Analiz podobiya i fizicheskie modeli [Similarity analysis and physical models]*. Novosibirsk: Nauka, 295 s. [in Russian].
15. Patskevich, I. R., Ryabov, V. R., Deev, G. F. (1991) *Poverkhnostnye yavleniya pri svarke metallov [Surface phenomena in the welding of metals]*. K.: Nauk. dumka, 240 s. [in Russian].
16. Seredenko, Ye. V., Dubodelov, V. I., Khoruzhiy, V. Ya. (2014) *Modifitsirovanie postoyannym magnitnym polem lityo struktury mnogokomponentnogo splava na baze sistemy Al–Cu–Se*

pri zalivke, okhlazhdenii i zatverdevanii [*Modification of the cast structure of a multicomponent alloy based on the Al-Cu-Ce system with a permanent magnetic field during pouring, cooling and solidification*]. *Protsessy litya*, no. 4, pp. 23–32. [in Russian].

17. Sosnenko, M. N. (1967) *Sovremennye liteynye formy [Modern molds]*. Moscow: Mashinostroenie, 234 s. [in Russian].
18. Smiltz, K. Dzh. (1980) *Metally [Metals]*. Per. s nem. Moscow: Metallurgizdat, 446 s. [in Russian].
19. Leenson, I. (2016) *Khimicheskie elementy. Putevoditel po periodicheskoj tablitse [Chemical elements. Guide to the periodic table]*. M.: AST, 167 s. [in Russian].
20. Bykov, V. A. (2007) *Magnitnaya vospriimchivost razbavlennykh splavov Al-Ce, Al-Dy, Al-Yb pri vysokikh temperaturakh [Magnetic susceptibility of dilute Al-Ce, Al-Dy, Al-Yb alloys at high temperatures]*. Extended abstract of candidate's thesis: 01. 04. 07. Yekaterinburg, 20 s. [in Russian].

Поступила 23.01.2018

ПРОЦЕССЫ ЛИТЬЯ

**Ведущий украинский научно-технический
журнал по литейному производству
и металлургии**



Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины с 1992 г. издает (6 раз в год) научно-технический журнал “Процессы литья” на русском языке. Журнал пользуется широкой популярностью среди научных и инженерно-технических работников металлургической и машиностроительной промышленности, литейного производства, а также работников вузов и научно-исследовательских институтов. Он получил широкое распространение в Украине и за рубежом.

В журнале публикуются научно-технические статьи, рекламные материалы и коммерческие сообщения.

Признавая ведущую роль в науке фундаментальных исследований, в журнале представлены следующие научные направления:

- Гидродинамика процессов литья
- Теплофизика затвердевания сплавов
- Массоперенос, кристаллизация и структурообразование сплавов
- Внешние воздействия на жидкий и кристаллизующийся металл
- Металло- и материаловедение
- Новые прогрессивные технологии литья
- Получение и подготовка расплавов к разливке
- Проблемы технологии формы
- Специальные способы литья
- Коммерческие сообщения

В редакцию подается статья, распечатанная на любом принтере, а также на электронных носителях с материалом для опубликования. Срок выхода статьи с момента поступления в редакцию журнала - 3 месяца.

Для публикации в журнале рекламно-информационных материалов необходимо направить в редакцию журнала гарантийное письмо, в котором следует указать желаемый формат и место их размещения с приложением текста и иллюстративных материалов (фото, рисунки и др.).

Подписаться на журнал Вы можете через редакцию журнала (стоимость журнала - 65 грн.). Для этого необходимо направить письмо-запрос или факс в адрес редакции для оформления счета-фактуры. Вы также можете приобрести электронную версию журнала.

АДРЕС РЕДАКЦИИ: Украина, 03142, Киев-142, буль. Вернадского 34/1,
тел.: (044) 424-04-10; факс: (044) 424-12-10; E-mail: metal@ptima.kiev.ua;
proclit@ptima.kiev.ua
