

УДК 669.715:62-405

В. П. Головаченко, науч. сотр., e-mail: onmlptima@ukr.net

Т. Г. Цир, мл.науч. сотр.

В. М. Дука, мл.науч. сотр.

А. Г. Вернидуб, гл.технолог

Н. П. Исайчева, гл.технолог

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПРЕИМУЩЕСТВА ЛИТЬЯ ЧАСТИЧНО ЗАТВЕРДЕВШИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ (РЕОЛИТЬЕ)

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработан и успешно испытан новый дешевый совмещенный способ рео-тиксолитья, суть которого заключается в создании ротором дополнительного множества центров кристаллизации в предкристаллизационной области температур. Вращающийся вибрирующий ротор перемещает переохлажденные слои расплава внутрь его объема и тем самым за счет вибрации и струйного течения расплава создаются различные скорости движения в системе расплав-зародыш, очищающие поверхность зародышей кристаллов от водорода, неметаллических включений, что подавляет преимущественный рост кристаллов в том или ином направлении и формирует глобулы. Новый способ литья прост в осуществлении, гарантирует получение суспензии с заданным содержанием твердой фазы. Приведены термограммы процесса рео-тиксолитья, микроструктура отливок, а также слитков, полученных в камере прессования машины ЛПД. Установлен ряд особенных свойств металлической суспензии: она обладает сверхтекучестью благодаря жидкой фазе, обволакивающей глобулы α -твердого раствора; глобулы твердой фазы практически не смыкаются между собой и не образуют сплошного каркаса, ответственного за горячеломкость, что позволяет лить высокопрочные как литейные, так и деформируемые алюминиевые сплавы; за счет меньшей усадки использование суспензии приводит к повышенной точности отливок (за счет уменьшения уклонов); суспензия в процессе литья подвергается уплотнению за счет допрессовки; использование суспензии повышает герметичность отливок и их пластичность (приблизительно в 3 раза); за счет снижения температуры литья достигается экономия электроэнергии (~ 15–20 %) при одновременном повышении ресурса работы пресс-форм на ~ 15–20 %. Таким образом, новый совмещенный процесс рео-тиксолитья обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с традиционным ЛПД.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, рео-тиксолитье, преимущества, суспензия, термограмма, микроструктура.

В развитых странах объем фасонных алюминиевых отливок, получаемых литьем под давлением (ЛПД), составляет от 60 до 70 % от всего объема алюминиевого литья.

Ввиду экстремальных гидродинамических, газодинамических, тепловых условий формирования отливок ($V_{\text{выпуска}} = 25\text{--}100$ м/с) в последних формируются отдельные либо групповые газовые раковины, нарушающие сплошность литого металла, его герметичность, потребительские свойства. Брак отливок по газовым раковинам может достигать 20–30 %.

С целью получения качественных отливок, получаемых ЛПД, были разработаны новые прогрессивные способы литья: рео- и тиксолитье, использующие частично затвердевшие алюминиевые сплавы (суспензию).

Процесс реолитья предусматривает использование суспензии, содержащей 15–40 % глобулярной твердой фазы α -твердого раствора алюминия, тиксолитья – 40–90 %. Считается, что физико-механические характеристики отливок, полученных по технологии тиксолитья, несколько выше.

Первые результаты по возможности использования частично затвердевшего алюминиевого сплава АК10В в условиях ЛПД были получены Зуевым А. Г. [1, 2].

Новая технология включала чугунный тигель с алюминиевым расплавом, состоящим из 80 % конгломерата дендритов α -твердого раствора, размер которых составлял 5–15 мм, и жидкой эвтектической составляющей.

Рабочий посредством стальной лопатки отрывал мерную порцию конгломерата, путем наклона лопатки удалял избыток жидкой фазы, остаток помещал в камеру прессования вертикальной машины ЛПД, где осуществлялось импульсное прессование. В процессе заполнения пресс-формы под действием импульса силы при прохождении дендритного образования через разнотолщинные сечения происходит частичная ломка дендритов.

Технология литья частично затвердевших алюминиевых расплавов была внедрена на Минском моторном, велосипедном и ряде других заводов.

Пневмоплотность отливок была выше ординарного способа литья, использующего жидкий металл. Поверхностная корочка, сформированная из частично затвердевшего расплава, обладала меньшей дефектностью (неспаи и т. п.).

Большая заслуга Флемингса М. и его группы [3] заключается в том, что он измельчил твердую составляющую суспензии путем разрушения дендритов в двухфазной области температур непосредственно в мерной емкости, что сказалось на качестве суспензии, ее реологических свойствах.

В последнее время используют металлическую суспензию с глобулярной морфологией α -фазы алюминия.

Приоритет тиксолитья принадлежит американской школе литейщиков. В этом случае в камеру прессования загружают цельную, предварительно нагретую до псевдотвердого состояния заготовку с 70–90 % твердой глобулярной фазы α -твердого раствора.

Полученные отливки имели высокую плотность и изотропность свойств. В этом случае в литейном цехе отсутствуют печи с жидким металлом. Однако в процессе рециклинга тиксотропные свойства металла исчезают. Таким образом, классический способ тиксолитья оказался энергоемким и дорогим.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработан и успешно испытан на трех предприятиях Украины новый дешевый совмещенный способ рео-тиксолитья [4, 5, 6], суть которого заключается в создании ротором дополнительного множества центров кристаллизации в предкристаллизационной области температур, что является основой формирования недендритной (глобулярной) морфологии α -твердого раствора алюминия. В этих условиях количество центров кристаллизации N будет зависеть от переохлаждения расплава ΔT , контактирующей с ним поверхности S ротора, числа его оборотов n , времени обработки τ , то есть $N = f(\Delta T, S, n, \tau)$. Вращающийся вибрирующий ротор перемещает переохлажденные слои расплава внутрь его объема и тем самым за счет вибрации и струйного течения расплава создаются различные скорости движения в системе расплав – зародыш, что очищает поверхность зародышей кристаллов от примесей

(водорода, неметаллических включений и т. п.), подавляет преимущественный рост их в том или ином направлении. При этом замедляются тепломассообменные процессы, поскольку добавленное множество центров кристаллизации испытывает дефицит питания. По мнению Добаткина В. И., энергия формирования глобулей меньше энергии формирования дендритов.

Новый способ надежно гарантирует получение суспензий с заданным содержанием твердой фазы для осуществления процессов рео-тиксотитья на горизонтальных либо вертикальных машинах ЛПД.

В зависимости от массы заливаемого расплава и его температуры заливки T_3 время приготовления суспензии может составлять 6–8 с (рис. 1).

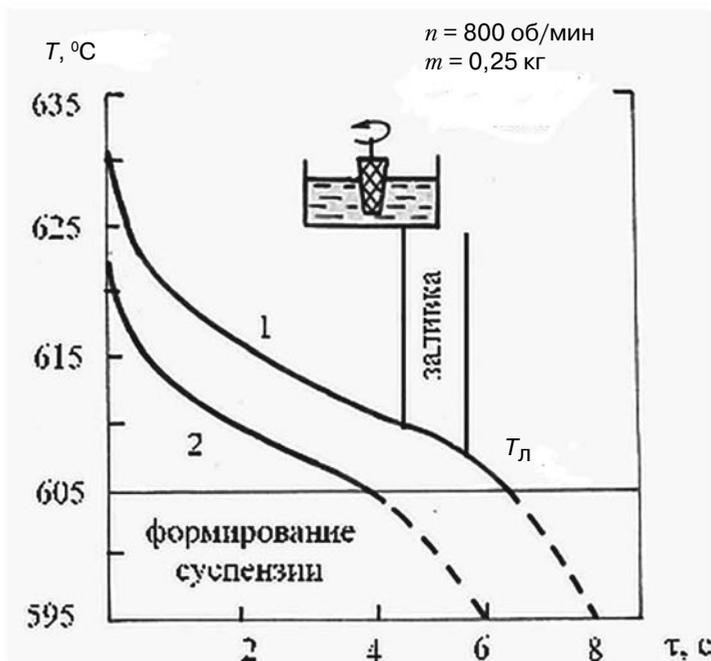


Рис. 1. Термограмма нового способа реолитья: 1 – начальная температура расплава в ковше $630\text{ }^\circ\text{C}$, $T_3 = T_L + 5\text{ }^\circ\text{C}$; 2 – начальная температура расплава в ковше $622\text{ }^\circ\text{C}$, $T_3 = T_L$

Структура алюминиевых слитков, изготовленных из исходного сплава АК7 в полости камеры прессования без наложения давления, является типично дендритной. В центральной части слитка длина крупных дендритов α -фазы достигает $800\text{--}1000\text{ мкм}$ при минимальной ширине «елочки» 400 мкм и дендритном параметре 50 мкм (рис. 2).

При роторной обработке расплава получена глобулярная морфология α -твердого раствора, дифференцированная в радиальном направлении: наибольшая степень глобуляризации α -твердого раствора наблюдается в открытой части слитка (в зоне наименьшего теплоотвода) с размерами зерен $20\text{--}80\text{ мкм}$. При этом в поле зрения окуляра микроскопа могут наблюдаться одиночные кристаллы глобулей розеточного типа (рис. 3).

В различных сечения отливки, изготовленной по новой технологии реолитья ($T_3 = 620\text{ }^\circ\text{C}$), получена глобулярная структура первичной α -фазы с размерами зерен $20\text{--}50\text{ мкм}$ (рис. 4).

В литнике наблюдается измельчение тиксоструктуры в 2 раза. Средний размер α -фазы составляет $10\text{--}30\text{ мкм}$.

Участки веерной структуры с вытянутыми вдоль потока глобулями ($70\text{--}80 \times 10\text{--}15\text{ мкм}$) отображают направление течения суспензии в литнике в процессе заполнения полости пресс-формы.

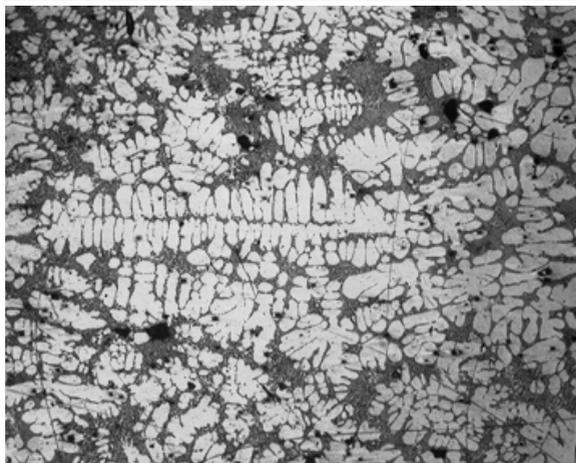


Рис. 2. Микроструктура исходного слитка, полученного гравитационной заливкой ($T_3 = 600\text{ }^\circ\text{C}$) сплава марки АК7 в камеру прессования машины литья под давлением ($\times 60$)

Металлическая суспензия алюминиевых расплавов с глобулярной морфологией α -фазы алюминия имеет ряд особенных свойств:

- обладает сверхтекучестью, благодаря жидкой составляющей, обволакивающей глобулы α -твердого раствора, что позволяет получать тонкостенные отливки (2 мм). При увеличении твердой фазы в суспензии уменьшается поверхность контакта с формой, что улучшает процесс допрессовки (питания отливки);

- твердая фаза находится в виде глобулей, практически не слипающихся между собой и не образующих замкнутого каркаса в двухфазной области температур, ответственного за горячеломкость, что позволяет лить высокопрочные как литейные, так и

деформируемые алюминиевые сплавы (ВАЛ10, В95, Д16 и др.) [7, 8];

- в микроглобулях в процессе фазового перехода из жидкого в твердое состояние

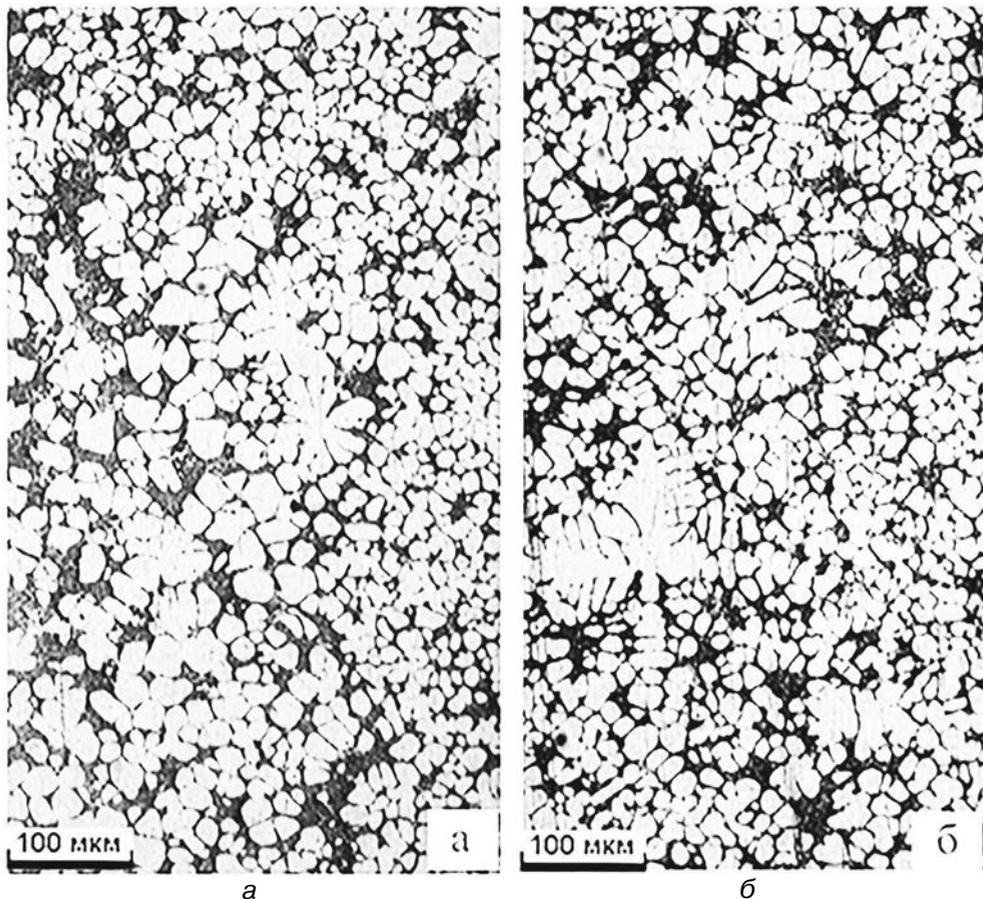


Рис. 3. Микроструктура слитка сплава марки АК7, обработанного роторным активатором ($n = 800\text{ об/с}$, $T_3 = 605\text{ }^\circ\text{C}$): а – верхняя часть слитка, формирование которой осуществлялось при атмосферных условиях; б – средняя часть слитка

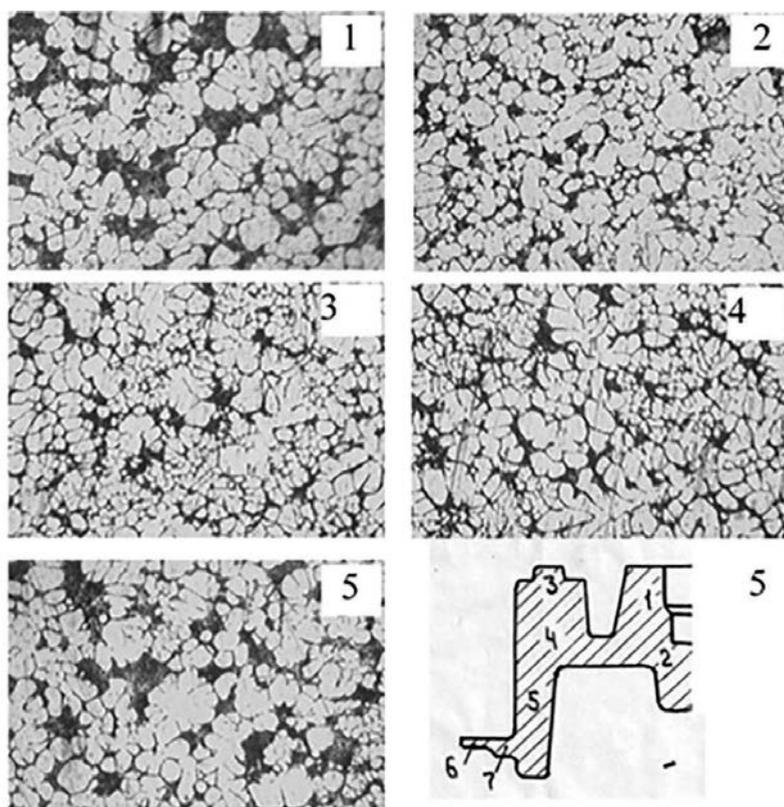


Рис. 4. Микроструктура корпуса втулки, полученного литьем под давлением на ВАТ «ЛТАВА» из подготовленной металлической суспензии сплава марки АК7

произошла миниусадка: $(60 \times 0,06) = 3,6$ мкм, где 60 – средний размер глобуля, мкм, 0,06 – объемная усадка алюминия. Таким образом, в зависимости от содержания твердой фазы, суммарная окончательная усадка сплава будет меньше, а точность литья выше. Допускается уменьшение литейных уклонов до 15 мин, что значительно меньше (в 3 раза) по сравнению с ординарным ЛПД;

- высокая вязкость металлической суспензии обеспечивает заполнение полости формы в ламинарном режиме, что исключает захват газов;

- новый совмещенный процесс рео-тиксолитья позволяет проводить упрочняющую высокотемпературную обработку отливок без «вздутий» подкорковых газов и способствует получению герметичных отливок;

- за счет глобуляризации α -твердого раствора существенно (в 3–4 раза) повышаются пластические свойства литого материала;

- за счет снижения температуры литья достигается экономия электроэнергии (~15–20 %), повышается ресурс работы пресс-форм на 20 %, поскольку уменьшается эрозионное воздействие низкотемпературной суспензии на рабочую поверхность пресс-формы.

Таким образом, новый процесс реолитья обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с ординарным ЛПД, использующим жидкий металл.

Список литературы

1. Зуев А. Б. К истории процесса литья сплавов в твердожидком состоянии // Литейное производство. – 2003. – № 4. – С. 20–22.
2. Зуев А. Б. Применение сплава АК10В для литья под давлением // Литейное производство. – 1965. – № 5. – С. 2–3.
3. Флемингс М., Мехрабион Р. Литье полутвердого металла // 40-й Международный конгресс литейщиков. – М.: НИИмаш, 1975. – Ч.1. – С. 36–45.
4. Головаченко В. П., Борисов Г. П., Дука В. М. Способ тиксолитья / Патент Украины № 85981, опубл. 10.03. 09, Бюл. № 5.
5. 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.
6. Головаченко В. П., Борисов Г. П., Дука В. М., Баев С. А., Цир Т. Г. Опытнo-промышленная проверка нового способа реолитья // Процессы литья. – № 4. – 2013. – С. 28–30.
7. Пригунова А. Г., Головаченко В. П., Титов В. А., Ноговицын А. В., Кошелев М. В. Цир Т. Г., Титов А. В., Шеневидько Л. К. Влияние комплексных воздействий на формирование структуры и тиксотропных свойств литых высокопрочных алюминиевых сплавов В95 и Д16 // Процессы литья. – 2018. – № 3. – С. 14–22.
8. Нго Тхань Бинь, Н. А. Джинго, Семенов А. Б., Семенов, Б. И. Тиксоформинг высокопрочных сплавов системы Al-Zn-Mg-Cu // JSS N0236-3941 / Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2012.

Поступила 28.03.2019

References

1. Zuev, A. B. (2003) On the history of the process of casting alloys in the solid-liquid state. Liteinoe proizvodstvo, No. 4, pp. 20–22 [in Russian].
2. Zuev, A. B. (1965) The use of alloy AK10B for casting under pressure. Liteinoe proizvodstvo, No. 5., pp. 2–3.[in Russian].
3. Flemings, M., Mechrabion, P. (1975) Semi-solid metal casting. 40th International Foundry Congress. Moscow: NIlmash, P.1, pp. 36–45 [in Russian].
4. Golovachenko, V. P., Borisov, G. P., Duka, V. M. Method of thixolite. Patent of Ukraine No. 85981, publ. 10.03. 09, Byul. №5.
5. Golovachenko, V. P., Chvostenko, I. V., Vernidub, A. G. (2013) What gives the rotor processing of aluminum melts in the precrystallization temperature range. Protessy litia, No. 3, pp. 8–12 [in Russian].
6. Golovachenko, V. P., Borisov, G. P., Duka, V. M., Baev, S. A., Tsir, T. G. (2013) Pilot-industrial check of the new method of casting. Protessy litya, no. 4, pp. 28–30 [in Russian].
7. Prigunova, A. G., Golovachenko, V. P., Titov, V. A., Nogovitsin, A. V., Koshevev, M. V., Tsir, T. G., Titov, A. V., Shenevidko, L. K. (2018) Influence of complex effects on the formation of the structure and thixotropic properties of cast high-strength aluminum alloys B95 and D1. Protessy litia, no. 3, pp.14–22 [in Russian].
8. Ngo Tchan Bin, Dgingo, N. A., Semenov, A. B., Semenov, B. I. (2012) Tixoform of high-strength alloys of the Al-Zn-Mg-Cu system // JSS N0236-3941 / Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. «Mashinostroenie» [in Russian].

Received 28.03.2019

В. П. Головаченко, *наук. співр.*, e-mail: onmlptima@ukr.net

Т. Г. Цір, *мол. наук. співр.*

В. М. Дука, *мол. наук. співр.*

А. Г. Вернидуб, *гол. технолог*

Н. П. Ісайчева, *гол. технолог*

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

ПЕРЕВАГИ ЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ, ЩО ЧАСТКОВО ЗАТВЕРДІЛИ (РЕОЛИТТЯ)

У Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України розроблено і успішно випробувано новий дешевий суміщений спосіб рео-тіксолиття, суть якого полягає в створенні ротором додаткових множин центрів кристалізації в передкристалізаційній області температур. Вібруючий ротор, що обертається, переміщує переохолоджені шари розплаву всередину його об'єму і тим самим за рахунок вібрації і струменевої течії розплаву створюються різні швидкості руху в системі розплав-зародок, які очищують поверхню зародків кристалів від водню, неметалевих включень, що пригнічує прискорене зростання кристалів в тому чи іншому напрямку і формує глобулі. Новий спосіб лиття простий в реалізації, гарантує отримання суспензії з заданим вмістом твердої фази. Одержано термограми процесу рео-тіксолиття, вивчена мікроструктура виливків, а також зливків, отриманих в камері пресування машини ЛПД. Приведено низку особливих властивостей металевої суспензії: завдяки рідкій фазі вона має надтекучість, що огортає глобулі α -твердого розчину; глобулі твердої фази практично не змаюються між собою і не утворюють суцільного каркасу, відповідального за горячеламкість, що дозволяє лити високоміцні як ливарні, так і деформовані алюмінієві сплави; за рахунок меншої усадки використання суспензії призводить до підвищеної точності виливків (за рахунок зменшення ухилів); суспензія в процесі лиття піддається ущільненню за рахунок допресовки; використання суспензії підвищує герметичність виливків і їх пластичність (приблизно в 3 рази); за рахунок зниження температури лиття досягається економія електроенергії (~ 15–20 %) при одночасному підвищенні ресурсу роботи прес-форм на ~ 15–20 %. Таким чином, новий суміщений процес рео-тіксолиття має незаперечні переваги порівняно з традиційним ЛПД.

Ключові слова: алюмінієві сплави, рео-тіксолиття, переваги, суспензія, термограма, мікроструктура.

V. P. Golovachenko, Researcher, e-mail: onmlptima@ukr.net

T. T. Tsir, Junior Researcher

V. M. Duka, Junior Researcher

A. G. Vernidub, Chief Technologist

N. P. Isaycheva, Chief Technologist

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of NAS Ukraine, Kiev

ADVANTAGES OF CASTING PARTIALLY CRYSTALLIZED ALUMINUM ALLOYS (REOCASTING)

At the Physico-Technological Institute of metals and alloys of National Academy of Sciences of Ukraine a new low-cost combined reo-tixocasting method has been developed and successfully tested, by creation with rotor multiply crystallization centers in the pre-crystallization temperature range. The rotating vibrating rotor moves the supercooled layers of the melt into its volume and, therefore, due to the vibration and jet flow of the melt, different speeds of movement in the melt nuclei system are created, cleaning the surface of the nuclei of crystals from hydrogen, non-metallic inclusions, which suppresses the preferential growth of crystals in one or another direction and forms globules. A new method of casting is easy to use, guarantees a suspension with a given solids content. The thermograms of the reo-tixocasting process, the microstructure of the castings, as well as the ingots obtained in the pressing chamber of the LPD machine, are presented. A number of special properties of the metal suspension are given: it has superfluidity due to the liquid phase that envelops the α -solid solution globules; the globules of the solid phase are practically not interconnected and do not form a continuous frame responsible for hot brittleness, which allows to cast high-strength cast and wrought aluminum alloys; due to less shrinkage, the use of a suspension leads to an increased accuracy of castings (due to a decrease in inclines); suspension in the casting process is subjected to compaction due to additional pressure; the use of a suspension increases the tightness of castings and their plasticity (~ 3 times); by reducing the casting temperature, energy saving is achieved (~ 15–20 %). At the same time increasing the service life of the molds by ~ 15–20 %. Thus, the new combined process of reo-tixocasting has an undeniable advantage over ordinary LPD.

Keywords: aluminum alloys, reo-tixocasting, advantages, suspension, thermogram, microstructure.