

А. Н. Недужий, канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,
e-mail: onmlptima@ukr.net

А. Г. Вернидуб, гл. технолог, e-mail: onmlptima@ukr.net

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины (Киев, Украина)

ТИКСОЛИТЬЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7ч С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАГОТОВОК С РАЗНОЙ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРОЙ ПЕРВИЧНОЙ ФАЗЫ

Проведено исследование процесса тиксолия сплава АК7ч с использованием заготовок с разной исходной структурой (дендритной и недендритной – розеткоподобной и глобулярной) первичной фазы. Приведена исходная микроструктура (дендритная, розеткоподобная и глобулярная) заготовок для тиксолия, а также микроструктура фасонных отливок, полученных после тиксолия. Показано, что после литья с использованием заготовок с исходной дендритной структурой первичной алюминиевой фазы, структура в отливках остается дендритной. При этом дендриты и обломки дендритов преимущественно подплавлены, боковые ветви дендритов несколько сливаются между собой, а некоторое количество дендритов деформировано. Установлено, что тиксолия сплава АК7ч с использованием заготовок с исходной розеткоподобной структурой обеспечивает получение фасонных отливок с глобулярной структурой первичной фазы с размером глобуля 80–100 мкм. При этом необходимо отметить, что глобулярная структура первичной фазы, полученная после тиксолия в фасонных отливках, однородная и равномерно распределена по всему сечению шлифов. Тиксолия с использованием заготовок с исходной глобулярной структурой первичной фазы не приводит к изменению структуры в фасонной отливке. При этом несколько увеличивается размер глобулей в отливке. Эвтектика в фасонных отливках, полученных после тиксолия, характеризуется более высокой степенью дифференцирования ее структурных составляющих по сравнению с исходными заготовками. Механические испытания показали повышенную пластичность исследуемого сплава после тиксолия без проведения дополнительной термической обработки.

Ключевые слова: тиксолия, алюминиевый сплав, недендритная структура, глобулярная структура, розеткоподобная структура, заготовка, твердо-жидкая заготовка, фасонная отливка, микроструктура, первичная фаза, глобуль, эвтектика, эвтектические колонии.

Тиксолия и тиксоштамповка сегодня широко используются в литейном производстве для получения качественных плотных отливок с повышенными механическими свойствами – прочностью и, особенно, пластичностью, из частично закристаллизованных (твердо-жидких) алюминиевых сплавов. Этому способствуют значительные преимущества тиксолия по сравнению с традиционными способами получения отливок. Так, известно [1], что эффективность тиксо технологий проявляется, в частности, в уменьшении минимальной толщины стенок изделия при одновременном повышении их герметичности, существенном увеличении продуктивности изготовления отливок, снижении массы детали, уменьшении количества дефектов и числа ступеней механической обработки при сохранении высокого качества поверхности без увеличения себестоимости производства. В зависимости от особенностей конкретного технологического процесса общее количество твердой фазы при формообразовании отливок способами тиксолия может составлять от 40 до 90 %.

Целью работы было установить структуру первичной алюминиевой фазы в фасонных отливках после тиксолия сплава с использованием заготовок с исходной дендритной, розеткоподобной и глобулярной структурой первичной фазы.

Для проведения экспериментальных исследований по тиксолию предвари-

тельно по специальным технологическим режимам [2] и другим условиям отливали цилиндрические заготовки из промышленного литейного алюминиевого сплава марки АК7ч с разными исходными структурами первичной фазы – дендритной, розеткоподобной и глобулярной. Средний диаметр и вес исходных заготовок составляли: 45 мм и 200–240 г, соответственно. Далее заготовки с разной исходной структурой первичной алюминиевой фазы нагревали двухступенчатым режимом до твердо-жидкого состояния. С целью регулирования соотношения заданной части твердой и жидкой фаз в заготовках перед нагревом в их центре и на краю устанавливали хромель-алюмелевые термодпары с толщиной проволоки 0,3 мм. При достижении необходимой температуры твердо-жидкой заготовки и незначительной выдержки при этой температуре заготовку с помощью теплоизолированных обжимных клещей транспортировали к пресс-форме. После помещения твердо-жидкой заготовки в предварительно прогретую и смазанную пресс-форму на установке литья под давлением [3] с вертикальной камерой прессования осуществляли процесс тиксолия. В результате получали фасонную отливку, которая представляла собой образец для механических испытаний с прибыльной частью в виде пресс-остатка, нижнего диска с системой промывников и облоя. После механических испытаний литых образцов из рабочей части последних вырезали темплеты и изготавливали шлифы для проведения металлографических исследований. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе МИМ-8М, модернизированном цифровой камерой DCM130, которая подключалась через порт USB к персональному компьютеру (ноутбук SAMSUNG модели R20). С помощью программного обеспечения ScopePhoto ver. 3.0 цифровая камера позволяла выводить изображение структуры сплава с микроскопа на экран персонального компьютера. Микроструктуру сплава исследовали в центральной части образца на расстоянии 0,5 радиуса от центра и в приповерхностной зоне образца.

Проведенными экспериментальными исследованиями показано, что после литья с использованием заготовок с исходной дендритной структурой твердого раствора алюминия разной дисперсности (рис. 1, а, в), структура в отливке во всех случаях остается дендритной (рис. 1, б, г). Так, при использовании заготовки с исходной дендритной структурой с величиной дендритного параметра (d) 26 мкм (рис. 1, а) получили отливку с дендритной структурой, в которой наблюдали отдельные фрагменты и обломки подплавленных дендритов (рис. 1, б). Средняя величина дендритного параметра в отливке несколько увеличивается в сравнении с исходной заготовкой и составляет около 40 мкм. Эвтектика в отливке по сравнению с заготовкой характеризуется более высокой степенью дифференцирования ее структурных составляющих, а размер эвтектических колоний составляет около 76–263 мкм. После использования заготовки с предварительно подготовленной дендритной структурой с величиной $d = 52$ мкм (рис. 1, в) образовалась отливка также с дендритной структурой, которая имела вид преимущественно подплавленных дендритов, боковые ветви которых несколько сливаются между собой (рис. 1, г). При этом незначительное количество дендритов имело вид деформированных. Средняя величина d в отливке в сравнении с исходной заготовкой несколько увеличилась и составила около 70 мкм. Эвтектика в отливке тонкодифференцированная, с более высокой степенью модифицирования в сравнении с заготовкой. Размер ее колоний составляет около 183–386 мкм.

Исследованиями установлено, что тиксолия сплава АК7ч с использованием заготовок с исходной розеткоподобной структурой первичной фазы (рис. 2, а, в) обеспечивает получение фасонных отливок с глобулярной структурой (рис. 2, б, г). Так, при использовании заготовки с исходной розеткоподобной структурой первичной фазы с размером кристаллов 144–153 мкм (рис. 2, а) получили фасонную отливку с глобулярной структурой с размером глобулей 80–100 мкм (рис. 2, б). Эвтектика в отливке характеризуется более высокой степенью дифференцирования структурных составляющих в сравнении с исходной заготовкой с размером эвтектических коло-

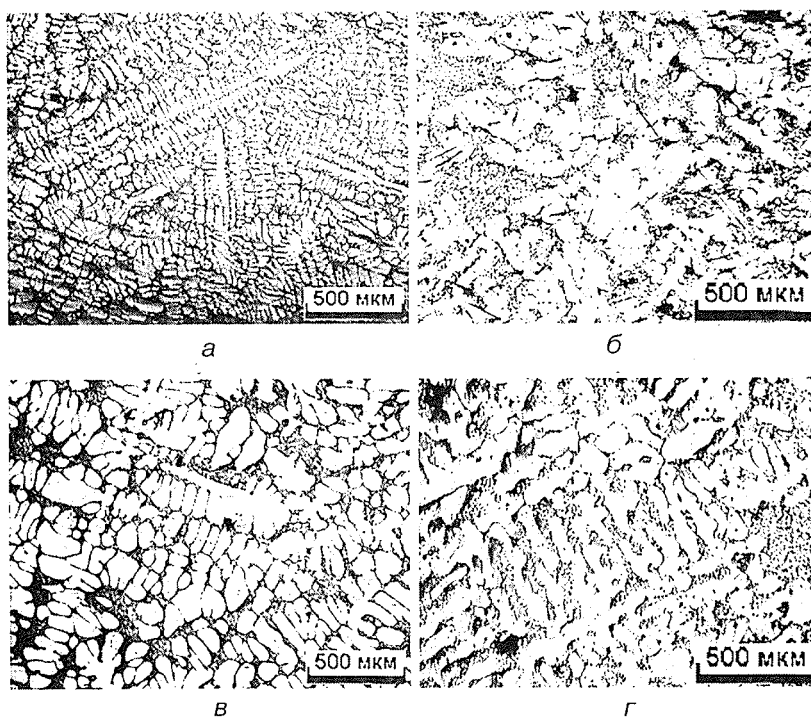


Рис. 1. Исследование процесса тиксолития сплава АК74 с использованием заготовок с исходной дендритной структурой первичной фазы: а, в – исходные структуры в заготовках; б, г – структуры, которые образовались в отливках

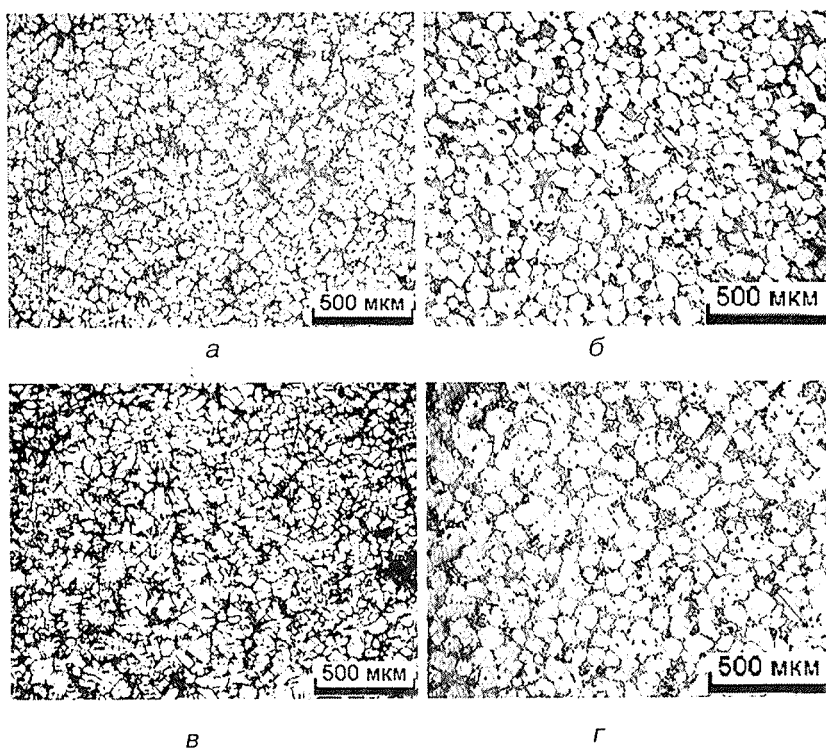


Рис. 2. Исследование процесса тиксолития сплава АК74 с использованием заготовок с исходной розеткоподобной структурой первичной фазы: а, в – исходная структура заготовок; б, г – структуры, которые образовались в фасонных отливках после тиксолития

ний около 55–102 мкм. Использование заготовки с предварительно подготовленной розеткоподобной структурой твердого раствора алюминия с размером кристаллов 178–289 мкм (рис. 2, в) обеспечило формирование фасонной отливки с глобулярной структурой с размером глобулей 90–110 мкм (рис. 2, г). При этом необходимо отметить, что глобулярная структура первичной фазы, полученная в фасонных отливках, была однородной и равномерно распределена по всему сечению шлифов. Размер эвтектических колоний составляет около 102–145 мкм.

Экспериментальными исследованиями установлено, что тиксолитье сплава АК7ч с использованием заготовок с исходной глобулярной структурой первичной алюминиевой фазы не приводит к изменению структуры твердого раствора алюминия в фасонной отливке. При этом размер глобулей в полученной отливке несколько увеличился по сравнению с размером глобулей в исходной заготовке и некоторые глобули в структуре отливки сливаются между собой. Так, после использования заготовки с предварительно подготовленной глобулярной структурой первичной α -фазы со средним размером глобуля 39–84 мкм (рис. 3, а) средний размер глобуля в отливке составил 80–100 мкм (рис. 3, б). Также следует отметить, что глобулярная структура первичной фазы, полученная в фасонной отливке, однородная и равномерно распределена по всему сечению шлифа. Размер тонкодифференцированных эвтектических колоний составил около 73–136 мкм.

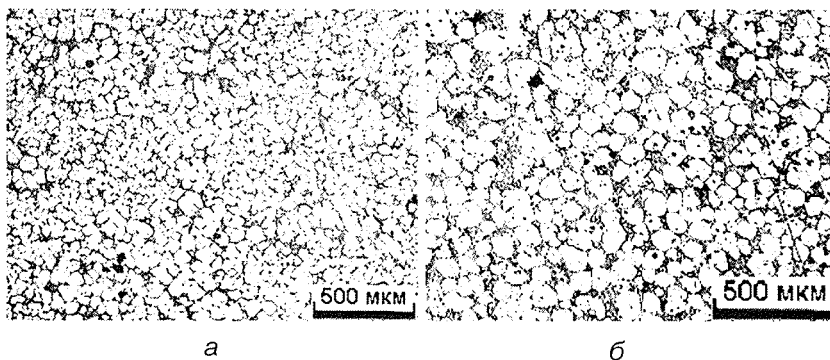


Рис. 3. Исследование процесса тиксолитья сплава АК7ч с использованием заготовок с исходной глобулярной структурой первичной фазы: а – исходная структура заготовки; б – структура, которая образуется в фасонной отливке после тиксолитья

Значения механических свойств сплава после тиксолитья в полученных фасонных отливках без проведения дополнительной упрочняющей термической обработки составили: $\sigma_b = 155\text{--}203$ МПа, $\sigma_{0,2} = 161\text{--}178$ МПа, $\delta = 2,8\text{--}5,2$ и $\psi = 3,7\text{--}7,2$ %.

Таким образом, установлено, что тиксолитье сплава АК7ч с использованием заготовок с исходной розеткоподобной структурой первичной фазы обеспечивает получение фасонных отливок с глобулярной структурой с размером глобуля 80–100 мкм. Глобулярная структура в полученных фасонных отливках однородная и равномерно распределена по всему сечению шлифов. Тиксолитье сплава с использованием заготовок с исходной глобулярной структурой не приводит к изменению структуры в фасонной отливке. При этом несколько увеличивается размер глобулей в отливке. Эвтектика сплава в полученных фасонных отливках с глобулярной структурой характеризуется более высокой степенью дифференцирования структурных составляющих в сравнении с исходными заготовками.

Список литературы

1. Семенов Б. И. Производство изделий из металла в твердоточном состоянии. Новые промышленные технологии: учеб. пособие / Б. И. Семенов, К. М. Куштаров. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 223 с.

2. Недужий А. М. Особливості зміни морфології структури первинної фази при кристалізації алюмінієвих сплавів / А. М. Недужий // Металознавство та обробка металів. – 2015. – № 2. – С. 24–29.
3. Головаченко В. П. Жидкофазное формирование изделий из порошковых алюминиевых сплавов методом импульсного прессования / В. П. Головаченко, В. К. Шнитко, Г. П. Борисов, А. Г. Вернидуб // Процессы литья. – 1999. – № 3. – С. 66–69.

Поступила 19.09.2019

References

1. Semenov, B. I., Kushtarov, K. M. (2010) Production of metal products in a solid-liquid state. New industrial technologies: textbook. Moscow: Izd-vo MG TU im. N.E. Bauman, 223 p. [in Russian].
2. Neduzhyi, A. M. (2015) Features of change of morphology of primary phase structure during crystallization of aluminum alloys. Metaloznavstvo ta obrobka metaliv, no. 2, pp. 24–29 [in Ukrainian].
3. Golovachenko, V. P., Shnitko, V. K., Borisov, G. P., Vernidub, A. G. (1999) Liquid-phase formation of products from powder aluminum alloys by pulsed pressing. Protsessy lit'ya, no. 3, pp. 66–69 [in Russian].

Received 19.09.2019

А. М. Недужий, канд. техн. наук, мол. наук. співр., e-mail: onmlptima@ukr.net

А. Г. Вернидуб, гол. технолог, e-mail: onmlptima@ukr.net

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

ТИКСОЛИТТЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АК7ч З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАГОТІВОК З РІЗНОЮ ВИХІДНОЮ СТРУКТУРОЮ ПЕРВИННОЇ ФАЗИ

Проведено дослідження процесу тиксолиття сплаву АК7ч з використанням заготовок з різною вихідною структурою (дендритною та недендритною – розеткоподібною і глобулярною) первинної фази. Наведена вихідна мікроструктура (дендритна, розеткоподібна та глобулярна) заготовок для тиксолиття, а також мікроструктура фасонних виливків, одержаних після тиксолиття. Показано, що після лиття з використанням заготовок з вихідною дендритною структурою первинної алюмінієвої фази, структура у виливках залишається дендритною. При цьому дендрити і уламки дендритів переважно підплавлені, бічні гілки дендритів дещо зливаються між собою, а деяка кількість дендритів деформована. Встановлено, що тиксолиття сплаву АК7ч з використанням заготовок з вихідною розеткоподібною структурою забезпечує одержання фасонних виливків з глобулярною структурою первинної фази з розміром глобуля 80–100 мкм. При цьому необхідно відмітити, що глобулярна структура первинної фази, яка одержана після тиксолиття в фасонних виливках, однорідна та рівномірно розподілена по всьому перетину шліфів. Тиксолиття з використанням заготовок з вихідною глобулярною структурою первинної фази не приводить до зміни структури в фасонному виливку. При цьому дещо збільшується розмір глобулей у виливку. Евтектика у фасонних виливках, одержаних після тиксолиття, характеризується більш високим ступенем диференціювання її структурних складових у порівнянні з вихідними заготівками. Механічні випробування показали підвищену пластичність досліджуваного сплаву після тиксолиття без проведення додаткової термічної обробки.

Ключові слова: тиксолиття, алюмінієвий сплав, недендритна структура, глобулярна структура, розеткоподібна структура, заготівка, твердо-рідка заготівка, фасонний виливок, мікроструктура, первинна фаза, глобуль, евтектика, евтектичні колонії.

A. N. Neduzhyi, Candidate of Engineering Sciences, Junior Researcher, e-mail: onmlptima@ukr.net

A. G. Vernidub, Chief Technologist, e-mail: onmlptima@ukr.net

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

THE THIXOCASTING OF ALUMINUM ALLOY AK7ч USING BILETS WITH DIFFERENT INITIAL STRUCTURE OF PRIMARY PHASE

A study was made of the thixocasting process of the AK7ч alloy using billets with different initial structures (dendritic and non-dendritic – rosette-like and globular) primary phases. The initial microstructure (dendritic, rosette-like and globular) of the billets for thixocasting, as well as the microstructure of shaped castings obtained after thixocasting, are presented. It is shown that after casting using feedstocks with the initial dendritic structure of the primary aluminum phase, the structure in the castings remains dendritic. Moreover, dendrites and dendritic fragments are predominantly fused, the lateral branches of the dendrites merge somewhat, and a certain amount of dendrites is deformed. It was found that thixocasting of AK7ч alloy using billets with an initial rosette-like structure provides shaped castings with a globular structure of the primary phase with a globule size of 80–100 microns. It should be noted that the globular structure of the primary phase obtained after thixocasting in shaped castings is homogeneous and evenly distributed over the entire cross section of the sections. Thixocasting using billets with the initial globular structure of the primary phase does not lead to structural changes in the shaped casting. At the same time, the size of the globules in the casting increases slightly. The eutectic in shaped castings obtained after thixocasting is characterized by a higher degree of differentiation of its structural components compared to the initial billets. Mechanical tests showed increased ductility of the investigated alloy after thixocasting without additional heat treatment.

Keywords: *thixocasting, aluminum alloy, non-dendritic structure, globular structure, rosette-like structure, feedstock, solid-liquid billets, shaped casting, microstructure, primary phase, globule, eutectic, eutectic colonies.*