

Одержання виливків із доевтектичних силумінів способом тиксолиття

Недужий А. М., кандидат технічних наук, науковий співробітник, onmptima@ukr.net,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6259-0312>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

Проведено експериментальні дослідження способу тиксолиття доевтектичного силуміну АК7ч з використанням циліндричних заготовок з різною вихідною підготовленою структурою (дендритною і недендритною – розеткоподібною та глобулярною) первинної твердої фази. Показано, що після лиття з використанням заготовок з вихідною дендритною структурою твердого розчину алюмінію, структура в фасонних виливках залишається дендритною. При цьому в структурі спостерігається деяка кількість зруйнованих дендритів, переважно підплавлених. Тиксолиття доевтектичного силуміну АК7ч з використанням заготовок з вихідною розеткоподібною структурою первинних кристалів алюмінію забезпечує одержання фасонних виливків з глобулярною структурою первинної твердої фази з розміром глобуля 80 – 100 мкм. При цьому одержана глобулярна структура первинної твердої фази у виливках, однорідна і рівномірно розподілена по всьому перетину шліфів. Тиксолиття силуміну АК7ч з використанням заготовок з вихідною глобулярною структурою первинної твердої фази не призводить до зміни структури виливка. Незначно збільшується розмір глобулей у виливку. Евтектичні колонії в фасонних виливках, одержаних способом тиксолиття, характеризуються більш високим ступенем диференціювання порівняно з вихідними структурами заготовок. Визначення механічних властивостей показало підвищену пластичність досліджуваного силуміну у виливках, одержаних після тиксолиття без проведення додаткової зміцнювальної термічної обробки.

Ключові слова: тиксолиття, доевтектичний силумін, недендритна структура, глобулярна структура, розеткоподібна структура, твердо-рідка заготовка, фасонний виливок.

Способи тиксолиття та тиксоштампування широко використовуються на металургійних та машинобудівних підприємствах для одержання якісних виливків з підвищеними механічними властивостями із частково закристалізованих (твердо-рідких) алюмінієвих сплавів. Широкому використанню вказаних технологій сприяють суттєві переваги тиксолиття порівняно з класичними способами (кокільне та гравітаційне лиття) одержання виливків. Ефективність способів тиксолиття полягає, зокрема, в зменшенні мінімальної товщини стінок виробів при одночасному підвищенні їх герметичності, значному збільшенні продуктивності виготовлення виливків, зниженні ваги деталі, зменшенні кількості дефектів та числа операцій механічної обробки, високій якості поверхні виливка без збільшення собівартості виробництва [1]. Температура пресування твердо-

рідких заготовок при тиксолитті та тиксоштампуванні зазвичай значно нижча температури ліквідуса (T_L) доєвтектичних силумінів. Це, в свою чергу, забезпечує підвищену стійкість ливарного оснащення та прес-форм для машин лиття під тиском. Слід відзначити, що недендритна глобулярна структура первинної алюмінієвої фази сприяє підвищенню пластичності металу виливків, зменшенню усадки при кристалізації за рахунок вже наявної твердої фази в сплаві при тиксолитті [1, 2]. Залежно від особливостей технологічного процесу загальна кількість твердої фази при формоутворенні виливків способами тиксолиття та тиксоштампування може складати від 40 до 90 %.

Метою роботи було встановити можливість одержання фасонних виливків з глобулярною структурою первинної фази після тиксолиття доєвтектичного силуміну з використанням заготовок з вихідною розеткоподібною структурою, а також досліджень морфологічних особливостей виливків після тиксолиття з використанням заготовок з вихідною дендритною та глобулярною структурою первинної фази.

Для проведення досліджень з тиксолиття, за попередньо визначеними технологічними режимами [3, 4], відливали циліндричні заготовки із промислового доєвтектичного силуміну марки АК7ч з різними вихідними структурами первинної фази – дендритною, розеткоподібною та глобулярною. Середній діаметр і вага вихідних заготовок складали: 45 мм та 200 – 240 г, відповідно. Заготовки з різною вихідною структурою первинної фази нагрівали до твердо-рідкого стану. При досягненні необхідної температури заготовки та відповідно потрібної кількості твердої фази в ній, заготовку транспортували до прес-форми, нагрітої до температур 80 – 160 °С і змащували графітовим мастилом на масляній основі [5]. На установці лиття під тиском [6] з вертикальною камерою пресування, в процесі тиксолиття (рис. 1), одержували фасонний виливок – зразок для механічних випробувань і металографічних досліджень. За розрахунками, швидкість заповнення порожнини прес-форми твердо-рідким сплавом заготовки без врахування тертя на вищевказаній установці лиття під тиском при одержанні виливків становила – 57 м/с [5].

Мікроструктуру силуміну досліджували в центральній частині зразка, на відстані S радіусу від центру та в приповерхневій зоні зразка за допомогою мікроскопу МІМ-8М з цифровою камерою DCM130.

Встановлено, що після лиття з використанням заготовок з вихідною дендритною структурою різної дисперсності (рис. 2 а, в), структура виливка в усіх випадках залишалася дендритною (рис. 2 б, г). Так, зокрема, при використанні заготовки з вихідною дендритною структурою з дендритним параметром (d) 26 мкм (рис. 2 а) одержали виливок з дендритною структурою. Середня величина дендритного параметру у виливку дещо збільшилася, порівняно з вихідною заготовкою, до 40 мкм. Спостерігали також окремі фрагменти та уламки підплавлених дендритів (рис. 2 б).

Евтектика у виливку порівняно із заготовкою характеризується більш високим ступенем диференціювання структурних складових і розміром евтектичних колоній в межах 76 – 263 мкм. По всьому перетину

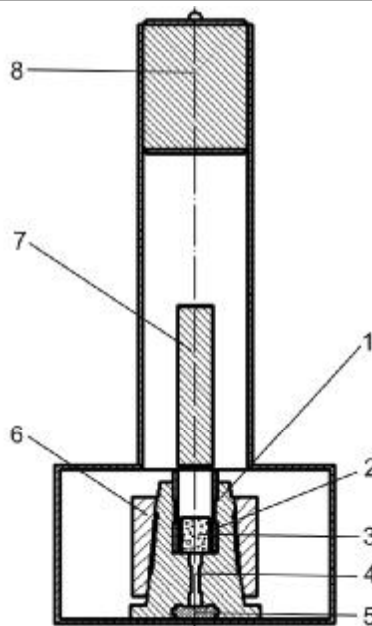


Рис. 1. Схема установки для дослідження способу тиксолиття доевтектичного силуміну АК7ч: 1 – прес-форма; 2 – камера пресування; 3 – твердо-рідка заготовка; 4 – порожнина прес-форми; 5 – вставка; 6 – кільце для фіксації прес-форми; 7 – прес-плунжер; 8 – вантаж.

Fig. 1. Scheme of the installation for studying the method of thixocasting of hypoeutectic silumin AK7c: 1 – press form; 2 – pressing chamber; 3 – solid-liquid billet; 4 – press form cavity; 5 – insert; 6 – press form fixing ring; 7 – press plunger; 8 – load.

зразка спостерігали значну кількість кристалів α -фази у вигляді дисперсних дендритів з величиною дендритного параметра $d \approx 8,5$ мкм. За даними [7] вказане значення дендритного параметру при кристалізації алюмінієвих сплавів відповідає швидкості охолодження $10^3 - 10^6$ К/с. При використанні заготовки з підготовленою дендритною структурою з величиною $d = 52$ мкм (рис. 2 в), утворився виливок зі структурою переважно підплавлених дендритів (рис. 2 г). Незначна кількість дендритів мала вигляд деформованих. Середнє значення d у виливку порівняно з вихідною структурою збільшилося до 70 мкм. Евтектичні колонії у виливку – тонкодиференційовані, розміром 183 – 386 мкм.

Тиксолиття силуміну АК7ч з використанням заготовок з вихідною розеткоподібною структурою первинної фази (рис. 3 а, в) забезпечує одержання фасонних виливків з глобулярною структурою (рис. 3 б, г).

При використанні заготовки з вихідною розеткоподібною первинною фазою розміром 144 – 153 мкм (рис. 3 а) одержали виливок з глобулярною структурою і розміром глобулей 80 – 100 мкм (рис. 3 б). Евтектика у виливку характеризується більш високим ступенем диференціювання структурних складових і розміром евтектичних колоній 55 – 102 мкм. Використання заготовки з розеткоподібною структурою твердого розчину алюмінію більшого розміру кристалів 178– 289 мкм (рис. 3, в) забезпечило формування виливка з глобулярною структурою і розміром глобулей 90 – 110 мкм (рис. 3 г). Глобулярна структура первинної фази у виливках однорідна і рівномірно

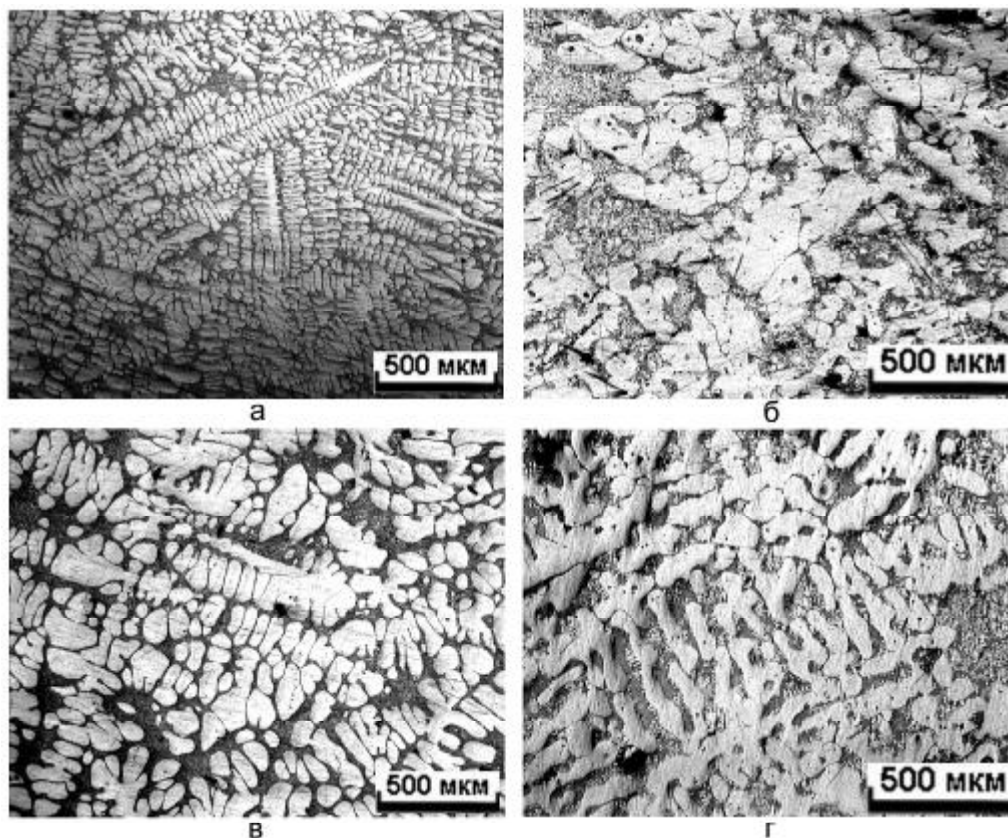


Рис. 2. Структури силуміну АК7ч з вихідною дендритною будовою твердого розчину алюмінію. а, в – вихідні структури заготовок; б, г – структури у виливках.

Fig. 2. Structures of silumin AK7c with the initial dendritic structure of aluminum solid solution. а, в – initial billet structures; б, г – casting structures.

розподілена по всьому перетину шліфів. Розмір евтектичних колоній – 102 – 145 мкм.

Тиксолиття силуміну АК7ч з використанням заготовок з вихідною глобулярною структурою первинної твердої фази не призводить до зміни структури твердого розчину алюмінію у фасонному виливку. Розмір глобулей дещо збільшився і деякі глобулі в структурі виливка зливаються між собою (рис. 4 а, б).

Так, після використання заготовки з глобулярною структурою первинної фази і розміром глобуля 39 – 84 мкм (рис. 4 а) середній розмір глобуля у виливку склав 80 – 100 мкм (рис. 4 б). Глобулярна структура α -фази, яка утворилася, однорідна і рівномірно розподілена по перетину шліфа. Евтектика представлена тонкодиференційованими евтектичними колоніями, розміром 73 – 136 мкм.

Значення механічних властивостей досліджуваного сплаву в фасонних виливках, одержаних способом тиксолиття без проведення додаткової зміцнювальної термічної обробки: $\sigma_b = 155 - 203$ МПа, $\sigma_T = 161 - 178$ МПа, $\delta = 2,8 - 5,2$ % і $\psi = 3,7 - 7,2$ %.

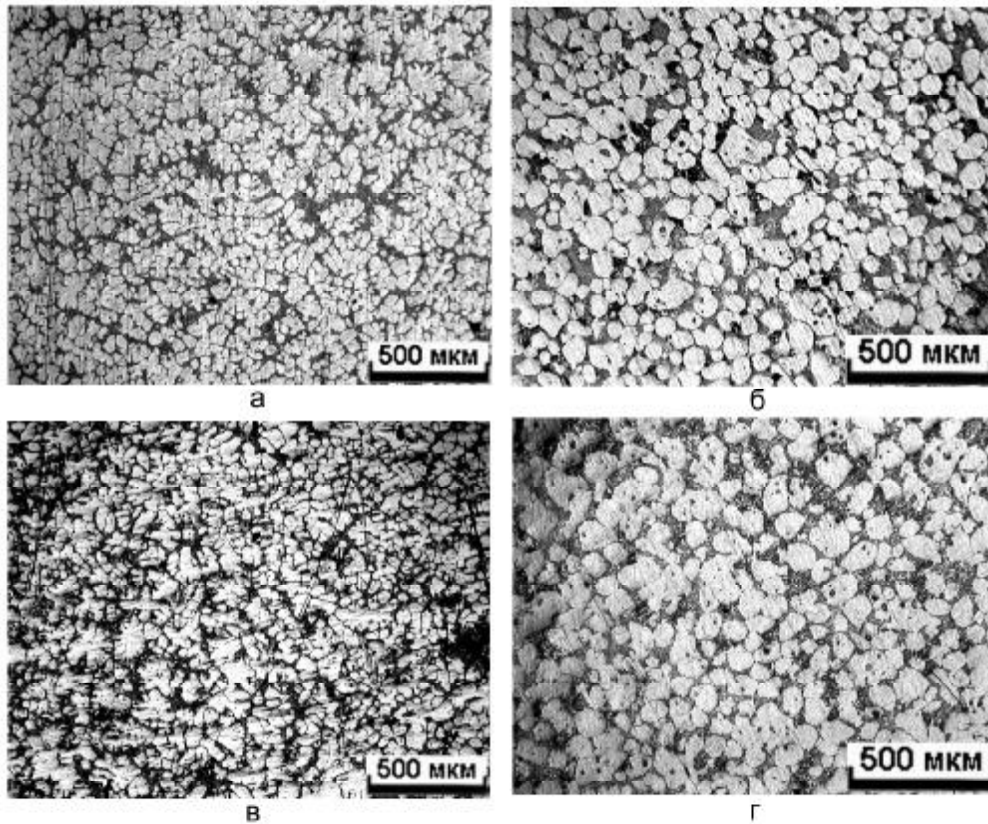


Рис. 3. Структура тиксолиття силуміну АК7ч з вихідною розеткоподібною будовою первинної фази. а, в – вихідні структури; б, г – структури виливків після тиксолиття.

Fig. 3. The thixocasting structure of silumin AK7ч with the initial rosette-like structure of the primary phase. а, в – initial structures; б, г – structures of castings after thixocasting.

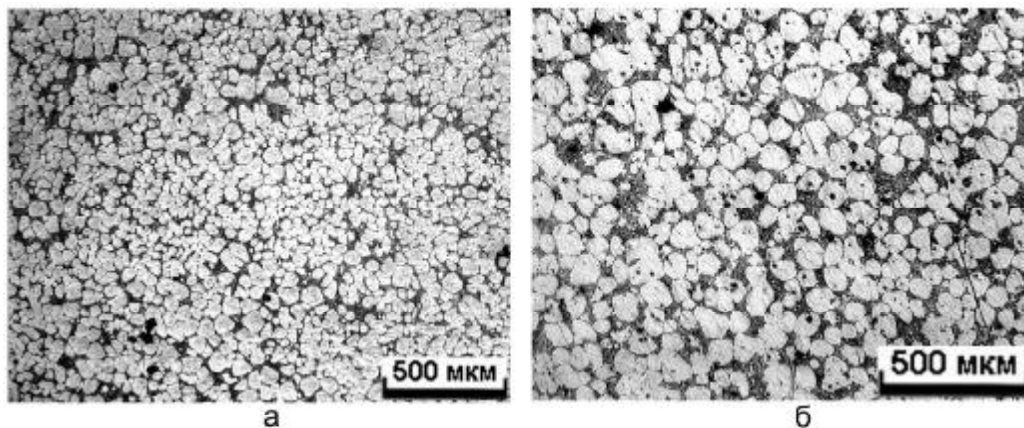


Рис. 4. Структура силуміну АК7ч з вихідною глобулярною будовою первинної фази. а – вихідна структура; б – структура виливка після тиксолиття.

Fig. 4. The structure of silumin AK7ч with the initial globular structure of the primary phase. а – initial structure; б – casting structure after thixocasting.

Встановлено також, що тиксолиття силуміну АК7ч при використанні заготовок з вихідною розеткоподібною структурою первинної твердої фази забезпечує одержання виливків з глобулярною структурою і розміром глобуля 80 – 100 мкм. Така структура в одержаних виливках однорідна і рівномірно розподілена по всьому перетину шліфів. Тиксолиття ж досліджуваного силуміну з використанням заготовок з глобулярною структурою первинної фази не призводить до суттєвої зміни структури виливка. При цьому дещо збільшується розмір глобулярних кристалів, евтектичні колонії в одержаних виливках характеризуються більш високим ступенем диференціювання структурних складових порівняно з евтектикою у вихідних заготовках. Таким чином, спосіб тиксолиття з використанням циліндричних заготовок з глобулярною і розеткоподібною формами α -фази, дозволяє одержувати фасонні виливки із доевтектичного силуміну АК7ч з недендритною структурою і досягти підвищення характеристик механічних властивостей без проведення зміцнювальної термічної обробки.

Література

1. Семенов Б.И., Куштаров К.М. Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии: учеб. пособие. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 223 с.
2. Мельников Н.А. Развитие тиксолиття алюминиевых сплавов // Литейное производство. – 2002. – № 10. – С. 34 – 35.
3. Недужий А.М. Особливості зміни морфології структури первинної фази при кристалізації алюмінієвих сплавів // Науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів». – 2015. – № 2. – С. 24 – 29.
4. Недужий А.Н., Шеневидько Л.К. Получение литых заготовок с недендритной структурой первичной фазы из алюминиевого сплава АК7ч в форме с дополнительным утеплением // Процессы литья. – 2014. – № 3. – С. 45 – 48.
5. Недужий А.М. Закономірності формування первинної алюмінієвої фази при одержанні виливків із доевтектичних силумінів способами рео- та тиксолиття // Дис. ... канд. техн. наук, ФТІМС НАН України, Київ, 2018 р. – 216 с.
6. Шнитко В.К., Головаченко В.П., Борисов Г.П., Вернидуб А.Г. Жидкофазное формирование изделий из порошковых алюминиевых сплавов методом импульсного прессования // Процессы литья. – 1999. – № 3. – С. 66 – 69.
7. Добаткин В.И., Елагин В.И., Федоров В.М. Быстрозакристаллизованные алюминиевые сплавы. – М. : ВИЛС, 1995. – 341 с.

References

1. Semenov B. I., Kushtarov K. M. *Proizvodstvo izdeliy iz metalla v tverdozhidkom sostoyanii. Novyye promyshlennyye tekhnologii: ucheb. Posobiye* (Manufacture of metal products in the solid-liquid state. New industrial technologies: textbook. allowance), Moscow: Moskovskii gosudarstvennyy tekhnicheskiiy universitet imeni N. E. Bauman, 2010, 223 p. [in Russian].
2. Mel'nikov N. A., *Liteynoye proizvodstvo*, 2002, No. 10, pp. 34-35 [in Russian].
3. Neduzhyi A. M., *Metaloznaystvo ta obrobka metaliv*, 2015, No. 2, pp. 24-29 [in Ukrainian].

4. Neduzhyi A. N., Shenevid'ko L. K., *Protsessy lit'ya*, 2014, No. 3, pp. 45-48 [in Russian].
5. Neduzhyi A. M. *Zakonomirnosti formuvannya pervynnoyi alyuminiyevoyi fazy pry oderzhanni vylyvkiv iz doevtektichnykh syluminiv sposobamy reo- ta tyksolyttya* (Regularities of the formation of the primary aluminum phase in the obtaining of castings from hypoeutectic silumins by methods of rheo- and thixocasting). PhD Thesis, Kyiv: Physical and Technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine, 2018, 216 p. [in Ukrainian].
6. Shnitko V. K., Golovachenko V. P., Borisov G. P., Vernidub A. G., *Protsessy lit'ya*, 1999, No. 3, pp. 66-69 [in Russian].
7. Dobatkin V. I., Yelagin V. I., Fedorov V. M. *Bystrozakristallizovannyye alyuminiyevyye splavy* (Rapidly crystallized aluminum alloys). Moscow: Vserossiyskiy institut legkikh splavov, 1995, 341 p. [in Russian].

Одержано 03.02.22

Neduzhyi A. M.

Obtaining castings from hypoeutectic silumins by the method of thixocasting

Summary

Experimental studies of the method of thixocasting of AK7ч hypoeutectic silumin using cylindrical billets with different initial prepared structure (dendritic and non-dendritic – rosette-like and globular) of the primary solid phase were carried out. It is shown that after casting using billets with the initial dendritic structure of aluminum solid solution, the structure in shaped castings remains dendritic. At the same time, a certain number of destroyed dendrites are observed in the structure, predominantly melted. The thixocasting of the hypoeutectic silumin AK7ч using billets with the initial rosette-like structure of primary aluminum crystals ensures the production of shaped castings with a globular structure of the primary phase with a globular size of 80 – 100 μm. At the same time resulting the globular structure of the primary solid phase in castings is homogeneous and evenly distributed over the entire cross section. Thixocasting of silumin AK7ч using billets with the initial globular structure of the primary solid phase does not lead to a change of the structure of the casting. This slightly increases the size of the globules in the casting. Eutectic colonies in shaped castings obtained by thixocasting are characterized by a higher degree of differentiation compared to the initial structures of billets. Determination of mechanical properties showed an increased plasticity of the investigated hypoeutectic silumin in castings obtained after thixocasting without additional hardening heat treatment.

Keywords: thixocasting, hypoeutectic silumin, non-dendritic structure, globular structure, rosette-like structure, solid-liquid billet, shaped casting.