

АНОТАЦІЯ

Козишкурт Є.М. Технологічний процес одержання виливків із алюмінієвих сплавів литтям під низьким тиском на основі використання зовнішніх впливів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – Металургія. – Одеський національний політехнічний університет МОН України, Одеса, 2020.

Дисертація присвячена розробці, вдосконаленню та реалізації прогресивних технологічних прийомів та обладнання для управління якістю литва під низьким тиском алюмінієвих сплавів, заснованих на використанні зовнішніх технологічних впливів.

З метою створення наукових та технологічних засад використання зовнішніх технологічних впливів при литті алюмінієвих сплавів для підвищення якості відливок та поліпшення техніко-економічних показників процесу одержання лиття були встановлені закономірності, механізми впливу основних технологічних факторів на механічні властивості виливків зі сплаву АК7ч. Побудовані рівняння регресії, які відображають залежність механічних властивостей зразків із сплаву АК7ч від додаткового тиску ($P = 100$ КПа, 200 КПа, 400 КПа, 600 КПа, 900 КПа). При цьому встановлено, що надлишковий тиск від 200 до 600 КПа незначно підвищує показник твердості, в той час як від 600 до 900 КПа відбувається відчутне підвищення на 30%. Межа міцності у зразків, які отримані з величиною тиску при кристалізації 600-900 КПа підвищується на 23%.

Встановлені закономірності впливу кількох металопроводів при заливці в багатомісну форму на утворення усадкових рихлот, усадкових раковин і, відповідно, герметичність. Знайдена залежність розташування усадкових дефектів від різних методів підведення металу. При цьому визначено, що при

бічному підводі металу в виливок відбувається більш значне його охолодження в протяжній ливниковій системі, що призводить до зменшення ефективності живлення вилівки під час твердіння. Крім того, застосування для заливки двухмісного кокілю зменшило перегрів кокілю внаслідок більш рівномірного розподілу тепловіддачі від рідкого металу до форми.

Встановлені закономірності впливу зонального охолодження на швидкість затвердіння виливків. Показано, що при товщині вилівки 0,02 м із застосуванням зонального охолодження як мідним вкладишами, так і зонального охолодження водою отримана щільна структура металу при максимальному радіусі місцевого потовщення 0,02 м, твердість при охолодженні мідної вставки становить 1117 МПа, а при застосуванні водяного охолодження 1019 МПа, тобто при застосуванні охолодження місцеве потовщення має велику швидкість затвердіння, ніж перетин вилівки без потовщення, завдяки чому і забезпечується спрямоване затвердіння. При товщині вилівки 0,015 м і радіусі місцевого потовщення 0,02 м, тільки охолодження мідної вставкою дає твердість структури в місцевому потовщенні більше, ніж середня твердість вилівки. При водяному охолодженні твердість в місцевому потовщенні нижче ніж середня, але в обох випадках вона вище допустимої по ТУ (по ТУ згідно роботі для АК7ч НВ = 686 МПа). У виливках з товщиною стінки 0,01 м, при радіусах місцевих потовщень 0,02; 0,015 м; твердість в потовщених навіть із застосуванням водяного охолодження і охолодження мідними вставками нижче середньої твердості вилівки. При цьому встановлено, що швидкість падіння температури в інтервалі кристалізації $T_{\text{лік}} = 620 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і $T_{\text{сол}} = 577 \text{ }^{\circ}\text{C}$ для охолодження за допомогою мідних вставок складає $43 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$, при водяному охолодженні $22 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$, без охолодження – $16 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$.

Встановлені закономірності впливу тиску при кристалізації на структуроутворення вилівки по її висоті. Спостерігається подрібнення зерна від нижньої частини вилівки до верхньої, що забезпечує принцип

спрямованого затвердіння. Досліджено, що величина тиску при кристалізації впливає на кінетику затвердіння. Отримані експериментальні дані свідчать про інтенсивне скорочення часу початку дендритної кристалізації, загального часу затвердіння. За експериментальними кривими були отримані кінетичні криві проходження фронту затвердіння по висоті виливка при різних значеннях P .

При аналізі експериментальних даних використовували регресійно-кореляційний аналіз і методи математичної статистики. Для оцінки герметичності та механічних властивостей алюмінієвих виливків, одержаних з алюмінієвих сплавів під низьким тиском з використанням надлишкового тиску при кристалізації, адаптовані стандартні методи. Для відпрацювання технологічного процесу лиття алюмінієвих сплавів під низьким тиском створено експериментальний стенд.

Результати дослідження доповнюють теорію лиття під низьким тиском.

Практичне значення результатів дисертації обумовлена тим, що на основі досліджень закономірностей та особливостей впливу основних технологічних факторів на якість литих виробів з алюмінієвих сплавів створені нові технологічні процеси та обладнання.

Проведені дослідно-промислові перевірки створених технологічних процесів і обладнання для їх реалізації.

Результати роботи пройшли промислові випробування у Державному підприємстві «Інженерний центр литва під тиском», в Україні та було отримано позитивні результати.

Ключові слова: алюмінієві сплави, лиття під низьким тиском, зовнішні технологічні впливи, зональне охолодження, моделювання процесів, кристалізація, метод SPH, технологічний процес, високогерметичні алюмінієві виливки.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 12 публікаціях, в тому числі: в 5 статтях в наукових фахових виданнях, 1 з яких – у закордонному виданні, в 6 тезах доповідей на міжнародних науково - технічних і науково - практичних конференціях та 1 статті в інших виданнях:

1) Усовершенствование оборудования и технологии литья под давлением для получения тонкостенных отливок / Т. В. Лисенко, М. П. Тур, К. А. Крейцер, **Е. Н. Козишкурт** // *Металл и литье Украины*. 2018. № 9-10. С. 54–59.

2) Процессы кристаллизации и затвердевания отливок в разовых литейных формах / В.В. Ясюков, Т.В. Лысенко, **Е.Н. Козишкурт**, Л.И. Солоненко // *Металл и литье Украины*. 2018. № 11-12. С. 1–8.

3) Использование нанотехнологий при изготовлении отливок / Т.В. Лысенко, В.В. Ясюков, О.И. Воронова, **Е.Н. Козишкурт**, К.А. Крейцер // *Литье и металлургия*. 2019. № 4. С. 94–99. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-94-99>.

4) Obtaining castings in low-pressure casting using multiple metal wires / T.V. Lysenko, V.V. Yasyukov, K.A. Kreitser, **E.N. Kozishkurt** // *Процессы литья*. 2020. № 2 (140). С. 64-70.

5) The use of zonal cooling to control the solidification rate of AK7ch alloy castings / T.V. Lysenko, A.A. Bondar, K.A. Kreitser, **E.N. Kozishkurt** // *Met. lit'e Ukr.*, vol. 28, 2020. №2 (321). С. 30-34.

6) Using the SPH method for modeling the crystallization process of aluminum alloys / Tatiana Lysenko, Yuriy Morozov, Kyryll Kreitser, **Evgeny Kozishkurt** // *World science*, Vol.1, March 2020. № 3(55). Pp. 26-33.

7) Методи збільшення продуктивності установок лиття під низьким тиском / Лисенко Т.В, Тур М.П., **Козишкурт Є.М.**, Мосейчук М.В. // *ЛИТЬЕ. Металлургия*. – 2017. – С. 158 - 160.

8) Управління охолодженням виливків при литті під низьким тиском / Лисенко Т.В., Тур М.П., **Козішкурт Є.М.** // Краматорськ, ДДМА. – 2017. – С. 77-78.

9) Метод підвищення якості виливків з кольорових сплавів, отриманих литтям під низьким тиском / Т.В. Лисенко, **Є.М. Козішкурт**, Т.В. Гетьман // Нові матеріали і технології в машинобудуванні. – 2018. – С. 105.

10) Импульсная система безфлюсовой защиты магниевых сплавов от возгорания / Т. В. Лисенко, А. А. Бондарь, К А. Крейцер, **Е. Н. Козишкурт**, О. Ю. Морозов // Литво. Металургія. 2019 : матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 21-23 травня 2019 р.) / під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. Запоріжжя, АА Тандем. 2019. С.130 – 131.

11) Особенности вакуумирования формы при литье под давлением магниевых сплавов / Т. В. Лисенко, К. А. Крейцер, В. В. Ясюков, **Е. Н. Козишкурт**, А. Л. Морозов // Литво. Металургія. 2019 : матеріали XV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 21-23 травня 2019 р.) / під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. Запоріжжя, АА Тандем. 2019. С.132 – 133.

12) Методи підвищення якості товстостінних виливків, отриманих литтям під тиском / Т. В. Лисенко, В. В. Ясюков, К. О. Крейцер, **Є. М. Козішкурт**, Ю. Д. Пономаренко // Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарному виробництві : матеріали VIII міжнар. наук.-техн. конф. (м. Краматорськ, 15-18 жовтня 2019 р.). / за заг. ред. А.М. Фесенка, М.А. Турчаніна. Краматорськ. ДДМА, 2019. С.135 – 136.

ABSTRACT

Kozishkurt E.M. Technological process of obtaining castings from aluminum alloys by low-pressure casting based on the use of external influences. - Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 136 – Metallurgy. - Odesa National Polytechnic University, Odesa, 2020.

The dissertation is devoted to the development, improvement, and implementation of advanced technological techniques and equipment for quality management of low-pressure casting of aluminum alloys based on the use of external technological influences.

To create scientific and technological bases for the use of external technological influences in the casting of aluminum alloys to improve the quality of castings and improve the technical and economic indicators of the casting process, regularities, and mechanisms of influence of the main technological factors on the mechanical properties of castings from Ak7ch alloy were established. At the same time, it was found that overpressure from 200 to 600 KPa slightly increases the hardness index, while from 600 to 900 KPa there is a noticeable increase of 30%. The ultimate strength of samples obtained with a crystallization pressure of 600-900 KPa increases by 23%.

Regularities of the influence of several metal wires when pouring into a multi-seat mold on the formation of shrinkage looseness, shrinkage shells and, accordingly, tightness are established. The dependence of the location of shrinkage defects on various methods of metal supply is found. At the same time, it is determined that when metal is laterally fed into the casting, it cools more significantly in the extended casting system, which leads to a decrease in the power efficiency of the casting during hardening. Also, the use of double mold for pouring

reduced mold overheating due to a more uniform distribution of heat transfer from the liquid metal to the mold.

Regularities of the effect of zonal cooling on the solidification rate of castings are established. It is shown that when the casting thickness is 0.02 m with the use of zonal cooling with both copper inserts and zonal cooling with water, a dense metal structure is obtained with a maximum local thickening radius of 0.02 m, the hardness when cooling the copper insert is 1117 MPa, and when using water cooling 1019 MPa, that is, when using cooling, the local thickening has a greater solidification rate than the casting cross-section without thickening, which ensures directional solidification. With a casting thickness of 0.015 m and a local thickening radius of 0.02 m, only cooling with a copper insert gives the structure hardness in local thickening greater than the average casting hardness. With water cooling, the hardness in local thickening is lower than the average, but in both cases, it is higher than the permissible one according to TC (according to TC according to the work for Ak7ch HB = 686 MPa). In castings with a wall thickness of 0.01 m, with local thickening radii of 0.02; 0.015 m; the hardness in thickened ones, even with the use of water cooling and cooling with copper inserts, is lower than the average casting hardness. At the same time, it was found that the rate of temperature drop in the crystallization range $T_{\text{lik}} = 620 \text{ }^{\circ}\text{C}$ and $T_{\text{sol}} = 577 \text{ }^{\circ}\text{C}$ for cooling with copper inserts is $43 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$, with water cooling $22 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$, without cooling – $16 \text{ }^{\circ}\text{C/s}$.

Regularities of the influence of pressure during crystallization on the structure formation of the casting along its height are established. Grain grinding is observed from the lower part of the casting to the upper part, which ensures the principle of directional solidification. It is investigated that the pressure value during crystallization affects the solidification kinetics. The obtained experimental data indicate an intensive reduction in the start time of dendritic crystallization, the total curing time. Kinetic curves of the passage of the solidification front along the casting height at different values of P were obtained from experimental curves.

Regression-correlation analysis and mathematical statistics methods were used to analyze the experimental data. Standard methods have been adapted to

evaluate the tightness and mechanical properties of aluminum castings obtained from aluminum alloys under low pressure using overpressure during crystallization. An experimental stand has been created to test the technological process of casting aluminum alloys under low pressure.

The results of the study complement the theory of low-pressure casting.

The practical significance of the results of the dissertation is because new technological processes and equipment have been created based on research on the regularities and features of the influence of the main technological factors on the quality of cast aluminum alloy products.

Experimental and industrial inspections of the created technological processes and equipment for their implementation were carried out.

The results of the work passed industrial tests at the State Enterprise "Engineering Center for Pressure Casting" in Ukraine and positive results were obtained.

Key words: aluminum alloys, low pressure casting, external technological influences, zonal cooling, process modeling, crystallization, SPH method, technological process, highly hermetic castings.

LIST OF PUBLICATIONS

The main results of the dissertation work are presented in 12 publications, including 5 articles in scientific professional publications, 1 of which is in a foreign publication, 6 abstracts of reports at international scientific, technical, and scientific-practical conferences, and 1 article in other publications:

1) Improvement of equipment and technology of injection molding for obtaining thin-walled castings / T.V. Lisenko, M.P. Tur, K.A. Kreutzer, E.N. Kozishkurt // Metal and casting of Ukraine. 2018. No. 9-10. pp. 54-59.

2) Processes of crystallization and solidification of castings in single casting molds / V.V. Yasyukov, T.V. Lysenko, E.N. Kozishkurt, L.I. Solonenko // metal and casting of ukraine. 2018. No. 11-12. pp. 1-8.

3) The use of nanotechnologies in the manufacture of castings / T.V. Lysenko, V.V. Yasyukov, O.I. Voronova, E.N. Kozishkurt, K.A. Kreutzer // Casting and Metallurgy. 2019. No. 4. pp. 94-99. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-4-94-99>.

4) Obtaining castings in low-pressure casting using multiple metal wires / T.V. Lysenko, V.V. Yasyukov, K.A. Kreitzer, E.N. Kozishkurt // Процессы литья. 2020. № 2 (140). С. 64-70.

5) The use of zonal cooling to control the solidification rate of AK7ch alloy castings / T.V. Lysenko, A.A. Bondar, K.A. Kreitzer, E.N. Kozishkurt // Met. lit'e Ukr., vol. 28, 2020. №2 (321). С. 30-34.

6) Using the SPH method for modeling the crystallization process of aluminum alloys / Tatiana Lysenko, Yuriy Morozov, Kyryll Kreitzer, Evgeny Kozishkurt // World science, Vol.1, March 2020. № 3(55). Pp. 26-33.

7) Methods of increasing the productivity of low-pressure casting installations / Lysenko T.V., Tur M.P., Kozishkurt E.M., Moseychuk M.V. // LITYE. Metallurgy. 2017, pp. 158-160.

8) Control of cooling casting when casting under low pressure / Lysenko T.V., Tur M.P., Kozishkurt E.M. // Kramatorsk, DDMA. 2017, pp. 77-78.

9) The method of improving the quality of castings from non-ferrous alloys obtained by casting under low pressure / T.V. Lysenko, E.M. Kozishkurt, T.V. Getman // New materials and technologies in Mechanical Engineering. – 2018. - P. 105.

10) Lysenko T.V., Bondar A.A., Kreutzer A.A., Kozishkurt E. N., Morozov O. Yu. Pulse system of flux-free protection of magnesium alloys from ignition. Metallurgy. 2019: materials of the XV International Conference. Nauk. - prakt. conf. (Zaporozhye, May 21-23, 2019) / edited by Doctor of technical sciences, Prof. Ponomarenko O.I. Zaporozhye, AA Tandem. 2019. pp. 130-131.

11) Features of mold vacuuming during casting under pressed magnesium alloys / T.V. Lysenko, K.A. Kreutzer, V.V. Yasyukov, E.N. Kozishkurt, A.L. Morozov // Casting. Metallurgy. 2019: materials of the XV International

Conference. Nauk. - prakt. conf. (Zaporozhye, May 21-23, 2019) / edited by Doctor of technical sciences, Prof. Ponomarenko O. I. Zaporozhye, AA Tandem. 2019. pp. 132-133.

12) Methods of improving the quality of thick-walled castings obtained by casting under pressure / T.V. Lysenko, V.V. Yasyukov, K.O. Kreutzer, E.M. Kozishkurt, Yu.D. Ponomarenko // Promising technologies, materials and equipment in foundry production : materials of the VIII International Conference. scientific and technical conference. (Kramatorsk, October 15-18, 2019). / edited by A.M. Fesenko and M.A. Turchanin. Kramatorsk. DDMA, 2019.PP. 135-136.