

Предпосылки встраивания термообработки в процесс литья высокопрочного чугуна по газифицируемым моделям

На основе обзора информации в концепции сочетания процессов получения высокопрочных сплавов с ресурсоэффективными способами точной песчаной формовки, а также известных комбинированных процессов литья с термообработкой, рассмотрены предпосылки создания такой технологии литья высокопрочного чугуна на основе ЛГМ-процесса. Во ФТИМС НАН Украины подана заявка на патент о способе такого комбинированного литья с извлечением горячих отливок из песчаной формы и выполнением их изотермической закалки. Для этого использовали преимущества ЛГМ-процесса – быстрое разупрочнение песка формы при отключении вакуума и регулируемое охлаждение отливок в песчаной форме.

Ключевые слова: литье по газифицируемым моделям, чугун с шаровидным графитом, высокопрочный чугун, изотермическая закалка, аусферритный чугун, охлаждение отливки, песчаная форма, вакуумная формовка.

В процессе исследований под руководством профессора Шинского О. И. по теме «Разработка научных и технологических основ создания литых конструкций, оптимальных процессов их получения и проектирования» провели обзор современного состояния применения высокопрочного чугуна (ВЧ) с шаровидным графитом в литейном производстве [1]. Согласно ряду экспериментальных работ показано, что комбинированные процессы литья со встроенной термообработкой, а именно, охлаждения отливки из

ВЧ, извлеченной из формы в аустенитном состоянии и подвергнутой термообработке, позволяют получать требуемые структуры ВЧ непосредственно из литого состояния [2–4]. В табл. 1 [4–6] представлено сопоставление различных структур металлической матрицы ВЧ с механическими и эксплуатационными свойствами.

Запатентованы процессы литья ВЧ в кокиль (рис. 1) [3] с удалением (выбивкой) из него отливки при температурах 900–1000 °С, при которых из

Таблица 1

Взаимосвязь механических и эксплуатационных свойств со структурой металлической матрицы высокопрочных чугунов с шаровидным графитом

Структура	Механические свойства					Эксплуатационные свойства		
	σ_b , МПа	σ_T , МПа	КС, кДж/м ²	НВ	δ , %	Износостойкость	Герметичность	Термостойкость
Ферритная	300–500	240–300	800–1500	150–200	10–20	Низкая	Отличная	Хорошая
Ферритно-перлитная	350–580	270–320	500–800	170–230	8–10	Низкая	Отличная	Хорошая
Перлитно-ферритная	400–600	300–380	300–500	140–270	5–8	Удовлетвор.	Хорошая	Хорошая
Перлитная (пластинчатый)	500–700	400–520	100–300	220–305	1–3	Хорошая	Хорошая	Удовлетвор.
Перлитная (зернистый)	560–680	450–640	540–850	200–320	3–8	Отличная	Хорошая	Удовлетвор.
Сорбитная	610–720	490–520	100–250	270–320	1–2	Отличная	Хорошая	Удовлетвор.
Трооститная	670–800	510–600	80–150	300–370	1–2	Отличная	Хорошая	Удовлетвор.
Верхний бейнит	850–1100	550–700	850–1000	250–350	4–15	Отличная	Удовлетвор.	Удовлетвор.
Нижний бейнит	1200–1600	850–1250	700–900	350–550	1–4	Отличная	Удовлетвор.	Удовлетвор.
Аусферритная	1000–1500	600–950	200–600	300–550	2–12	Отличная	Удовлетвор.	Удовлетвор.
Мартенситная	600–900	500–600	200–300	550–650	0,5–1	Отличная	Удовлетвор.	Удовлетвор.
Отпущенный мартенсит	600–1000	500–900	150–600	280–360	2–5	Отличная	Удовлетвор.	Удовлетвор.
Аустенитная	380–500	180–260	700–1200	140–225	15–30	Хорошая	Отличная	Отличная

аустенитной области выполняют закалку отливки с последующей изотермической выдержкой ее в солевой ванне для получения бейнитной или аусферритной структуры для ВЧ типа ADI (Austempered Ductile Iron).

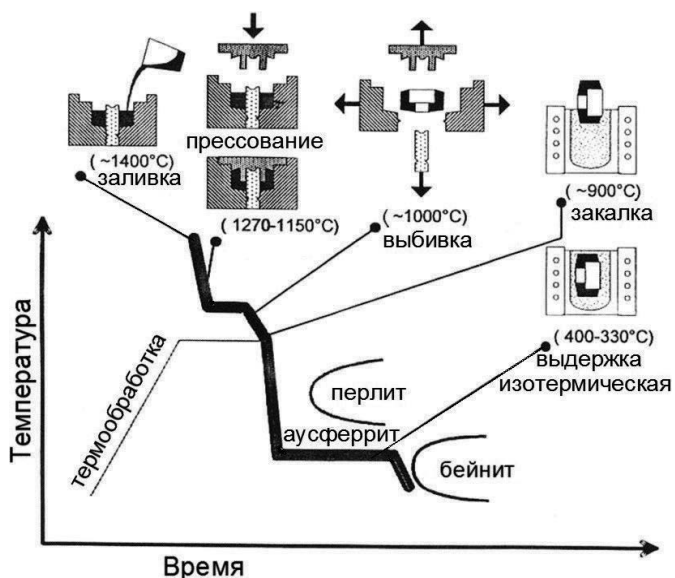


Рис. 1. Схема литья ВЧ в кокиль с охлаждением отливки по режиму термообработки [3]

Среди преимуществ этого способа – существенные сокращения снижения потребления энергии и продолжительности процесса производства по сравнению с отдельными процессами литья и термообработки. Поскольку основной объем отливок из ВЧ производят в песчаных формах, среди таких форм наиболее удобно быстрое извлечение отливки (при температурах аустенитной области) из контейнерных форм с сухим песком, в частности, при литье по газифицируемым моделям (ЛГМ).

При ЛГМ не применяют песчаных стержней, высокая сыпучесть сухого песка не требует силового воздействия на форму, свойственного выбивке отливок из форм со связующим, что значительно облегчает быстрое извлечение отливки из формы. После извлечения горячей отливки из контейнерной формы с глухим дном возможно ее охлаждение в контейнере в водовоздушной среде («спрейерное охлаждение» или «душирование») [2] как альтернатива соляным ваннам, наиболее часто применяемым для такого вида закалки. При выборе режимов изотермической закалки также учитывали опыт охлаждения путем замачивания в воде с различной выдержкой. Отливки из низколегированного чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ) с толщиной стенки до 20 мм допускается охлаждать на воздухе, а массивные отливки (с толщиной стенки 25 мм и более) замачивают в воде с выдержкой, зависящей от толщины стенки отливки. При толщине стенки 25–40 мм – в течение 4–5 с, а при толщине > 40 мм – 6–10 с [7].

Критикуя известные способы изотермической закалки металлопродукции, которые, как правило, предусматривают применение расплавов солей и щелочей, профессор Малинов Л. С. в недавней работе [8] описывает закалку с охлаждением в воде и изотермической выдержкой по схеме «вода-печь» для железоуглероди-

стых сплавов. Охлаждение из аустенитного состояния осуществлялось в воде до температуры изотермы, а выдержка при ней была в печи. Изотермическая закалка без применения расплавов солей и щелочей является энергосберегающим и экологически чистым способом термообработки, который в ряде случаев может заменить изотермическую закалку, проводимую по типовой технологии, и улучшение, которое предусматривает закалку из аустенитной области и высокий отпуск. В первом случае исключается применение расплавов солей и необходимость их утилизации, а также промывка деталей после термообработки. Во втором случае нет необходимости в проведении высокого отпуска после закалки стальной продукции, что снижает энергозатраты на термообработку. Способ изотермической закалки с охлаждением в воде и изотермической выдержкой в печи достаточно прост и легко может быть реализован в промышленных условиях [8].

Температурные режимы изотермической выдержки для получения различных структур ВЧ указаны в работе профессора Макаренко К. В. (табл. 2), в которой на основе экспериментальных работ и теории графов обоснован процесс поэтапного структурообразования графитизированных чугунов с получением требуемых структур на стадиях кристаллизации и охлаждения непосредственно из литого состояния [4]. А влияние температуры изотермической выдержки на процесс структурообразования ВЧ при различных видах термической обработки отливки показан на рис. 2 [9]. Скорость охлаждения отливок до температуры изотермического превращения и время выдержки определяют по диаграммам изотермического превращения переохлажденного аустенита.

Таблица 2

Температуры изотермических выдержек, соответствующие заданным структурам металлической матрицы

Заданная структура металлической матрицы	Температура изотермической выдержки, °С
Ферритная	750–850
Перлитная	650–740
Сорбитная	550–640
Трооститная	350–440
Верхнебейнитная	450–540
Нижнебейнитная	290–340

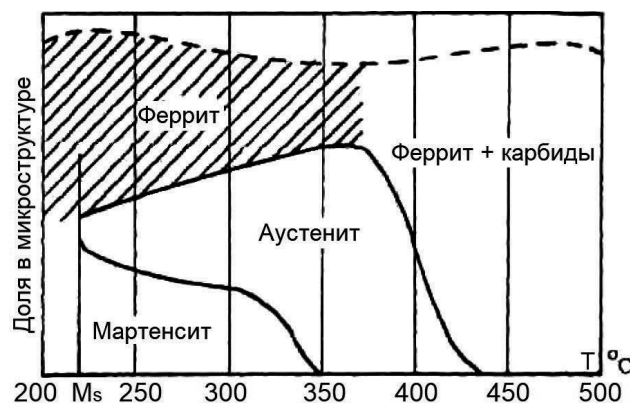


Рис. 2. Влияние температуры изотермической выдержки на структурообразование ВЧ [9]

Традиционные химически активные жидкие среды в операциях изотермической закалки авторами предложено заменить нагретым сухим песком, применяемым для формовки при ЛГМ [2], температура которого сравнима с температурой песка при выбивке отливки из контейнерных форм. Контейнеры с челюстным затвором, разработанные ФТИМС НАН Украины, удобны тем, что быстро высыпав вниз из них песок и оставив отливку в пустом контейнере (мелкие отливки на металлической решетке), при неполном закрытии затвора можно частично опускать этот контейнер в емкость с водой, замачивая отливку с различной выдержкой. Также предложены варианты помещения в контейнер перед формовкой корзины из крупноячеистой сетки с проушинами, выходящими к контрладу формы, для зацепления краном, безопасного и быстрого извлечения из песчаных форм горячих отливок и закалки их прямо в корзине. Опыт удаления сыпучего песка при регулировании охлаждения отливки [10], наличие герметичных стальных контейнеров в литейном цехе ЛГМ позволяет путем включения операций изотермической закалки в литейный процесс получать с использованием этих контейнеров изделия из бейнитного или аусферритного ЧШГ из литого состояния без термообработки как вторичной операции [2].

Процесс извлечения отливки из формы при высоких температурах, когда ее металл (железоуглеродистые сплавы) находится в аустенитном состоянии, с последующей термообработкой отливки, используя песок формы, несложно осуществить в литейном цехе ЛГМ по графику изменения температуры отливки, аналогичному на рис. 1. После извлечения из сыпучего песка формы и быстрого охлаждения с применением воды в порожнем формовочном контейнере до температур (табл. 2), отливку из ВЧ помещают в контейнер с нагретым песком до тех же температур для изотермической выдержки. При этом температуру песка поддерживают нагреванием, помещая контейнер с песком и отливкой в печь, либо нагревая песок в контейнере ТЕНами, вставленными в контейнер перед заполнением его с отливкой горячим песком. Причем длительность комбинированного варианта охлаждения отливки со встроенной в литейный процесс изотермической закалкой может быть короче традиционного охлаждения отливки в песчаной форме.

Для комбинированного охлаждения отливки предложен метод контроля структуры металла [2]. Однако введение в такой процесс сыпучей дисперсной закалочной среды требует тщательного контроля температуры и других характеристик литой конструкции, вероятно, сочетая контроль режима охлаждения с контролем качества металла отливки. Так, например, возможен, если необходимо, контроль степени сфероидизации графита в чугуне при внутриформенном модифицировании, поскольку реакция модифицирования проводится в каждой отдельной форме, в отличие от ковшевого модифицирования, когда обычно берется проба из ковша. В этой связи табличные данные свидетельствуют, что серый чугун (СЧ) отличается от ВЧ линейной усадкой, температуропроводностью, а теплопроводность ВЧ практически вдвое ниже, чем СЧ [9]. Поэтому для контроля температуры

и теплофизических свойств отливки, а также для исследования тепловых потоков в песчаной, воздушной или водо-воздушной закалочных средах, рассмотрены методы получения информации о тепловом потоке и его плотности (рис. 3) [11].

При таком комбинированном процессе охлаждения отливки и ее термической обработки снижаются затраты и длительность производства металлопродукции из ВЧ, которая способна конкурировать с прокатом легированных сталей и стальными поковками при снижении себестоимости получения равноценных по служебным свойствам заготовок.

Рассмотрим некоторые примеры применения ВЧ типа ADI из обширного обзора [12]. Еще в начале 1970-х годов финская компания Kumi Kymmene Metall стала заменять ковную сталь на ADI в широком диапазоне с весьма удовлетворительными результатами, в частности, показаны цилиндрические и конические шестерни (рис. 4). Экономия оценивается в 30 % по сравнению с кованными и стальными шестернями, использовавшимися ранее. Свойства ADI обусловлены его уникальной металлической матрицей игольчатого феррита и стабилизированного углеродом аустенита, такую структуру называют аусферритной.

Для легковых и грузовых автомобилей из ВЧ типа ADI производят детали подвески, шпиндели, ступицы, буксирные крюки, соединительные детали, дифференциалы и корпуса, кронштейны двигателя, распределительные валы, крепления двигателя, коленчатые валы и рычаги управления. Компания General Motors для автомобилей с полным приводом с 1978 года производит такие детали из ADI, и в настоящее время объем комплектов превышает 5000 в день. Один из примеров показан на рис. 5.

Перечень деталей из ADI для строительной и горнодобывающей техники включает в себя всевозможные цапги, кольцевые носители, износостойкие пластины, звездочки, крышки, плечи, суставы, валы, ролики, компоненты гусеницы, держатели инструмента, зубы экскаватора, резаки, молотковые молотки, кулачки, шатуны, втулки, скобы и компоненты конвейера (рис. 6–7).

Таким образом, в цикле обзора технической информации в концепции сочетания процессов получения высокопрочных сплавов с ресурсоэффективными способами точной песчаной формовки, а также известных комбинированных (синтезированных) процессов литья с термообработкой, рассмотрены предпосылки создания такой технологии на основе ЛГМ-процесса. Во ФТИМС НАН Украины подана заявка на патент о способе такого комбинированного литья с извлечением горячих отливок из песчаной формы и выполнением их изотермической закалки. Для этого использовали преимущества ЛГМ-процесса – быстрое разупрочнение песка формы при отключении вакуума и опыт регулируемого охлаждения отливок в песчаной форме. Получение требуемых структур в ВЧ непосредственно из литого состояния (без термообработки как вторичной операции) позволит снизить затраты и длительность производства, конкурируя с прокатом легированных сталей и стальными поковками при снижении себестоимости получения равноценной по служебным свойствам металлопродукции.

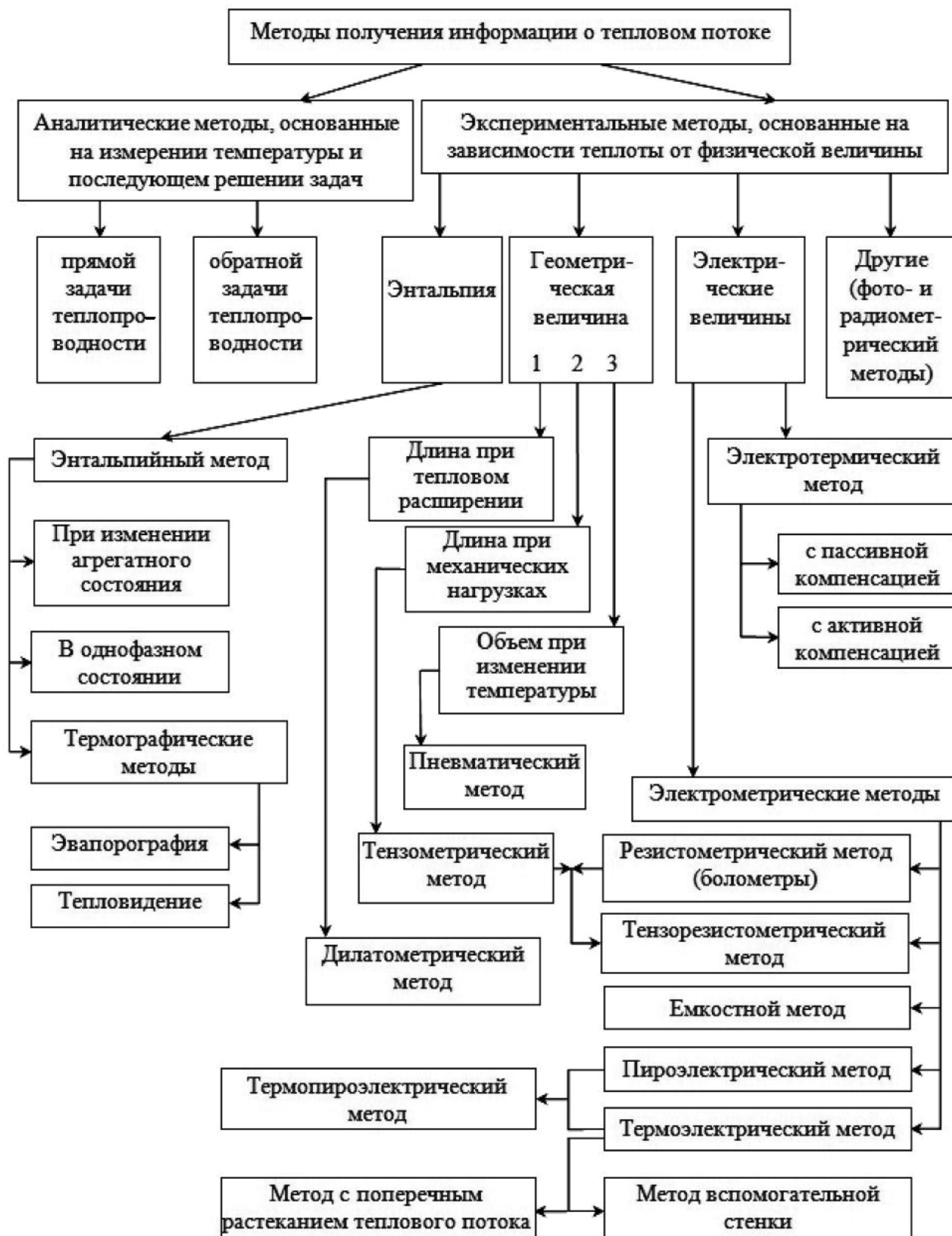


Рис. 3. Методы получения информации о тепловом потоке и его плотности [11]

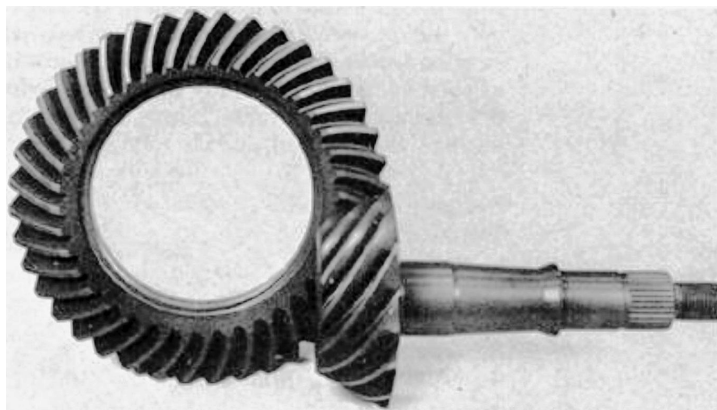
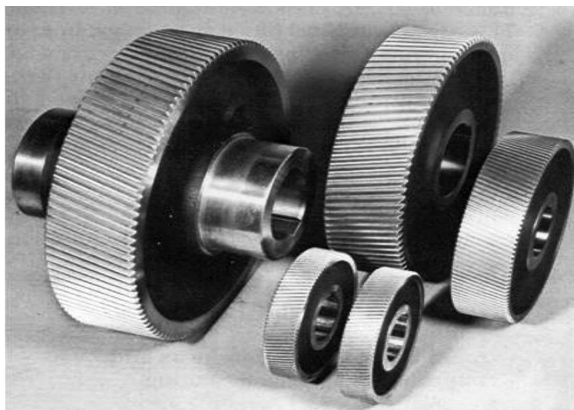


Рис. 4. Шестерни из ADI компании Kymi Kymmene Metall [12]

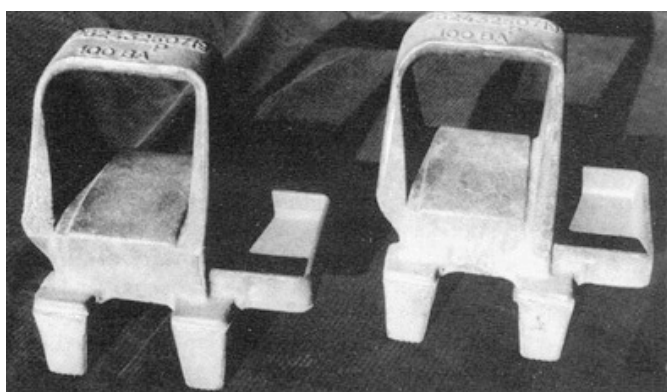


Рис. 5. Подвеска грузовой пружины из ADI, который заменил литую сталь [12]



Рис. 6. Ассортимент конвейерных компонентов из ADI [12]

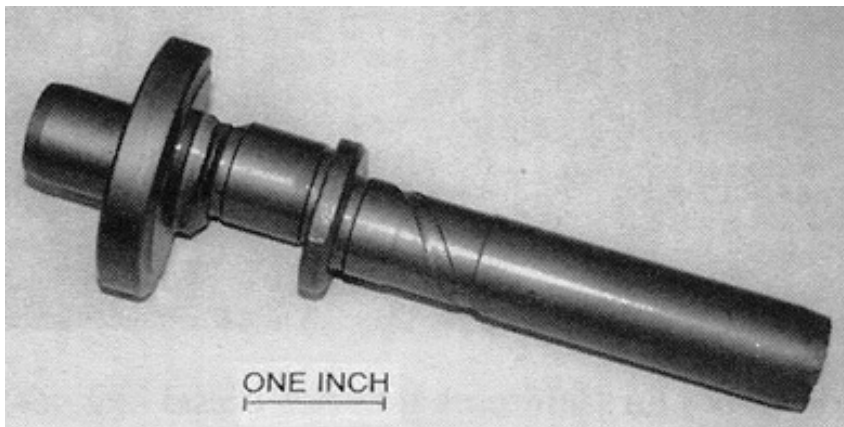
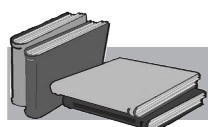


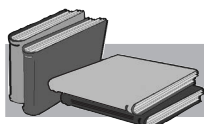
Рис. 7. Гусеничный трак (Process Inc.) и коленчатый вал для герметичного компрессора (Wagner Castings и Tecumseh Products) из ADI [12]



ЛИТЕРАТУРА

1. Гнатуш В. А., Дорошенко В. С. Тенденции мирового рынка литья из чугуна с шаровидным графитом // Процессы литья. – 2017. – № 2. – С. 70–78.
2. Дорошенко В. С. О получении аусферритного чугуна из литого состояния при ЛГМ-процессе // Процессы литья. – 2017. – № 4. – С. 35–43.
3. Patent No. 85046, Portugal. Processo de Producao de Ferrous Fundidos Bainiticos por Austempera Directa / P. B. Magalhaes, 1985.
4. Макаренко К. В. Рациональное структурирование графитизированных чугунов // Труды НГТУ им. Алексея. – 2014. – № 2 (104). – С. 196–205.

5. Машиностроение: энциклопедия: в 2 т. / Г. Г. Мухин [и др.]; под общ. ред. О. А. Банных, Н. Н. Александрова. – М.: Машиностроение. – Стали. Чугуны, 2001. – 784 с.
6. Чугун: справочник / под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. – М.: Metallurgiya, 1991. – 576 с.
7. Полухин М. С. Разработка и использование чугунов с шаровидным графитом с повышенными механическими и триботехническими свойствами / М. С. Полухин: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. – Брянск, 2009. – 148 с.
8. Малинов Л. С., Бузова Д. В. Высокая пластичность улучшаемых сталей со структурой нижнего бейнита и метастабильного аустенита // Университетская наука – 2017: Междунар. научно-техн. конф. (Мариуполь, 18-19 мая 2017 г.): тез. докл. : в 3 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2017. – Т. 1. – С. 15–17.
9. Марукович Е. И., Карпенко М. И. Литейные сплавы и технологии. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 442 с.
10. Дорошенко В. С. Регулирование охлаждения отливки в вакуумируемой форме фильтрацией хладагентов и движением частиц песка // Литейное производство. – 2013. – № 10. – С. 32–37.
11. Теплотрия: теория, методология, практика. / Т. Г. Грищенко и др. Кн. 1: Методы и средства измерения теплового потока. – К.: Инст. технич. теплофизики НАНУ, 2017. – 438 с.
12. Keough J. R. Austempered Ductile Iron // Ductile iron data for design engineers. – Strongsville: Ductile Iron Society, 1998. URL: <http://www.ductile.org/didata/Section4/4intro.htm>.



REFERENCES

1. Gnatush V. A. Doroshenko V. S. (2017). Tendentsii mirovogo rynka lit'ia iz chuguna s sharovidnym grafitom [*Trends of the world casting market from cast iron with nodular graphite*]. Protsessy lit'ia, no. 2, pp. 70–78 [in Russian].
2. Doroshenko V. S. (2017). O poluchenii ausferritnogo chuguna iz litogo sostoianiiia pri LGM-protsesse [*On the obtaining of auxferritic cast iron from the cast state at the LGM process*]. Protsessy lit'ia, no. 4, pp. 35–43 [in Russian].
3. Patent No. 85046 Portugal. Processo de Producao de Ferrous Fundidos Bainiticos por Austempera Directa. P. B. Magalhaes, 1985 [in Spanish].
4. Makarenko K. V. (2014). Ratsionalnoe strukturirovanie grafitizirovannykh chugunov [*Rational structuring of graphitized cast irons*]. Trudy NGTU im. Alekseeva, no. 2 (104), pp. 196–205 [in Russian].
5. Mukhin G. G. et al. (2001). Mashinostroenie: entsiklopediia: v 2 t. [*Mechanical engineering: encyclopedia: in 2 vol.*]. O. A. Bannykh, N. N. Aleksandrova. Moscow: Mashinostroenie. Stali. Chuguny, 784 p. [in Russian].
6. Chugun: spravochnik (1991). [*Cast iron: the directory*]. A. D. Sherman, A. A. Zhukov. Moscow: Metallurgiya, 576 p. [in Russian].
7. Polukhin M. S. (2009). Razrabotka i ispol'zovanie chugunov s sharovidnym grafitom s povyshennymi mekhanicheskimi i tribotekhnicheskimi svoistvami [*Development and use of spheroidal graphite cast iron with increased mechanical and tribotechnical properties*]. Candidate's thesis. Briansk, 148 p. [in Russian].
8. Malinov L. S., Burova D. V. (2017). Vysokaia plastichnost' uluchshaemykh staley so strukturoi nizhnego beinita i metastabil'nogo austenita [*High plasticity of improved steels with the structure of lower bainite and metastable austenite*]. Universitetskaia nauka – 2017: Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. (Mariupol, 18-19 maia 2017 g.): tez. dokl.: v 3 t., GVUZ "PGTU". Mariupol', Vol. 1, pp. 15–17 [in Russian].
9. Marukovich E. I., Karpenko M. I. (2012). Liteinye splavy i tekhnologii [*Casting alloys and technologies*]. Minsk: Belaruskaja navuka, 442 p. [in Russian].
10. Doroshenko V. S. (2013). Regulirovanie okhlazhdeniia otlivki v vakuumiruemoi forme filtratsiei khladagentov i dvizheniem chastits peska [*Control of cooling of casting in a vacuumable form by filtration of refrigerants and movement of sand particles*]. Liteinoe proizvodstvo, no. 10, pp. 32–37 [in Russian].
11. Grishchenko T. G. et al. (2017). Teplotriia: teoriia, metodologija, praktika [*Thermometry: theory, methodology, practice*]. Kn. 1: Metody i sredstva izmereniia teplovogo potoka. Kiev.: Inst. tehnic. teplofiziki NANU, 438 p. [in Russian].
12. Keough J. R. (1998). Austempered Ductile Iron // Ductile iron data for design engineers. Strongsville: Ductile Iron Society. URL: <http://www.ductile.org/didata/Section4/4intro.htm> [in English].

Анотація

Дорошенко В. С.

Передумови вбудовування термообробки в процес лиття високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються

На основі огляду інформації в концепції поєднання процесів отримання високоміцних сплавів з ресурсоефективними способами точної піщаної формовки, а також відомих комбінованих процесів лиття з термообробкою, розглянуто передумови створення такої технології лиття високоміцного чавуну на основі ЛГМ-процесу. В ФТІМС НАН України подано заяву на патент про спосіб такого комбінованого лиття з видаленням гарячих виливків з піщаної форми і виконанням їх ізотермічного гартування. Для цього використовували переваги ЛГМ-процесу – швидке знеміцнення піску форми при відключенні вакууму та регульоване охолодження виливків в піщаній формі.

Ключові слова

Лиття за моделями, що газифікуються, чавун з кулястим графітом, високоміцний чавун, ізотермічне гартування, аусферитний чавун, охолодження вилівка, піщана форма, вакуумна формовка.

Summary

Doroshenko V.

Prerequisites for the incorporation of heat treatment in the casting process of ductile cast iron for gasifying patterns

Based on the review of information in the concept of combining the processes of obtaining high-strength alloys with resource-efficient methods of precise sand molding, as well as the known combined metal casting processes with heat treatment, the prerequisites for creating such a casting technology for ductile cast iron based on the Lost Foam Casting process are considered. In the PTIMA NAS of Ukraine it was done a patent application on the method of such combined casting with the extraction of hot sand castings and the implementation of their isothermal hardening. For this purpose, the advantages of the Lost Foam Casting process were used: rapid softening of the mold sand when the vacuum was disconnected and the controlled cooling of the castings in the sand mold.

Keywords

Lost Foam Casting process, nodular cast iron, ductile iron, isothermal hardening, ausferritic cast iron, casting cooling, sand mold, vacuum molding.

Поступила 07.08.17

Ежемесячный научно-технический журнал

«Металл и литье Украины»

предлагает разместить на своих страницах рекламу:

новых технологий, оборудования и изделий, методик и материалов,

предлагаемых товаров и услуг,

информацию об обучении, выставках, конференциях

и другую полезную информацию.