

Компьютерно-интегрированное моделирование процесса заливки металла в кокиль при литье поршней

Рассмотрено моделирование процессов заливки металла в форму с применением технологии совместного компьютерно-интегрированного проектирования при литье поршней в кокиль.

Ключевые слова: технология литья, компьютерно-интегрированное проектирование, моделирование процесса заливки, двигатель внутреннего сгорания, поршень

Введение. Процессы проектирования, технологическая подготовка и производство литых поршней двигателей с воспламенением топлива от сжатия являются неотъемлемой частью системного подхода к процессу изготовления литых поршней, то есть совокупностью взаимосвязанных во времени процессов последовательного изменения состояния детали.

В современных условиях к выпускаемой продукции предъявляется ряд требований, из которых главными являются качество, низкая себестоимость и минимальное время разработки новых изделий, что может быть достигнуто с применением моделирования в рамках технологии компьютерно-интегрированного проектирования литых поршней.

Учитывая, что получение качественного поршня на этапе литья в значительной степени определяется тепловыми и гидродинамическими процессами, происходящими при заливке расплавленного металла в форму, их компьютерно-интегрированное моделирование является актуальной научно-практической задачей.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Тепловые и гидродинамические процессы литья.

Тепловые и гидродинамические процессы литья значительны по своей сути и широко представлены в многочисленных работах [1-16], авторами которых являются известные исследователи в областях гидродинамики, теплофизики, физики твёрдого тела, сопротивления материалов.

По мнению авторов [1, 2] физико-химические, тепловые и гидравлические процессы, происходящие в процессе изготовления отливок, обуславливают образование литейных дефектов.

Ряд авторов [3-5] считают, что причиной образования газовой пористости может быть увеличенное содержание газов, растворённых в металле, и повышенная его температура при заливке, а усадочные раковины, усадочная пористость возникают из-за неправильного выбора температуры заливки.

Усадочные дефекты могут возникнуть также вследствие нарушения направленности затвердевания и недостаточного питания массивных узлов отливки [6-8].

Исходя из сложности выявления размеров и мест расположений, наиболее опасными считаются скрытые дефекты газоусадочного характера, процесс образования которых начинается с этапов фазовых переходов охлаждения жидкого сплава и последующего процесса кристаллизации [9-11].

При литье деталей из алюминиевых сплавов появление брака во многом зависит от литниковой системы. Поэтому при выборе литниковой системы рекомендуется учитывать, какие изменения она внесет в процесс формирования отливок, и какие новые дефекты может повлечь такое изменение [12-14].

Согласно [6] взаимодействие расплава с формой при заполнении, охлаждении и кристаллизации обуславливает формирование заданных свойств литого поршня. Эта совокупность процессов изучалась как на тепловом уровне, так и на теплокинетическом. Кристаллизация расплава в литейной форме при формировании литой детали была рассмотрена в соответствии с теорией теплопроводности с учётом теплообмена расплава с формой и кинетики роста кристаллов при охлаждении.

Основными параметрами, изучаемыми в данных исследованиях, были направленность кристаллизации и охлаждения литого поршня в форме, которые зависят от физических характеристик системы металл-форма-окружающая среда, геометрических свойств поршня, начальных условий системы и граничных условий

Методы компьютерного моделирования литейных процессов. Известны два наиболее известных метода численного моделирования процессов затвердевания литого поршня: масштабирование и аналогирование [4, 6].

Для построения математических моделей расчёта охлаждения литого поршня в форме ранее использовались способы численного моделирования и экспериментального исследования [4-8]. При численном моделировании краевых задач числовые значения критериев подобия и переменных задают, а значения зависимых переменных вычисляют в сравнении с аналогированием или масштабированием, при котором все величины измеряют.

Численные методы физического моделирования затвердевания литого поршня в форме требуют

применения специальных статистических методов, с помощью которых повышается точность итоговых значений измеренных величин. Использование для обработки результатов моделирования методов математического планирования многофакторных экспериментов даёт возможность уменьшить влияние случайных погрешностей, представить результаты расчёта в виде полиномиальной математической модели, но является трудоёмким процессом, занимающим достаточно большое количество времени на обработку данных [15, 16].

Существующие методы численного моделирования с использованием физических моделей литейных процессов, которые происходят в результате охлаждения отливки в форме, являются трудоёмкими, при этом варьирование различными технологическими параметрами является практически невозможным.

Для моделирования многопараметрических процессов весьма успешно используются различные специализированные интегрированные компьютерные системы, в основу которых заложены наиболее распространённые математические методы: конечных элементов; конечных разностей; конечных объёмов; граничных элементов [17-20].

Метод конечных разностей является более простым для решения гидродинамических задач, но недостаточно точным из-за особенностей прямоугольной ортогональной сетки, наложенной на прямоугольную расчётную область, в которую вписана геометрия детали [18]. Однако применительно к моделированию тепловых процессов в затвердевающих отливках является более простым и достаточно точным при условии подготовки и возможном упрощении 3D-модели литой детали, а также корректном определении начальных условий и назначения граничных условий.

Для моделирования литья поршней двигателей наиболее распространены две моделирующие системы: ProCast и MagmaSoft. В Европе более популярна система MagmaSoft, в США – ProCast. Кроме того, определённый сегмент рынка в Европе занимают системы WinCast (ранее называлась Simtec) и NovaFlow (на отечественном рынке эта система имеет название LVMFlow). В Украине и СНГ лидерами по распространённости являются также два системных продукта: Полигон и LVMFlow [18].

MagmaSoft – немецкий моделирующий пакет, базирующийся на методе конечных разностей, впервые позволивший моделировать сложные литейные процессы на достаточно высоком уровне. Численными методами в MagmaSoft решаются тепловые, гидродинамические и деформационные процессы. Также численно решается задача прогноза макропористости и раковин, хотя используемые при этом модели носят явно упрощённый характер, не отражающий современные представления о сложном и динамическом характере структурированности сплавов в интервале затвердевания. Прогноз макропористости, структурных, механических и других характеристик литой детали проводится на уровне критериального анализа, который предполагает обработку базовых полей, рассчитанных численными методами с помощью относительно простых критериев [18,21].

ProCast – американский конечно-элементный пакет, по объективным показателям более мощный, чем MagmaSoft, так как помимо собственно преимуществ элементного подхода, в ProCast используются более сложные и физически-универсальные модели, что существенно повышает адекватность расчётов [21, 22]. В ProCast численными методами моделируются тепловые, гидродинамические и деформационные процессы, а также процессы структурообразования (кристаллизационные процессы). ProCast имеет собственный генератор конечно-элементных сеток, которым можно с успехом пользоваться для геометрий средней сложности.

WinCast – численные решения в данной ИКС проводятся на базе современного метода конечных элементов. Несмотря на то, что в WinCast имеются определённые упрощения при решении таких основных технологических задач как тепловая (затвердевание) и усадочно-фильтрационная (образование микропористости, макропористости и раковин), на достаточно высоком уровне моделируются деформационные процессы в процессе охлаждения литой детали, что для ряда литейных производств является весьма привлекательным [21, 23].

В системе Полигон численными методами решаются задачи моделирования гидродинамических, тепловых и усадочно-фильтрационных процессов; методами критериального анализа – задачи прогноза прочности, твёрдости, структурных параметров, размыва форм и т. п. [21, 24].

В пакете LVMFlow используется метод конечных разностей, однако, несмотря на все недостатки, LVMFlow может вполне адекватно применяться для моделирования технологических процессов литья. По таким показателям, как скорость расчётов, удобство интерфейса и некоторым другим важным параметрам, LVMFlow вполне может составлять конкуренцию любым разностным пакетам, хотя конечно-элементные пакеты типа ProCast объективно имеют более широкий круг применимости по сложности геометрии отливок и способам литья [21, 24].

Широкий спектр требований, предъявляемый к отливкам поршней, характер образования газоусадочных дефектов и многообразие существующих моделирующих систем обуславливает выполнение исследований по компьютерно-интегрированному моделированию тепловых и гидродинамических процессов заливки металла при литье поршней.

Цели и задачи исследования. Целью исследования является выявление возможностей совершенствования системы питания поршней двигателей с воспламенением топлива от сжатия для получения отливок с минимально допустимым уровнем газоусадочных дефектов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка 3D модели отливки;
- компьютерное моделирование заполнения формы расплавом и последующий анализ его результатов.

Материалы и методы исследования. В качестве исследуемой детали для компьютерно-интегрированного моделирования был взят литой поршень

Д240-1004021, производимый на Харьковском предприятии ПАО «АВТРАМАТ».

В качестве инструментария для инженерного моделирования процесса литья поршней нами была выбрана ИКС LVM Flow 2.91 (владелец лицензии – ПАО «АВТРАМАТ»).

Создание 3D-модели (рис. 1) выполнялось с учётом требований, предъявляемым к отливкам, получаемым в кокиле с применением возможностей программ Solid Works и LVM Flow.

Граничные условия и исходные данные для моделирования задавались в следующей последовательности:

- 3D-импорт (конвертирование файла в формат *.stl) и создание конечно-разностной модели;

- назначение материала для отливки и технологической оснастки, а также разделительного покрытия, наносимого на поверхности оснастки: материал отливки поршня – АК12М2МгН ГОСТ 1583-93 (ДСТУ 2839-94); материал технологической оснастки – Сталь 20, СЧ20; на формообразующие части кокиля нанесена кокильная краска толщиной – 0,2 мм, которая имеет теплопроводность $\lambda = 1,90$ Вт/м·К.

- назначение начальной температуры расплава и технологической оснастки, её охлаждения различными теплоносителями, °С: начальная температура технологической оснастки – 250 ± 280 ; температура расплава перед заливкой в форму – 710 °С; водяное охлаждение с исходной температурой воды – 20 °С;

- назначение общего времени цикла производства одной отливки: общее время одного цикла составляет – 62 с (из технологических данных ПАО «АВТРАМАТ»); с помощью модуля 3D-импорта, встроенного в ИКС LVMFlow, модель поршня с литниково-питающей системой и кокилем конвертировалась в конечно-разностную модель.

Установленные параметры ячеек: размер ячейки – 1,3 мм; количество ячеек – 3 563 430 шт.

Полученные результаты инженерного моделирования представлены графически в виде заполнения формы расплавом, направленности кристаллизации при охлаждении (переход от жидкой к твёрдой фазе).

Скорость движения расплава при заполнении формы в отдельных взятых частях не превышала критических значений $V_{кр} > 0,8$ м/с, с плавным заполнением литейной формы, без заплёскиваний и с малыми завихрениями согласно требованиям [12, 13].

Результаты исследований. Для удобства анализа результатов моделирования заполняемость формы рассматривалась поэтапно,

по мере заполнения расплавом отдельных конструктивных частей.

На рис. 2, 3 и 5 показаны шкалы, где численно и в цвете показана величина скорости движения расплавленного металла, стрелками показано направление движения металла.

Исследование движения расплава в стояке. Определено, что металл по стояку движется без лишних завихрений (рис. 2). При входе металла в стояк скорость относительно небольшая, но по мере продвижения по стояку она возрастает. Повышение скорости на высоте стояка позволяет избежать потерь температур на начальном этапе заливки, что для малогабаритных деталей является существенным фактором. При таких условиях металл попадает в следующий элемент литниковой системы с наименьшими потерями.

На входе в стояк значение скорости движения металла составляет $V = 0,5$ м/с, далее по направлению движения, к основанию стояка и далее в зумпф, расплавленный металл развивает скорость $V = 0,8$ м/с.

Движение расплава на входе в форму. На рис. 3 можно увидеть, что скорость движения металла составляет 0,4 м/с. После этого металл поступает в коллектор, площадь сечения которого равна площади сечения стояка, и за счёт этого металл постепенно заполняет коллектор. Скорость металла при входе в

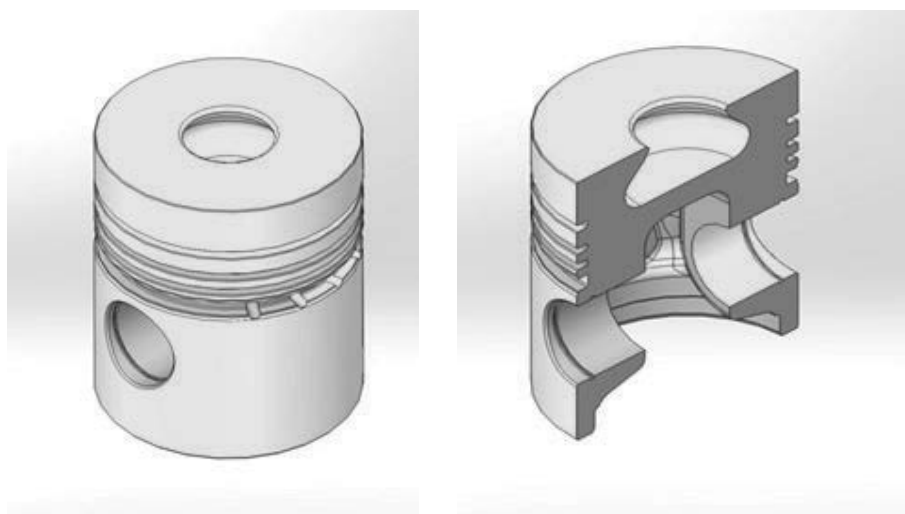


Рис. 1. 3D-модель литой детали поршня Д 240-1004021

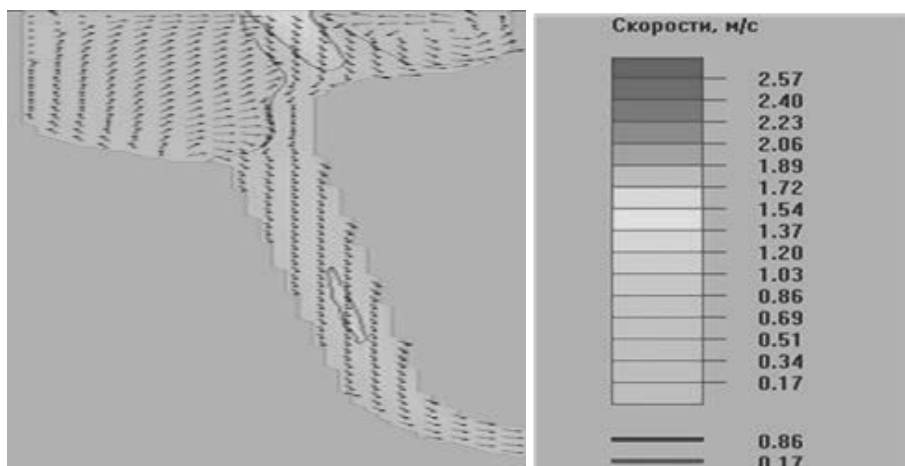


Рис. 2. Движение расплава в стояке

коллектор уменьшается и её значение составляет 0,2 м/с. Такое значение скорости течения металла в форме в данном элементе литниковой системы, согласно данным [12, 13], считается удовлетворительным.

Движение металла в полости отливки. Моделирование заполнения формы показало, что скорость движения расплава составляла 0,2 м/с, благодаря чему, при обеспечении направленного заполнения, достигается ламинарный характер движения расплава.

Как видно из рис. 4 на донной полости отливки расплав движется от застывших частей к более горячим.

В то же время создаются встречные потоки (рис. 5), но завихрение происходит внутри отливки, не перемещаясь к стенке формы.

Анализ результатов моделирования показал, что движение расплава в форме можно считать удовлетворяющим требованиям [12,13].

– проходя через элементы литниковой системы, расплав не приобретает турбулентный характер движения;

– заполнение формы происходит без превышения критических скоростей.

Выводы

Проходя через элементы литниковой системы, расплав не приобретает турбулентный характер движения.

Заполнение формы происходит без превышения критических скоростей.

Плавность потока и последовательности заполнения обеспечивается плавными переходами от одних элементов к другим и отсутствием конструктивного элемента «коллектор».

Компьютерно-интегрированное моделирование процесса заливки позволяет определить правильность выбора технологических параметров литья, оптимизировать литниковую систему.

Моделирование заполнения даёт возможность на этапе проектирования предотвратить возникновение дефектов газоусадочного характера.

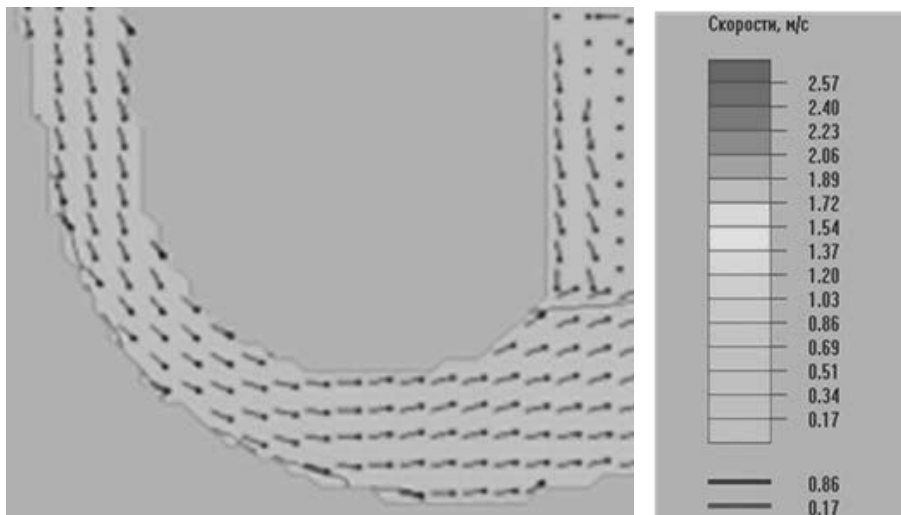


Рис. 3. Движение расплава на входе в форму

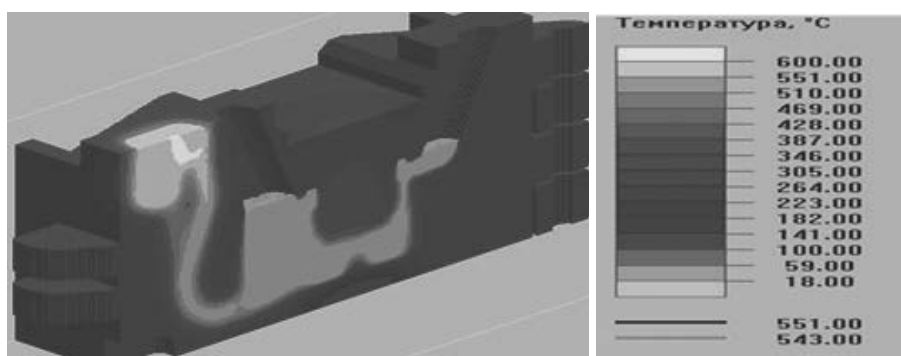


Рис. 4. Распределение температурного поля в форме

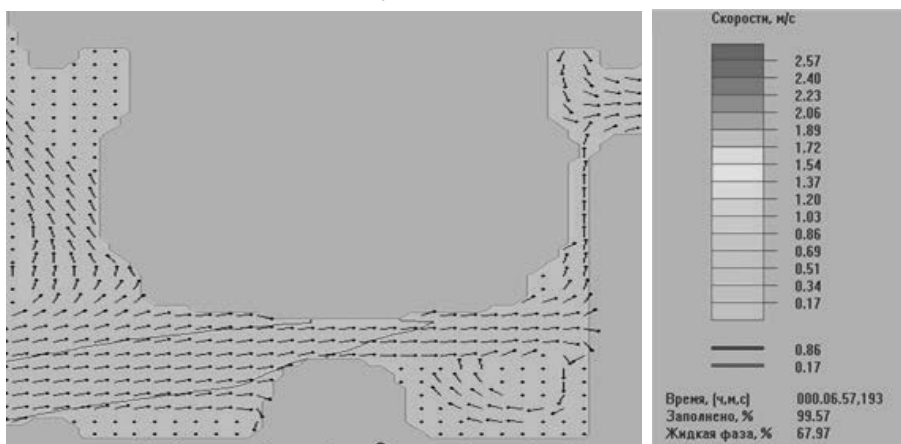
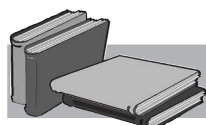


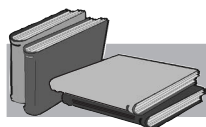
Рис. 5. Движение металла в формообразующей части



ЛИТЕРАТУРА

1. Галдин Н. М. Цветное литье: справочник. / Н. М. Галдин, Д. Ф. Чернега, Д. Ф. Иванчук ; под. ред. Н. М. Галдина. – М. : Машиностроение, 1989. – 528 с.
2. Акимов О. В. Научные основы конструкторско-технологического проектирования литых деталей ДВС: дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.03 / Акимов Олег Викторович ; Харьковский политехнический ин-т, нац. техн. ун-т. - Х. : НТУ "ХПИ", 2008.
3. Вейник А. И. Литье в кокиль / А. И. Вейник – М. : Машиностроение, 1980. – 415 с.

4. Вейник А. И. Теория затвердевания отливки / А. И. Вейник. – М. : Машгиз, 1960. – 436 с.
5. Вейник А. И. Тепловые основы теории литья / А. И. Вейник. – М. : Машгиз, 1962. – 382 с.
6. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки : в 2-х частях. – Ч.1. / Г. Ф. Баландин. – М. : Машиностроение, 1976. – 328 с.
7. Анисович Г. А. Затвердевание отливок / Г. А. Анисович. – Минск : Наука и техника, 1960. – 436 с.
8. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов / Б. Б. Гуляев. – Л. : Машиностроение, 1976. – 216 с.
9. Производство отливок из сплавов цветных металлов /А.В. Курдюмов, М. В. Пикунов, В. М. Чурсин, Е. Л. Бибииков. – М.: Металлургия, 1986. – 416 с.
10. Курдюмов А. В. Литейное производство цветных и редких металлов: учебное пособие для вузов. / А. В. Курдюмов, М. В. Пикунов, В. М. Чурсин. – Металлургия, 1982.
11. Алехин В. И. Моделирование мест проявления дефектов усадочного характера при проектировании литых деталей ДВС / В. И. Алехин, А. В. Белогуб, А. П. Марченко, О. В. Акимов // Металл и литье Украины. – 2010. – № 12. – С. 27-30.
12. Дубицкий Г. М. Литниковые системы / Г. М. Дубицкий. – М. : Машгиз, 1962. – 255 с.
13. Рабинович Е. З. Гидравлика / Е. З. Рабинович. – М.: Машгиз, 1977. – 304 с.
14. Алёхин В. И. Совершенствование литниковых систем для отливок цилиндрического типа из алюминиевых сплавов / В. И. Алёхин, Б. П. Таран, С.Б. Таран // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – 2006. – Вип.10. – С.104-107.
15. Грачев Ю. П. Математические методы планирования экспериментов / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин – М.: ДеЛи принт, 2005.
16. Кубланов М. С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов: учебное пособие. Часть II. / М. С. Кубланов – [3-е изд.]. – 2014. – С. 125.
17. Розин Л. А. Метод конечных элементов / Л. А. Розин // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – Т. 6. – №. 4. – С. 120-127.
18. Тихомиров М. Д. Основы моделирования литейных процессов. Что лучше – метод конечных элементов или метод конечных разностей / М. Д. Тихомиров, И. А. Комаров // Литейное производство. – 2002. – №. 5. – С. 22-28.
19. Смирнов Е. М. Метод конечных объемов в приложении к задачам гидрогазодинамики и теплообмена в областях сложной геометрии / Е. М. Смирнов, Д. К. Зайцев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2004. – № 2. – С. 36.
20. Бреббия К. Применение метода граничных элементов в технике / К. Бреббия, С. М. Уокер – М.: Изд. Мир, 1982.
21. Тихомиров М. Д. Сравнительный обзор наиболее известных систем компьютерного моделирования литейных процессов: материалы научно-практического семинара «Новые подходы к подготовке производства в современной литейной промышленности». – 2004. – С. 118.
22. HU H. et al. Application of the software ProCAST in the casting of solidification simulation [J] // Materials Science and Technology. – 2006. – Т. 3. – С. 19.
23. Vajss K., Ogorodnikova O. M., Popov A. V. Computerized engineering analysis of castings in the WinCast Program. Metalcasting industry trends / K.Vajss, O. M. Ogorodnikova, A. V. Popov // Liteinoe Proizvodstvo(Russia). – 2002. – Т. 7. – С. 25-26.
24. Турищев В. Моделирование литейных процессов: что выбрать? / Турищев В. //Литейное производство. – 2005. – №. 11. – С. 54-55.



REFERENCES

1. Galdin N. M., Chernega D. F., Ivanchuk D. F. (1989). Cvetnoe lit'e: spravochnik. [Non – Ferrous casting: a Handbook]. Moscow: Mashinostroenie, pp. 528. [in Russian].
2. Akimov O. V. (2008). Nauchnye osnovy konstruktorsko-tehnologicheskogo proektirovaniya lityh detalej DVS. [The scientific basis of engineering and design of cast parts of internal combustion engines]. Doctors thesis. Kharkov. [in Russian].
3. Veynik A. I. (1980). Lit'e v kokil'. [Chill casting]. Moscow : Mashinostroenie, pp. 415. [in Russian].
4. Veynik A. I. (1960). Teoriia zatverdevaniya otlivki [Theory of solidification of castings]. Moscow : Mashgiz, pp. 436. [in Russian].
5. Veynik A. I. (1962). Teplovye osnovy teorii lit'ia [Thermal fundamentals of the theory of casting]. Moscow: Mashgiz, pp. 382. [in Russian].
6. Balandin G. F. (1976). Osnovy teorii formirovaniia otlivki: v 2-h chastyah. – Ch.1. [Fundamentals of the theory of formation of castings:in two parts]. Moscow : Mashinostroenie, V. 1, pp. 328. [in Russian].
7. Anisovich G. A. (1960). Zatverdevanie otlivok [Solidification of castings]. Minsk : Nauka i tehnika, pp. 436. [in Belorusse].
8. Gulyaev B. B. (1976). Teoriia litynyh processov. [The theory of foundry processes]. Leningrad: Mashinostroenie, pp. 216. [in Russian].
9. Kurdumov A. V., Pikunov M. V., Chursin V. M., Bibikov E. L. (1986). Proizvodstvo otlivok iz splavov cvetnyh metallov. [Production of castings from alloys of non-ferrous metals]. Moscow: Metallurgija, pp. 416. [in Russian].
10. Kurdumov A. V., Pikunov M. V., Chursin V. M. (1982). Liteynoe proizvodstvo cvetnyh i redkih metallov: uchebnoe posobie dlia vuzov. [Foundry-ferrous and rare metals: tutorial for universities]. Moscow: Metallurgija. [in Russian].
11. Alehin V. I., Belogub A. V., Marchenko A. P., Akimov O. V. (2010). Modelirovanie mest projavlenija defektov usadochnogo haraktera pri proektirovanii lityh detalej DVS. [The simulation places of shrinkage defects in the design of cast parts of internal combustion engines. Kiev: Metall i lit'e Ukrainy, no 12, pp. 27-30. [in Ukraine].
12. Dubickiy G. M. (1962). Litnikovye sistemy. [The casting system]. Moscow: Mashgiz, pp. 255. [in Russian].
13. Rabinovich E. Z. (1977). Gidravlika [Hydraulics]. Moscow: Mashgiz, pp. 304. [in Russian].
14. Alyohin V. I., Taran B. P., Taran S. B. (2006). Sovershenstvovanie litnikovyyh sistem dlja otlivok cilindricheskogo tipa iz aljuminievyh splavov [Improve Gating systems for castings such as a cylinder of aluminum alloy]. Moscow: Visnik nacional'nogo tehničnogo universitetu «HPI», V. 10, pp. 104-107. [in Russian].

15. Grachev Ju. P., Plaksin Ju. M. (2005). Matematicheskie metody planirovaniya jeksperimentov [Mathematical methods of planning of experiments]. Moscow: DeLi print. [in Russian].
16. Kublanov M. S. (2014). Matematicheskoe modelirovanie. Metodologiya i metody razrabotki matematicheskikh modeley mehanicheskikh sistem i processov: uchebnoe posobie. Chast' II. [Mathematical modeling. Methodology and methods of constructing mathematical models of mechanical systems and processes: a tutorial. Part II]. Moscow: Moskovskiy gosudarstvennyy tehniceskij universitet grazhdanskoj aviatsii, pp. 125. [in Russian].
17. Rozin L. A. (2000). Metod konechnyh elementov. [Finite element method]. Sorosovskij obrazovatel'nyy zhurnal, T. 6, no 4, pp. 120-127. [in Russian].
18. Tihomirov M. D., Komarov I. A. (2002). Osnovy modelirovaniia liteinyh processov. Chto luchshe – metod konechnyh elementov ili metod konechnyh raznostey. [Basics of modeling of casting processes. Which is better - the finite element method or finite difference method]. Moscow: Liteynoe proizvodstvo, no 5, pp. 22-28. [in Russian].
19. Smirnov E. M., Zaycev D. K. (2004). Metod konechnyh obyemov v prilozhenii k zadacham gidrogazodinamiki i teploobmena v oblastiah slozhnoy geometrii. [Finite volume method in application to problems of fluid dynamics and heat transfer in regions of complex geometry]. Sankt-Peterburg: Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU, no 2, pp. 36. [in Russian].
20. Brebbia K., Uoker S. M. (1982). Primenenie metoda granichnyh elementov v tehnikе. [Application of boundary element method in engineering]. Moscow: Izd. Mir. [in Russian].
21. Tihomirov M. D. (2004). Sravnitel'nyj obzor naibolee izvestnyh sistem komp'yuternogo modelirovaniia liteinyh processov: materialy nauchno-prakticheskogo seminarа «Novye podhody k podgotovke proizvodstva v sovremennoj litejnoj promyshlennosti». [A comparative overview of the most known systems of computer modelling of foundry processes: materials of the scientific – practical seminar «New approaches to the preparation of production in modern foundry industry»]. Sankt-Peterburg: pp. 118 [in Russian].
22. HU H. et al. (2006). Application of the software ProCAST in the casting of solidification simulation [J]. Materials Science and Technology, Vol. 3, pp. 19. [in English].
23. Vajss K., Ogorodnikova O. M., Popov A. V. (2002). Computerized engineering analysis of castings in the WinCast Program. Metalcasting industry trends. Moscow: Liteinoe Proizvodstvo, v. 7, pp. 25-26. [in Russian].
24. Turishhev V. (2005). Modelling of foundry processes: what to choose?]. Moscow: Liteynoe proizvodstvo, no 11, pp. 54-55. [in Russian].

Анотація

Идрис Г. Г., Акимов О. В., Марченко А. П.

Комп'ютерно-інтегроване моделювання процесу заливки металу в кокіль при литті поршнів

Розглянуто моделювання процесів заливки металу в форму із застосуванням технології спільного комп'ютерно-інтегрованого проектування при литті поршнів в кокіль.

Ключові слова

технологія лиття, комп'ютерно-інтегроване проектування, моделювання процесу заливки, двигун внутрішнього згорання, поршень

Summary

Idris G., Akimov O., Marchenko A.

Computer-integrated simulation of metal casting process in a metal mold for casting pistons

The process modeling of metal casting into a mold with the use of combined technology computer-integrated design for chill of pistons is presented.

Keywords

casting technology, COMPUTER-integrated design, simulation of casting processes, the internal combustion engine, the piston

Поступила 10.04.2016