

Рис. 9. Суммарные перемещения в сечении в различные моменты времени: 1 – $t = 1$ с, 2 – $t = 10$ с

Кроме того, проведены исследования термонапряжения и перемещения в различные моменты времени в точках на наружном контуре. Результаты показывают, что опасными являются точки в местах изменения диаметра с 6 до 7,8 мм.

Рассмотренные программы представляют возможность пользователю вести анализ полей температур и термонапряжений для тел с произвольной геометрией границы области и различными краевыми условиями, в т.ч. и многосвязных областей. Имеется возможность редактирования исходных данных и варьирования параметров нагрева и свойств материала, а также использования движущихся источников тепла.

Следует отметить, что разработанная программа позволяет решать задачи при одновременном действии механической нагрузки и нестационарных полей температур.

HVISEVICH V.M., VEREMEJCHIK A.I., GARBACHEVSKIJ V.V. Numerical account of temperature fields and thermal effort at superficial hardening punch for a punched hole of apertures

In the present work the results of account and visualization of fields of temperatures, movings and pressure arising in punch for a punched hole of apertures under action of a concentrated high-temperature source of heat, received with application of functionalities of a method of the boundary integrated equations and certainly - element package ANSYS Workbench are submitted.

УДК 621.74.045

Иванькович А.А., Лисовский А.Л.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ КАЗАНА ЧУГУННОГО В УСЛОВИЯХ ОАО «ТЕХНОЛИТПОЛОЦК»

Введение. Разработка систем автоматизированного проектирования кокильной оснастки на протяжении долгого времени остается одним из самых важных и в то же время сложнейших вопросов литейного производства. От решения этого вопроса в значительной степени зависит уровень технологии и степень автоматизации процесса кокильного литья.

Благодаря рационально выбранному подходу к конструированию кокиля можно добиться хорошего качества получаемых отливок и высокой стойкости кокильной оснастки. В последнее время методы моделирования технологических процессов постепенно вытесняют традиционные методы расчетов, используемые при проектировании кокильных отливок и оснастки. Математические методы позволяют с высокой долей вероятности предсказывать свойства будущей реальной отливки или оснастки, прогнозировать возможности образования тех или иных дефектов.

Методика исследования. Анализ многочисленных научно-технических публикаций показывает, что на предприятиях литейного производства республики Беларусь и стран СНГ при проектировании кокильной оснастки в значительной степени доминируют традицион-

Заключение. В данной статье проведено исследование напряженно-деформированного состояния пробивного пуансона при стационарном и нестационарном температурных нагружениях. Разработан алгоритм и проведена численная реализация построенных интегральных уравнений задач стационарной и нестационарной термоупругости [5]. Построены графики распределения температуры в зависимости от координат и времени. Получены зависимости распределения компонентов напряжения и перемещения.

Результаты определения перемещений, напряжений и деформаций сравнивались с результатами расчетов, полученных с помощью программного комплекса ANSYS, построенного на базе метода конечных элементов.

Полученные результаты нестационарного температурного анализа могут быть непосредственно использованы для определения оптимальных режимов работы плазмотронов и других высококонцентрированных источников нагрева, позволяющих проводить поверхностную обработку металлоизделий высокотемпературной плазменной струей.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бреббия, К. Методы граничных элементов / К. Бреббия [и др.] – М.: Мир, 1987. – 524 с.
- Крауч, С. Методы граничных элементов в механике твердого тела / С. Крауч, А. Старфилд – М.: Мир, 1987. – 328 с.
- Кундас, С.П. Компьютерное моделирование процессов термической обработки сталей: монография – Мн.: Бестпринт, 2005. – 313 с.
- Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров / А.В. Чигарев, А.С. Кравчук – М.: Машиностроение-1, 2004. – 466 с.
- Веремейчик, А.И. Граничные интегральные уравнения двумерных нестационарных краевых задач несвязанной термоупругости // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – С. 99–102.

Материал поступил в редакцию 10.10.11

ные методы, не использующие методы математического моделирования и опирающиеся на полуэмпирические методы расчета кокиля [1, 2]. К методам математического моделирования как к крайнему варианту прибегают лишь в тех случаях, когда невозможно добиться необходимых результатов (заданного качества отливок, требуемой стойкости оснастки и др.) методами традиционных расчетов. Одна из основных причин состоит в том, что в настоящее время для решения проблем проектирования кокильной оснастки предлагаются различные САД системы, позволяющие повысить методы проектирования с использованием методов машинной графики. В то же время известно, что разрабатываемая оснастка для кокиля должна учитывать особенности затвердевания отливки и процессы заполнения кокиля. Следует учитывать и процессы формирования напряжений, как в кокиле, так и в отливке. А здесь обычные САД-системы оказываются не достаточно эффективны.

Моделирующие системы не предназначены для генерации технологических параметров. Это часто неожиданно для тех, кто ждет от программного обеспечения в рамках САПР автоматически генерируемых готовых технологических решений. Иногда в моделирующие си-

Иванькович А.А., Лисовский А.Л. Полоцкий государственный университет.
Беларусь, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина, 29.

стемы встраивают различные оптимизационные алгоритмы, которые в определенной мере можно считать функциями систем синтеза, но пока это скорее попытки механически применить моделирование для решения некоторых тривиальных задач проектирования литейной технологии, чем отражение реального назначения и возможностей. Так или иначе, все параметры моделируемой технологии пользователь-технолог в качестве входных данных должен определить сам: полную геометрическую модель отливки и формы, параметры всех материалов, граничные и начальные условия, отражающие технологию, и т.д. Более того, поскольку речь идет о моделировании реальных физических процессов, то входные данные имеют физическое, а не технологическое содержание и отличаются от тех параметров, которые записываются в технологические карты. Например, если речь идет о некотором материале (сплав, формовочная смесь и т.п.), то для моделирования необходимы значения его теплоемкости, теплопроводности и т.д., а не химический состав материала и способы его приготовления, которые записаны в технологии. Несмотря на то, что физические характеристики материалов, безусловно, связаны с параметрами, заданными в технологии, чаще всего эта связь неизвестна, причем иногда неизвестна даже на качественном уровне.

В этом случае необходимо использовать так называемые CAE-системы (системы автоматизированного моделирования), которые позволяют моделировать и анализировать процессы литья в кокиль.

Технологические модули, входящие в CAD / CAM / CAE – системы, представляют собой функциональную интегрированную среду, поддерживающую практически все технологические процессы, используемые в машиностроительном производстве: многокоординатного фрезерования, сверления, токарной обработки, электроэрозионной обработки, производства литейных форм, пресс-форм и штампов. В качестве исходной информации для генерации траекторий движения инструментов используется геометрическая модель изделия, которая может быть синтезирована в данной системе или импортирована из других систем геометрического моделирования.

Именно CAE-системы являются реальным инструментом выбора и оптимизации кокильной оснастки. Одной из таких систем моделирования является компьютерная система «ПроЛит-1.0» [2], позволяющая моделировать процессы течения и кристаллизации металла в песчано-глинистых формах. Эта система позволяет оценить вероятность образования недоливов и различных видов пористости в отливке для кокильного литья. Однако эта система не позволяет промоделировать процесс формирования напряжений и деформации в кокиле при его заполнении и тем самым оценить его стойкость. Хорошо известно, именно стойкость кокиля является одной из важнейших характеристик, которую необходимо учитывать, выбирая оптимальную пространственную конфигурацию кокильной оснастки.

Результаты и их обсуждения. В настоящее время в БНТУ, используя описанный выше подход, разрабатывается программный комплекс САПКО-1 (система автоматизированного проектирования кокильной оснастки), включающий следующие компоненты: CAD-систему построения геометрической твердотельной модели; систему моделирования заполнения и кристаллизации металла («ПроЛит-1.0»); компьютерную систему для расчета напряжений и деформаций в кокиле; надстроечный модуль, позволяющий выбирать и оптимизировать конструкцию кокиля.

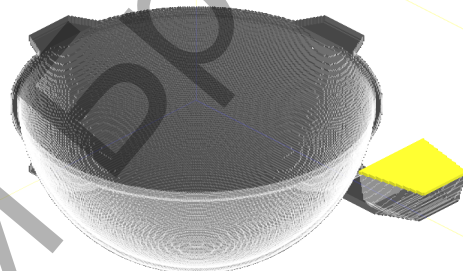


Рис. 2. Модель казана

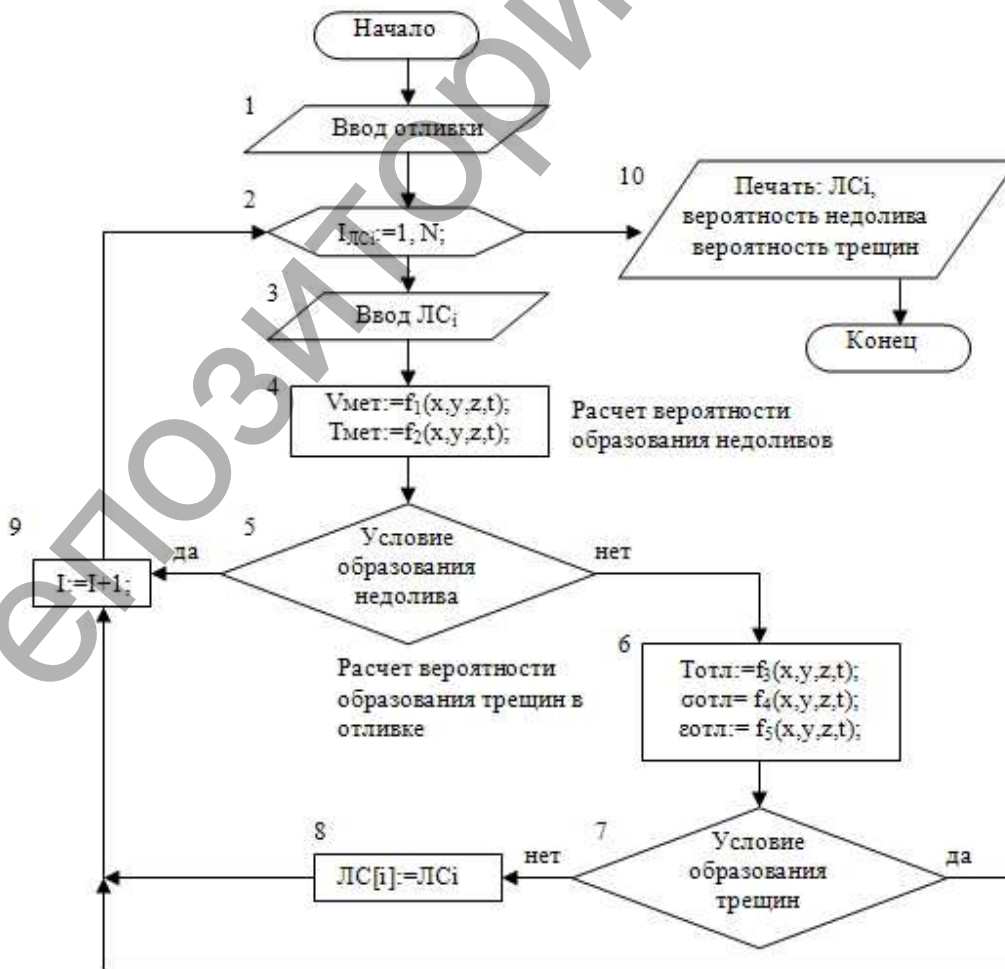


Рис. 1. Алгоритм выбора варианта литниковой системы для кокильной отливки [2]

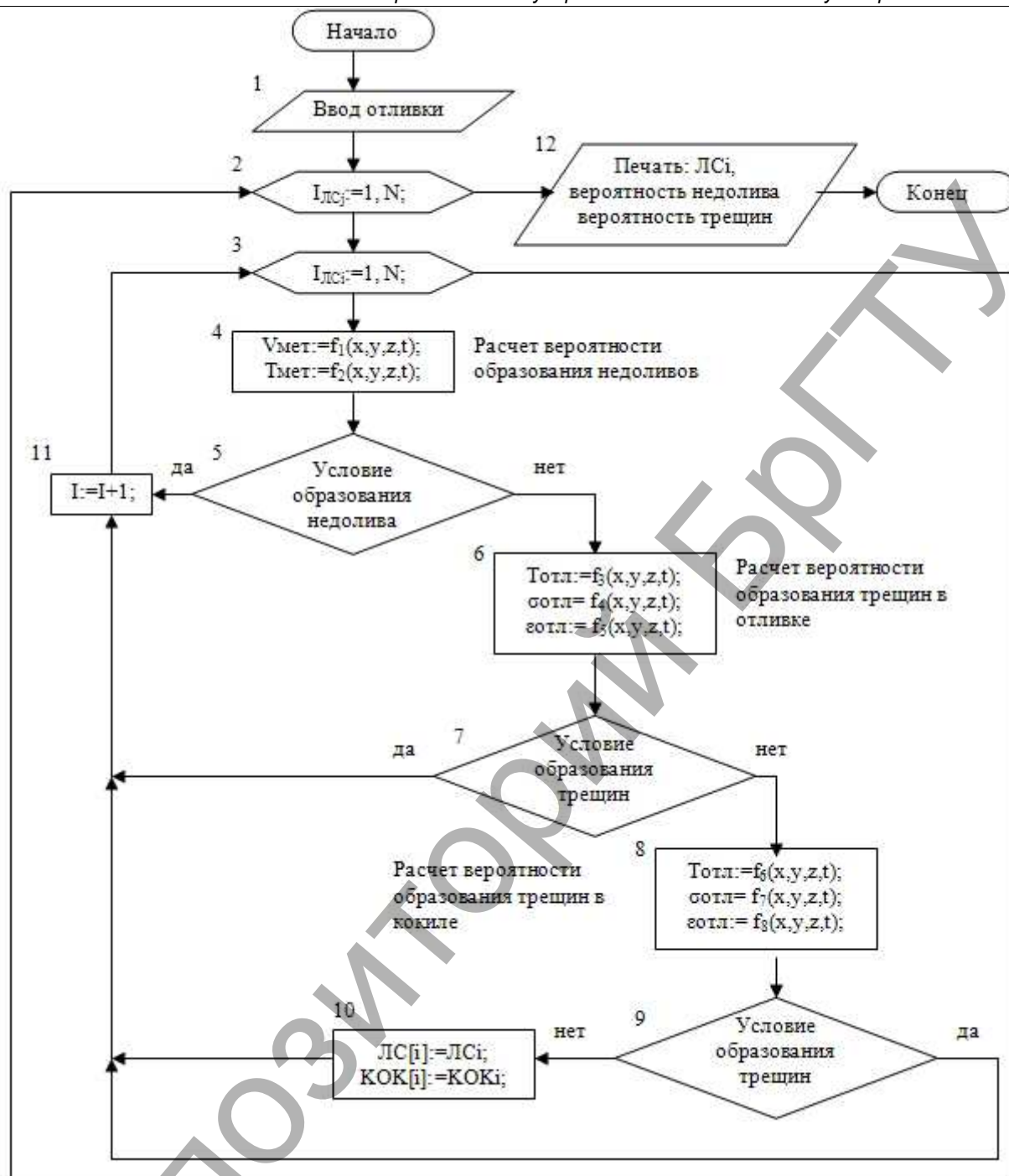


Рис. 3. Алгоритм выбора конструкции кокиля [2]

На основе этой модели нами было принято решение, используя данный подход, спроектировать кокиль казана чугуна для ОАО «ТехнолитПолоцк».

После анализа процесса заполнения системы «отливка – литник» проводилось моделирование и расчет напряжений и деформаций в отливке (рис. 2, блок 6). На основе этих данных проводилась оценка вероятности образования трещин в отливке. Если высока вероятность образования трещин, то литниковая система, соответствующая этому варианту, отбрасывалась и осуществлялся дальнейший перебор вариантов. Таким образом, применяемая нами алгоритмическая схема позволила системно анализировать литниковые системы для кокильных отливок и предложить наиболее перспективный вариант для дальнейшей разработки кокиля казана чугуна.

При разработке конструкции кокильной оснастки использовался алгоритм, представленный на рис. 3, – алгоритм выбора конструкции кокиля казана.

На этой стадии анализировались различные варианты кокильной оснастки на основе расчетов температурного поля кокиля казана, поля напряжений и деформаций кокиля казана. На первом этапе для заданной отливки разрабатывалось 8 вариантов компоновки кокиля казана. Далее на втором этапе для каждого варианта кокиля производился перебор перспективных вариантов литниковых систем, полученных в ходе выполнения алгоритма, показанного на рис. 2. Для каждой комбинации «кокиль – литниковая система» проводились повторные расчеты возможности образования недоливов и трещин в отливке и расчет вероятности образования трещин в кокиле. Основными критериями при выборе кокиля казана являлись критические значения предела прочности с учетом марки чугуна кокиля казана, а также наличие различных участков перегрева снижающих стойкость кокиля. Таким образом, в результате выполнения этого алгоритма выбирались оптимальные варианты кокильной оснастки, как по литниковой системе, так и по конструкции кокиля казана чугуна.

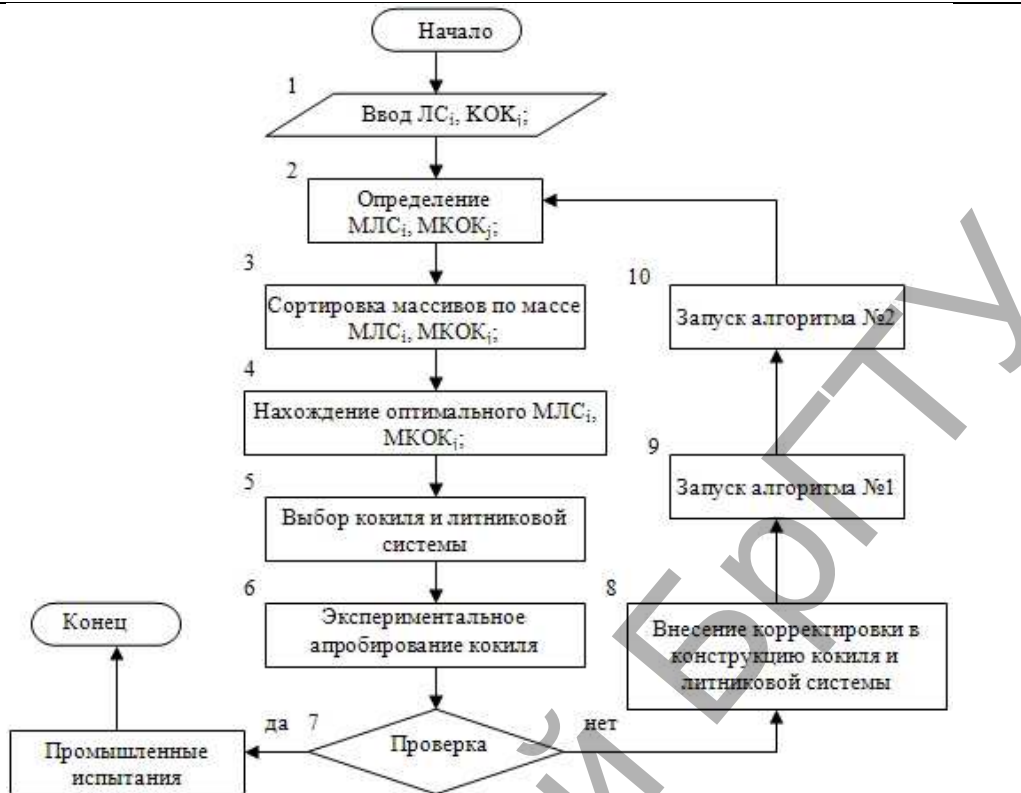


Рис. 4. Алгоритм оптимизации кокиля по массе литниковой системы и массе кокиля [2]

Для минимизации массы литниковой системы и кокиля казана, но не в ущерб качеству отливок и стойкости кокильной оснастки, использовали возможности CAD-системы по определению объема 3D модели, определяется масса литниковой системы и кокиля казана. Полученный массив данных сортировали по массе, и производили выбор оптимального сочетания кокиль–литниковая система (рис. 4). Далее следует этап экспериментального апробирования полученного варианта и в случае неудовлетворительного варианта – внесение корректив в конструкцию и запуск алгоритмов № 2–3.

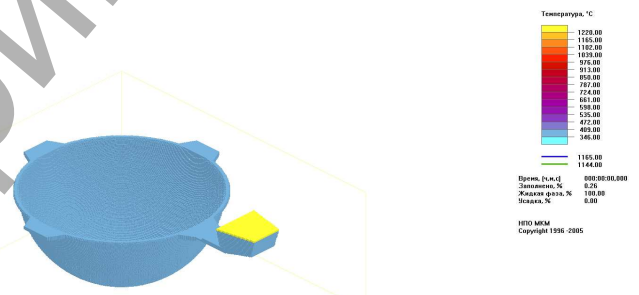


Рис. 6. Температура металла в начале заливки кокиля

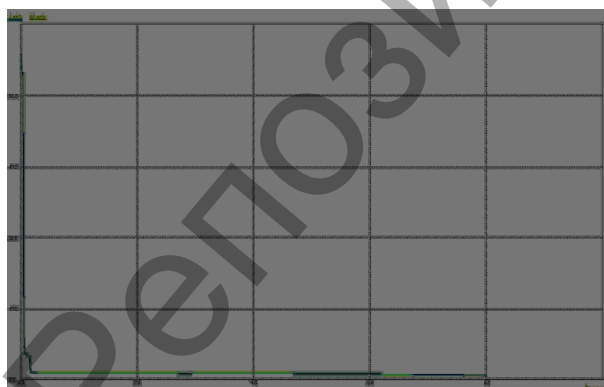


Рис. 5. Скорость заполнения металлом кокиля

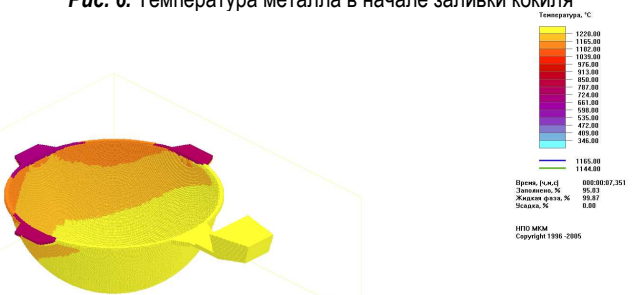


Рис. 7. Температура металла в конце заливки кокиля

Моделирование процесса заполнения кокиля и моделирование напряженного состояния кокиля казана и отливки могут привести к ситуации, при которой необходимо критерияльно оценить, какой из рассчитанных вариантов лучше.

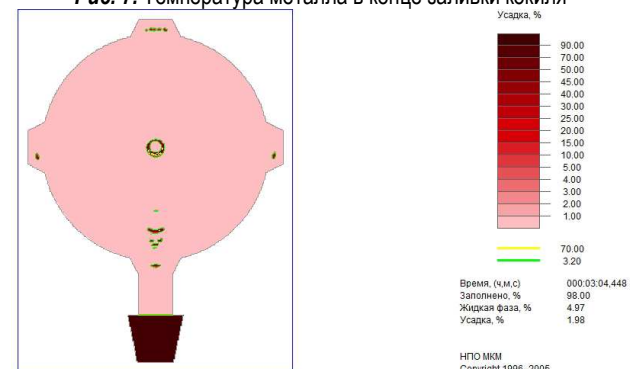


Рис. 8. Дефекты отливки и места их прогнозирования

Для этого использовали методику, предложенную А.Н. Чичко, Т.В. Матюшинец.

Заключение. Таким образом, данные расчеты позволили провести оптимизацию конструкции литниковой системы и кокильной оснастки на различных стадиях процесса проектирования. При этом все варианты, построенные по классическим методикам, проходили этап моделирования полей температур и напряжений. Кроме того, для кокиля казана чугунного, выбранного на основе алгоритмов определяли вариант с минимально-затратной, с точки зрения материалоёмкости, литниковой системой и минимальной массой кокиля.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чичко, А.Н. Общая алгоритмическая схема процесса проектирования кокильной оснастки / А.Н. Чичко, Т.В. Матюшинец, Л.В. Марков // Литье и металлургия. – 2006. – №1. – С. 34–37.
2. Чичко, А.Н. Алгоритмы оптимизации кокильной оснастки для САПР технологических процессов литья / А.Н. Чичко, Т.В. Матюшинец // Литье и металлургия.
3. Чичко, А.Н. Расчет динамики изменения температур при заполнении металлической формы / А.Н. Чичко, Л.В. Марков // Литье и металлургия. – 2005. – № 2/1. – С. 57–63.

Материал поступил в редакцию 28.09.11

IVANKOVICH A.A., LISOVSKIJ A.L. Modeling of process of moulding copper pig-iron in conditions OAO "TechnolitPolock"

The given applications of designing of a technique chill copper pig-iron on OAO "TechnolitPolock" with use of mathematical modeling CAD and CAE-systems, and also 3D of designing with modeling of fields of temperatures and pressure are given.

УДК 621.78.001, 621.793.18

Шматов А.А., Девойно О.Г.

ТЕРМОГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ В ВОДОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДНЫХ СРЕДАХ

Введение. Уровень развития современной техники характеризуется высокой интенсивностью эксплуатации инструментов и широким применением сложнлегированных труднообрабатываемых сталей и сплавов для изготовления деталей машин и узлов. Это требует применения, во 1-х, инструментов на основе материалов со сверхвысокими эксплуатационными свойствами, во 2-х, упрочняющих технологий, в том числе технологий нанесения на поверхность инструментов износостойких покрытий из тугоплавких материалов.

Согласно настоящим представлениям в области трения и изнашивания [1–3], лучшими антифрикционными свойствами в атмосферных условиях обладают материалы и покрытия на основе сульфидов и оксидов. Однако предпочтение при разработке покрытий отдается оксидам, поскольку они являются постоянной составляющей граничного слоя, образующегося при трении любого материала. При формировании оксидной пленки определенного состава и структуры можно создать поверхностное упрочнение (эффект Роско) и снизить сопротивление сдвигу при трении (эффект Ребиндера, Берналла и др.); причем эффект Ребиндера реализуется только в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ). Согласно молекулярно-механической теории трения, повышения износостойкости инструмента можно достичь при выполнении двух основных условий: при высокой твердости поверхности инструмента и низкой прочности его адгезионной связи с обрабатываемым материалом.

Большой интерес представляют низкотемпературные методы получения твердосмазочных покрытий из тугоплавких материалов. Как известно [1–6], покрытия приобретают твердосмазочные свойства в тех случаях, когда: (а) созданы из материалов со слоистой поликристаллической структурой (графит, сульфиды); (б) сформированы на основе наноструктурированных тугоплавких и сверхтвердых материалов; (в) реализуется теория Берналла, согласно которой твердое тело приобретает свойства жидкости, если в кристаллической решетке содержится более 10% вакансий; (г) реализуется эффект Ребиндера, который ведет к пластифицированию поверхностного слоя и созданию положительного градиента механических свойств в зоне трения; (д) реализуется эффект Киркиндала, который приводит к селективному растворению из сплава легирующих элементов из-за различия их электрохимических потенциалов; в результате чего формируется квазжидкая пленка, снижающая коэффициент трения и трещинообразующий разогрев.

Среди указанных способов получения твердосмазочных покры-

тий следует выделить методы, которые позволяют сформировать наноструктуру на основе тугоплавких и сверхтвердых материалов [6–11]. Наноструктурированные покрытия обладают сверхпластичностью, они облегчают разрыв адгезионных соединений в зоне трения; в то же время твердость наноматериалов из металлов и тугоплавких соединений возрастает в 2–3 раза [5]. Наибольший интерес в этом аспекте представляют твердосмазочные покрытия с наноструктурой, полученные низкотемпературным методом термогидрохимической обработки (ТГХО) [7–11]. Данные покрытия можно наносить на готовые к эксплуатации инструменты, поскольку в результате ТГХО сохраняется исходная структура твердых сплавов (не разупрочняется); при этом конечные размеры и форма изделий не меняются. С другой стороны, в условиях интенсивной эксплуатации инструментов, когда в зоне трения отсутствует смазка или ее подача ограничена, наилучшим способом снижения коэффициента трения является нанесение твердосмазочных покрытий на рабочие части инструментов, что гарантирует их длительную работу. ТГХО является наиболее простым и универсальным методом. С помощью этого метода можно создавать наноструктурированные покрытия на основе оксидов, сульфидов, карбидов, других антифрикционных материалов и их композиций.

Из приведенного анализа следует, что процесс ТГХО имеет большие перспективы для своего развития, прежде всего для высокопроизводительных инструментов, испытывающих значительные механические и температурные нагрузки. Особое внимание в этом плане следует уделить инструментам из твердых сплавов (марки ВК, ТК, ТТК), которые, благодаря их высокой твердости, износостойкости и теплостойкости, широко используются для изготовления различных видов режущих инструментов. Однако вопросы, связанные с термогидрохимической обработкой практически всех инструментальных материалов, мало изучены.

В настоящей работе поставлены задачи: 1) сравнить триботехнические свойства твердосмазочных покрытий на основе оксидов, карбидов и нитридов, осажденных на твердый сплав; 2) оптимизировать процесс ТГХО твердого сплава; 3) изучить структуру и оценить напряженное состояние поверхностных слоев твердого сплава, подвергнутого ТГХО.

Объекты и методика исследований. Все исследования проведены на твердом сплаве ВК6, который подвергали термогидрохимической обработке. Сам процесс ТГХО осуществляли в 2 этапа путем:

Шматов А.А., к.т.н., Белорусский национальный технический университет.

Девойно Олег Георгиевич, д.т.н., главный научный сотрудник НИИП плазменных и лазерных технологий Белорусского национального технического университета.

Беларусь, БНТУ, 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.