

▶ КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ИЗЛОЖНИЦ ДЛЯ СЛИТКОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

Анализ причин разрушения изложниц показывает, что в среднем 40-45% изложниц отбраковывают из-за образования трещин, 40-45% – из-за разгара внутренней поверхности, 10-15% – из-за разрывов и около 5% выходят из строя из-за механических повреждений. Мелкие изложницы для спецсталей в 70-80% случаев отбраковывают из-за трещин.

Образование трещин в изложницах происходит в результате достижения металлом предельных величин деформации и напряжения, которые зависят от структуры металла, температуры нагрева и условий нагружения и реализуются деформацией сдвига в зонах концентрации напряжений.

В условиях быстрого нагружения трещина образуется при большом напряжении и малой деформации, а при медленном нагружении разрушение вызывается малой нагрузкой и значительной деформацией.

В настоящее время признано, что компьютерное моделирование сложных задач теплообмена и напряженного состояния материалов, динамики пластических явлений часто оказывается более дешевым, чем экспериментальные исследования. Компьютерное моделирование позволяет избежать проблем,

связанных с возмущениями изучаемых процессов датчиками, применяемыми в экспериментах, а также с очень малыми или большими размерами исследуемых объектов, с очень высокими или низкими температурами и т.п.

Современные программные продукты обеспечивают моделирование литейных процессов в отливке, а также расчет напряженного состояния отливки после ее охлаждения.

Компьютерное моделирование напряженного состояния изложницы было произведено при помощи программы СКМ ЛП "Полигон" и деформационного модуля СКМ ЛП "Полигон". Масса изложницы составляла 1150 кг, черный вес отливки – 1450 кг, толщина стенки – 85-100 мм, материал – серый чугун с пластинчатым графитом. Изложницы используются для отливки слитков массой 670 кг из специальных легированных сталей с температурой разливки до 1700°C, с повышенной скоростью наполнения слитка и продолжительной его выдержкой в изложнице, что обусловлено невысокой теплопроводностью легированных сталей. Основной причиной выхода таких изложниц из строя является образование продольных трещин в верхней зоне. [1]

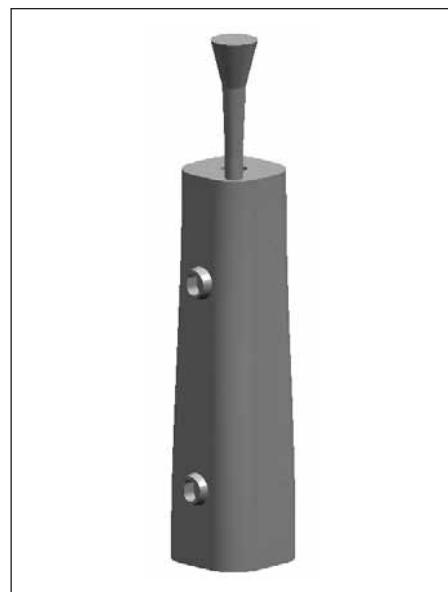


Рис. 1. 3D-модель изложницы, использованная для расчета напряженного состояния после изготовления

В основу расчета была положена 3D-модель изложницы с учетом литейных припусков и литниково-питающей системы (рис. 1).

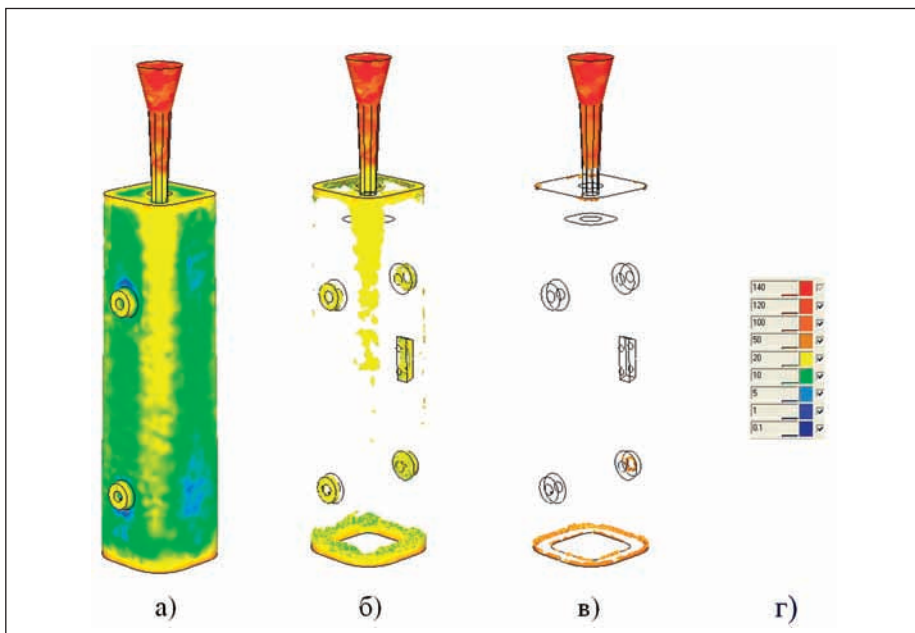


Рис. 2. Результат расчета напряжений в изложнице при помощи деформационного модуля СКМ ЛП "Полигон":
 а) остаточные напряжения в изложнице, возникающие при остывании в форме до 200°C;
 б) остаточные напряжения более 20 МПа;
 в) остаточные напряжения более 50 МПа;
 г) цветовая шкала напряжений в МПа

В любой отливке в процессе затвердевания и последующего охлаждения возникают напряжения, которые можно классифицировать как усадочные и температурные, причем некоторые из них являются временными, другие – остаточными. Возникающие напряжения являются причиной образования горячих и холодных трещин и искривления отливок.

Механические напряжения и деформации возникают в отливке вследствие препятствий ее усадке со стороны формы, но чаще – со стороны стержня. Такие напряжения зависят главным образом от конструкции отливки и литейной формы, а также от свойств чугуна и технологии производства. Важной особенностью механических напряжений является то, что они возникают как реакция на воздействия внешних сил (по отношению к отливке). Однако при устранении таких воздействий (в результате извлечения отливки из формы и удаления из нее стержней) они могут исчезать, что на практике наблюдается очень часто. Если под влиянием механических напряжений отливка оказывается пластически деформированной, часть напряжений в ней может сохраняться неопределенное время.

Как известно, в процессе затвердевания в теле отливки температуры распределяются неравномерно, что обусловлено

разностенностью, разнообразным расположением литников и прибылей, свойствами формовочных материалов, красок и другими факторами. Вследствие этого в отливке возникают термические напряжения и деформации.

Компьютерное моделирование позволяет избежать проблем, связанных с возмущениями изучаемых процессов датчиками, применяемыми в экспериментах, а также с очень малыми или большими размерами исследуемых объектов, с очень высокими или низкими температурами и т.п.

Применяемая программа для расчета напряженного состояния изложницы СКМ ЛП "Полигон" и деформационный модуль СКМ ЛП "Полигон", разработанный А.В. Монастырским [2, 3, 4], опираются на реальную физику процессов с учетом механических, физических и теплофизических свойств материала и формы.

СКМ ЛП "ПолигонСофт" позволяет произвести обработку некоторых наиболее важных технологических параметров не на реальной отливке, а на ее компьютерной модели, что снижает затраты на проектирование и доводку литейной технологии. Данная программа производит расчет тепловых процессов, происходящих в отливке с момента полной заливки формы до полного ее затвердевания.

При моделировании были приняты следующие исходные данные:

- свойства чугуна с пластинчатым графитом:
 - плотность (ρ) – 6950 кг/м³,
 - теплоемкость (c) – 838 Дж/(м·К),
 - теплопроводность (λ) – 42,00 Вт/м·К,
 - теплота затвердевания – 25000 Дж/кг;
- свойства формы:
 - теплоемкость (c) – 1080.000 кДж/(м³·К),
 - теплопроводность (λ) – 1.28Вт/(м·К);
- исходные условия:
 - температура заливки чугуна – 1280°C,
 - температура формы – 20°C,
 - окончание расчета – остывание отливки в форме до 200°C.

Расчет напряженного состояния изложницы производился в два этапа.

На первом этапе осуществлялось моделирование процесса затвердевания отливки в форме с учетом перечисленных выше свойств и условий в СКМ ЛП "Полигон". Результат расчета – файл тепловых процессов при затвердевании.

На втором этапе в деформационном модуле СКМ ЛП "Полигон" рассчитывались напряжения в изложнице. При этом использовался файл тепловых процессов, полученный в предыдущем расчете, а также модуль Юнга (E) – 1.3·10⁵ МПа; коэффициент Пуассона (μ) – 0,27; КЛТР (α) – 1/К; предел упругости ($\sigma_{0,05}$) – 80 МПа и предел прочности (σ_B) – 300 МПа. На основании этих данных программа производила расчет напряжений, возникающих в теле изложницы во время остывания. Результат такого расчета, осуществленного при помощи деформационного модуля СКМ ЛП "Полигон", представлен на рис. 2.

Из рис. 2, б видно, что зонами наибольшей концентрации остаточных напряжений в отливке изложницы являются: нижний торец (в рабочем со-

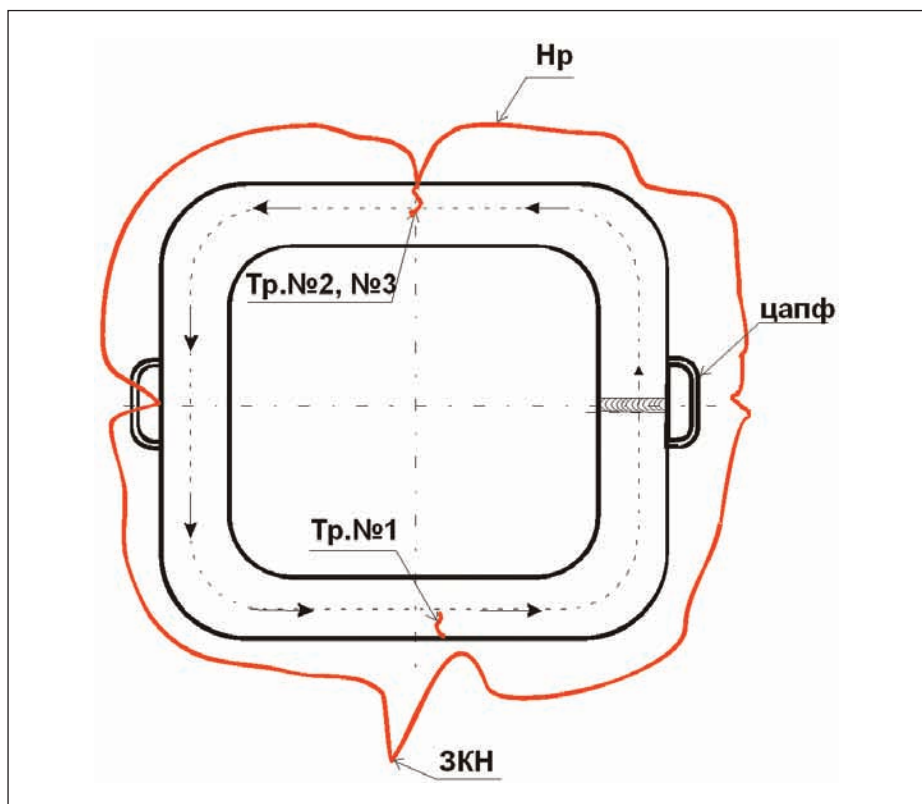


Рис. 3. Характерное распределение поля H_p вдоль периметра изложницы:
Тр. № 1, № 2, № 3 – места образования трещин на трех изложницах соответственно

стоянии при заливке слитка – это верхний торец изложницы), места установки цапф и верхний торец отливки. Остаточные напряжения в нижнем торце отливки существенно выше, чем в других зонах (рис. 2, в), при этом зоны максимальной концентрации остаточных напряжений расположены симметрично на противоположных сторонах изложницы и смещены ~ на 90° относительно расположения цапф изложницы.

Сравнение полученных расчетных данных с результатами замера напряженного состояния трех таких изложниц методом магнитной памяти металла показало их полное совпадение.

На рис. 3 представлено характерное распределение поля H_p вдоль периметра изложниц в исходном состоянии (перед заливкой стали), которое соответствует распределению остаточных напряжений (ОН) на наружной поверхности.

Из рис. 3 видно, что зоны максимальной концентрации ОН (ЗКН) расположены симметрично на противоположных сторонах изложниц и смещены ~ на 90° относи-

тельно расположения цапф корпуса изложницы. Все исследуемые изложницы выдержали практически одинаковое количество наливов до образования трещин.

Использование компьютерного моделирования для определения напряженного состояния отливок позволяет определить величину и зоны максимальной концентрации напряжений, возможные места образования трещин и своевременно принять технологические меры для снижения или снятия данных напряжений

Трещины во всех трех изложницах, как и ожидалось, образовались в верхней части, испытывающей максимальный разогрев в процессе заливки и охлаждения слитка, и при этом – в максимальных

ЗКН, зафиксированных в изложницах в исходном состоянии.

Выводы

Данные результата расчета напряжений изложницы при помощи деформационного модуля СКМ ЛП "Полигон" схожи с результатами исследования напряженного состояния изложницы методом магнитной памяти металла. Из этого следует, что использование компьютерного моделирования для определения напряженного состояния отливок позволяет определить величину и зоны максимальной концентрации напряжений, возможные места образования трещин и своевременно принять технологические меры для снижения или снятия данных напряжений.

Литература

1. Ковалевич Е.В., Баранов Б.С., Урин С.Л., Пантелеева А.В., Дубов А.А., Собранин А.А. Исследование напряжений в изложницах методом магнитной памяти // Литейщик России – № 10/2011, с. 21-24.
2. Монастырский А.В., Смыков А.Ф., Панкратов В.А., Соловьев М.Б. Прогноз образования горячих трещин и расчет коробления отливок в СКМ ЛП "ПолигонСофт" // Литейное производство – № 10/2009, CAD/CAM литейных процессов, с. 24-27.
3. Монастырский В.П., Александрович А.И., Монастырский А.В., Соловьев М.Б., Тихомиров М.Д. Моделирование напряженно-деформационного состояния отливки при кристаллизации // Литейное производство – № 8/2007, с. 45-47.
4. Монастырский А.В., Смыков А.Ф. Особенности моделирования возникновения трещин в отливках на примере СКМ ЛП "ПолигонСофт" // Литейное производство – № 12/2010, CAD/CAM литейных процессов, с. 13-15.

*Анна Пантелеева,
инженер-конструктор
ФГУП "НПЦ газотурбостроения
"САЛЮТ"*

*Евгений Ковалевич,
д.т.н., заведующий лабораторией
ГНЦ "ЦНИИТМАШ"*

*E-mail: a.v.panteleeva@mail.ru,
Ev-kov@yandex.ru*

CADmaster

журнал для профессионалов в области САПР

Уважаемые читатели!

Если вы хотите получать печатную версию журнала CADmaster, вы можете оформить бесплатную подписку, заполнив нижеприведенный бланк. Обращаем ваше внимание, что частным лицам на домашний адрес журнал не высылается.

Заполненный бланк присылайте:

Факс: 8 (495) 913-2221

E-Mail: marketing@csoft.ru

Почта: 121351, г. Москва, ул. Молодогвардейская, дом 46, корпус 2

Бланк бесплатной подписки

ФИО адресата: _____

Полное наименование организации: _____

Отдел: _____

Должность: _____

Телефон: (_____) _____
код города

Факс: (_____) _____
код города

E-mail: _____

Издания направлять по адресу:

Почтовый индекс Страна _____

Область _____

Город _____ Улица _____

Дом _____ Строение/корпус _____ Офис _____

Вид деятельности:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Машиностроение | <input type="checkbox"/> Проектирование промышленных объектов |
| <input type="checkbox"/> Электроника и электротехника | <input type="checkbox"/> Архитектура и строительство |
| <input type="checkbox"/> Нефть и газ | <input type="checkbox"/> Другое _____ |
| <input type="checkbox"/> Геоинформационные системы и картография | _____ |
| <input type="checkbox"/> Изыскания, генплан и транспорт | |

Электронная подписка: www.cadmater.ru/info/signed.html