

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕЗАГРЕГАЦИИ И МЕХАНОАКТИВАЦИИ ЗЕРНОВОЙ ОСНОВЫ ОБОРОТНОЙ СМЕСЕИ

Григор А.С. – к.т.н., доцент, Очаковский Я.В. – магистрант,
Марков В.А. – д.т.н., профессор, Ковылин С.Ю. – магистрант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Практикой установлено, что значительная доля дефектов и брака отливок в литейном производстве возникает в результате использования формовочных смесей (ФС) не соответствующего качества, то есть нестабильность свойств либо отклонение одного или нескольких параметров (прочность на сжатие, влажность и других) от нормы. В результате этого брак отливок из-за нестабильности состава и физико-механических свойств единой песчано-глинистой формовочной смеси может достигать 50...60%.

Немаловажным условием получения качественной ФС является использование исходных материалов со стабильными свойствами. Наилучших результатов можно добиться применением комплексных связующих, так называемых компаундов, состоящих из нескольких материалов (бентонит, углеродсодержащие материалы и другие) и обладающих комплексом необходимых свойств для получения ФС со стабильными свойствами. Так же в процессе приготовления смеси кварцевый песок подвергается силовому воздействию, в результате чего происходит изменение формы зерен песка. При относительном движении зерен песка их острые углы, и выступы обламываются, зерна подвергаются обкатыванию с частичным изменением своей формы и уменьшением размеров.

В общепринятом понимании явления, связанные с изменением активности и состояния поверхности дисперсного материала в процессе переработки механическим способом, определяются общим понятием – механоактивацией. Зерна кварцевого песка в процессе смесеприготовления также подвергаются механоактивации. Существует несколько точек зрения на понимание и объяснение изменения свойств поверхностных слоев зерен или частиц кварца в результате механоактивации деформацией сдвига. Исследования процесса механоактивации позволили установить, что в результате развития интенсивных деформаций сдвига происходит изменение гранулометрического состава частиц.

Частицы глинистого связующего, располагаясь между зернами песка и под их действием, как рабочих тел, подвергаются измельчению и механоактивации. Мелкие частицы из-за своей анизометричности и электрического заряда частиц и зерен песка получают пространственную ориентацию и образуют слоистую текстуру на поверхности зерен песка. При дезагрегации частиц глинистого связующего под действием сдвиговых деформаций также происходит аморфизация поверхностных слоев частиц с уменьшением степени их окристаллизованности.

Мелкие осколки (обломки) кварцевых зерен, а также мелкие частицы кварцевых примесей и других силикатов, вносимых глинистым связующим, механоактивируются с образованием в поверхностных слоях частиц высокоактивного аморфного кремнезема, формируют частицы адгезивного субстрата, заполняющие пространство между частицами глинистого связующего.

По результатам исследования [1] режимных параметров лабораторного барабанного смесителя было установлено, что для рабочих органов типа «стержни-катки» стабильный режим их движения обеспечивается при скорости вращения корпуса $n = 40$ об/мин. Эта скорость была взята за основу при исследовании процесса дезагрегации компонентов единой песчано-глинистой смеси (ЕПГС).

В качестве объекта исследования была принята обратная смесь, после заливки СЧ-20 «ООО Каменский металлзавод», основа ЕПГС приготавливаемой в смесителях с вертикально-вращающимися катками.

В выбранной обратной смеси ярко выражено высокое содержание (около 35%)

фракции 04, несмотря на то, что песок освежения 02 фракции.

Согласно рабочей гипотезе концепции интегрального механизма формирования свойств ЕПГС, его определяющими факторами являются процессы дезагрегации зерновой основы и механоактивации компонентов смеси с формированием активной адгезивной оболочки на поверхности зерен.

В этой связи основной уклон при исследованиях был сделан в сторону оценки процесса дезагрегации оборотной смеси в барабанном смесителе с рабочими органами типа «стержни-катки», при варьировании времени перемешивания.

Для качественной оценки эффективности процесса дезагрегации параллельно проводилось сухое перемешивание оборотной смеси в лабораторном катковом смесителе и через определенные интервалы времени отбирались пробы для ситового анализа.

Результаты исследования процесса дезагрегации оборотной смеси показывают, что на количественное изменение зернового состава оказывает влияние тип применяемого смесеприготовительного оборудования и характер взаимодействия рабочих органов смесителя с компонентами формовочной смеси.

Анализ данных, полученных в результате проведения экспериментов, позволяет сделать следующий вывод, что дезагригирующее действие барабанного смесителя значительно эффективнее, чем аналогичное действие каткового смесителя. Это объясняется конструкцией смесителей и их рабочих органов, а также характера их воздействия на компоненты ФС.

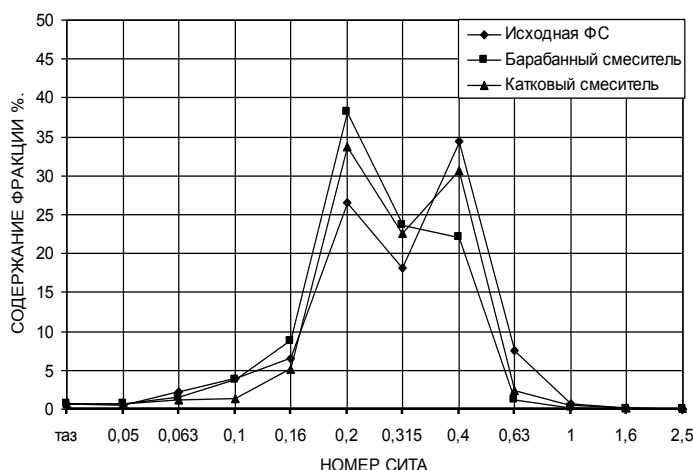


Рисунок 1 – Зерновой состав формовочной смеси после 5 минут перемешивания в барабанном и катковом смесителях.

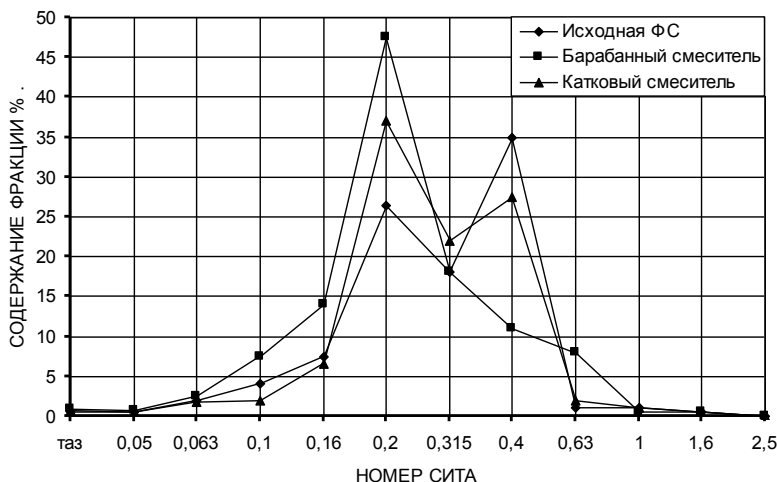


Рисунок 2. - Зерновой состав формовочной смеси после 10 минут перемешивания в барабанном и катковом смесителях.

Из графиков, можно заметить, что после первых нескольких минут механоактивации (рисунок 1) происходит разделение крупных частиц на более мелкие. Причем образовавшиеся мелкие частицы имеют неправильную, хлопьевидную форму с шероховатыми краями.

Дальнейшая механоактивация (рисунок 2) приводит к уменьшению среднего размера частиц, но образующиеся мелкие частицы начинают приобретать более правильную форму. Из этого можно сделать вывод, что в процессе механоактивации одновременно развиваются два процесса: измельчение (деагрегация) частиц и агрегатирование с образованием новых частиц.

Из сравнения зернового состава исследуемого объекта можно сделать вывод, что уровня фракции песка освежения формовочная смесь достигает за 10 минут перемешивания в катковом смесителе и за 5 минут перемешивания в барабанном смесителе. Из этого следует, что процесс приготовления ФС в барабанном смесителе требует меньше энергозатрат и сокращает время подготовки единой ЕПГС.

Список литературы:

1. Марков, В. А. Барабанные смесители для приготовления формовочных смесей [Текст] / В.А. Марков – Барнаул: Изд-во АлтГТУ 1998, - 133с.

КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ГЛИНИСТОГО СВЯЗУЮЩЕГО ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Григор А.С. – к.т.н., доцент, Очаковский Я.В. – магистрант,
Ковылин С.Ю. – магистрант, Марков В.А. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Бентонит является важнейшим компонентом для высококачественных формовочных смесей сырых форм, который во многом и определяет их технологические свойства. Под воздействием заливаемого металла температурное поле распространяется в глубинные слои формы с изменением температуры слоев от температуры заливки до начальной температуры формы, в результате чего глинистое связующее за счёт дегидратации в той или иной степени утрачивает свои свойства.

В данной работе представлен кондуктометрический метод определения активности бентонита, после термической обработки в интервале температур 100...900 °С, который может быть использован в заводских лабораториях для контроля активности бентонита и для исследовательских целей.

Метод основан на измерении электропроводности (в единицах шкалы прибора) водной суспензии исследуемого материала, заключенной между двумя зафиксированными электродами неизменной площади при стабилизированном напряжении и комнатной температуре. Результаты измерения оценивают по построенному для данного материала графику.

Определение сопротивления материалов входит в комплекс методик, применяемых для исследования свойств формовочных материалов, подвергнутых тепловой и химической обработке, определения степени чистоты материалов и т.п. Во многих случаях при выборе формовочных материалов необходимо учитывать образование проводящего слоя на поверхности окислов. Чаще всего указанная проводимость обусловлена адсорбцией окислами паров воды и химическим взаимодействием воды с поверхностью окислов. Скорость и интенсивность этой реакции на поверхности и обусловленная этим проводимость увеличиваются с возрастанием содержания щелочей, повышением влажности и температуры [1].

Известны методики определения электропроводности формовочных материалов [2], [3]. В бентоните обменные катионы имеют способность перемещаться под действием электрического тока. В зависимости от количества бентонита или активирующих добавок в

его составе обменных катионов становится больше и изменение их содержания определяет их способность к перемещению и соответственно к изменению электропроводности бентонита.

Методика [2] основано на определении активности непосредственно самого глинистого связующего и учитывает температуру исследуемой суспензии. Авторы предлагают следующий ход эксперимента навеску исследуемого материала (5 гр) заливают 150 мл дистиллированной воды и снимаются показания через 5 минут при длительности эксперимента не более 10 минут. Согласно результатам эксперимента строятся графики по которым можно сделать выводы об активности глинистого связующего.

Методика [3] направлена на определение активной глинистой составляющей уже в готовой единой песчано-глинистой смеси, но ход проведения опыта не отличается от предыдущей методики. Однако эта методика вполне пригодна для определения активности бентонита.

Эксперимент заключается в следующем: навеску бентонита массой отобранной согласно опыту помещают в емкость, залитой дистиллированной водой, при удельной концентрации бентонита в гомогенизированной воде 0.007 гр/мл. Затем в ёмкость с суспензией помещают миксер с электродами. Перемешивание суспензии бентонит-вода продолжается в течение 10 минут с фиксацией показаний через 1 минуту.

Анализируя экспериментальные данные, показанные на графиках (Рисунок 1) можно сделать вывод, что бентонит, прокаленный при температуре 300 °С и 400° С, обладает наибольшей электропроводностью (активностью). Это можно объяснить тем, что после прокаливания при температуре до 300 °С из бентонита полностью удаляется свободная вода и происходит открытие базальных поверхностей, что способствует повышению его активности. Низкая активность бентонита прокаленного при температурах свыше 600 °С объясняется потерей конституционной воды и как следствие способности набухать. При температуре 735...900 °С происходит разрушение кристаллической решетки бентонита и превращение его в аморфное вещество [4].

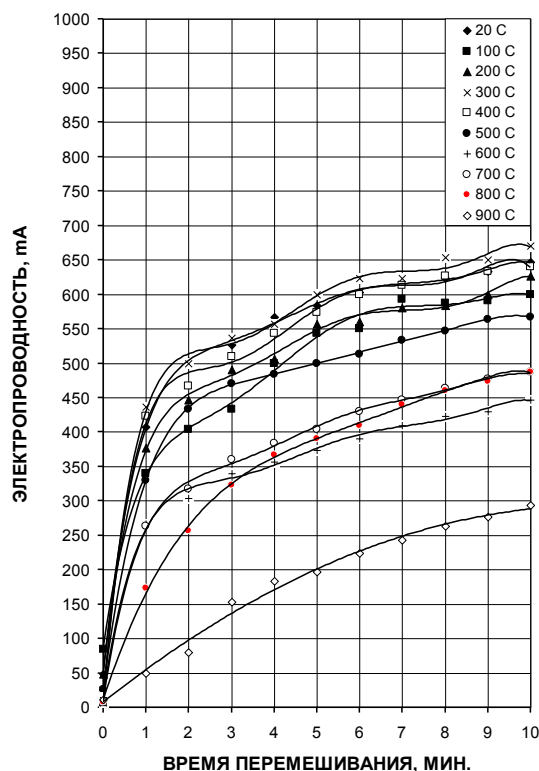


Рисунок 1. – Электропроводность хакасского бентонита при температуре прокаливания 20...900°С

Список литературы:

1. Цибрик, А.Н. Физико-химические процессы в контактной зоне металл–форма / А.Н. Цибрик. – Киев.: Наукова думка, 1977. – 211с.
2. Кваша, Ф.С. О контроле активированных бентонитов / Ф.С. Кваша, Ю.М. Смирнов, и др. // Литейное производство. – 1984. – № 4. – С.11-12.
3. Лысоченко, В.В. Экспресс-контроль содержания активной глинистой составляющей / В.В. Лысоченко, В.Н. Леснов, и др. // Литейное производство. – 1987. – № 8. – С.8-9.
4. Степанов, Ю.А. Формовочные материалы / Ю.А. Степанов, В.И. Семенов. – М.: Машиностроение, 1969. – 157с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ЖИДКОГО СТЕКЛА

Григор А.С. – к.т.н., доцент, Ковылин С.Ю. – магистрант, Марков В.А. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Для изучения влияния содержания нанодисперсного пироуглерода (НДПУ) на формирование свойств жидкого стекла был проведен ряд исследований: определение плотности связующего с добавками НДПУ, поверхностного натяжения, краевого угла смачивания и определение работы адгезии связующего с добавками НДПУ к кварцевому наполнителю. Целью исследований являлось выявление зависимости изменения свойств жидкого стекла от содержания НДПУ, которые влияют на формирование структуры и свойств жидкостекольных смесей с применением жидко-твердых связующих композиций.

На основе анализа литературных данных и производственного опыта применения тонкодисперсных добавок улучшающих свойства жидкостекольных смесей, был выбран интервал варьирования содержания НДПУ в жидком стекле от 0 до 17 % с шагом 1,7 % (Рисунки 1, 2, 3, 4).

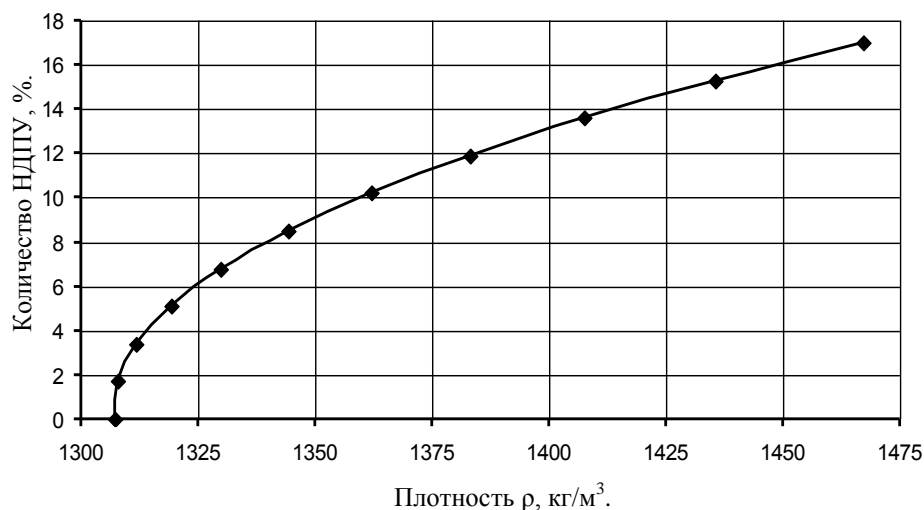


Рисунок 1 – Влияние содержания НДПУ на плотность жидкого стекла

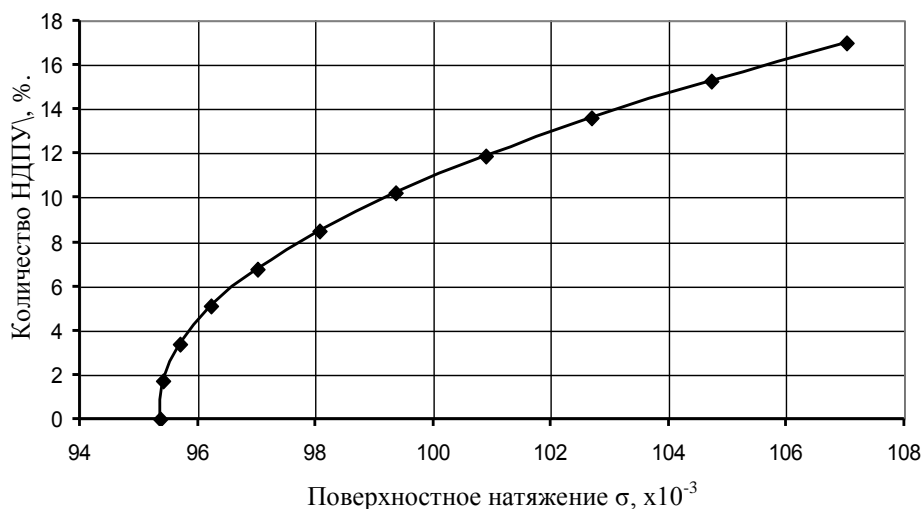


Рисунок 2 – Влияние содержания НДПУ на поверхностное натяжение жидкого стекла

На основе результатов проведенных исследований можно заключить, что при увеличении содержания НДПУ в жидкостекольном связующем, значения его плотности, поверхностного натяжения и краевого угла смачивания увеличиваются, что сказывается на условиях формирования комплекса свойств жидкостекольных смесей. Известно, что при увеличении плотности связующего растет его вязкость, а значит, на стадии смесеприготовления на поверхности зернового наполнителя формируется более толстая адгезивная оболочка, что в свою очередь ведет к увеличению расхода связующего. Увеличение краевого угла смачивания ведет, прежде всего, к уменьшению сил адгезии связующего к зерновому наполнителю, что сказывается на снижении как исходной, так и остаточной прочности смеси и ведет к улучшению выбиваемости. Кроме того, выбиваемость жидкостекольной смеси должна улучшаться вследствие того, что в процессе смесеприготовления на поверхности зерновой основы формируется структурированная адгезивная оболочка с концентраторами напряжений (частицами НДПУ) которые имеют возможность легко разрушаться в процессе механических воздействий, тем самым снижая силы когезии внутри такой связующей композиции. В данном случае создается возможность регулирования прочности и улучшения выбиваемости жидкостекольных форм и стержней путем уменьшения сил адгезии связующего и получения структурированных смесей.

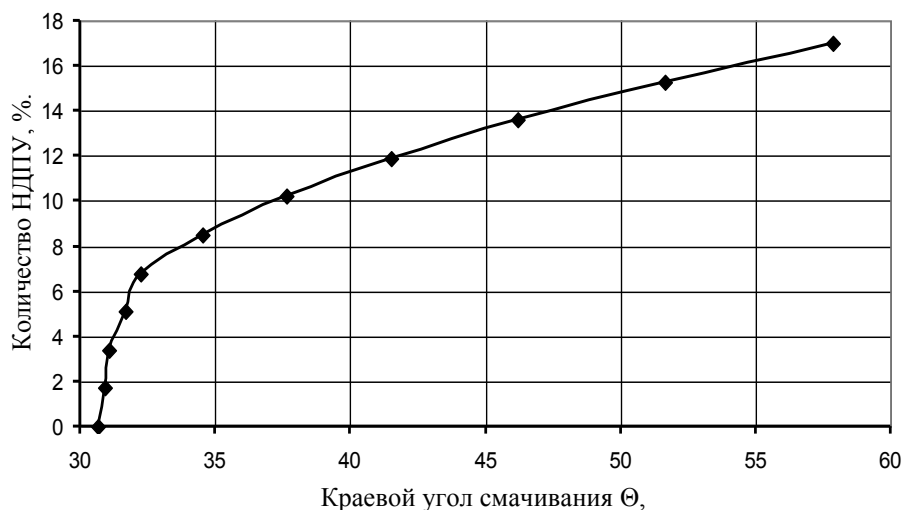


Рисунок 3 – Влияние содержания НДПУ на краевой угол смачивания жидкого стекла

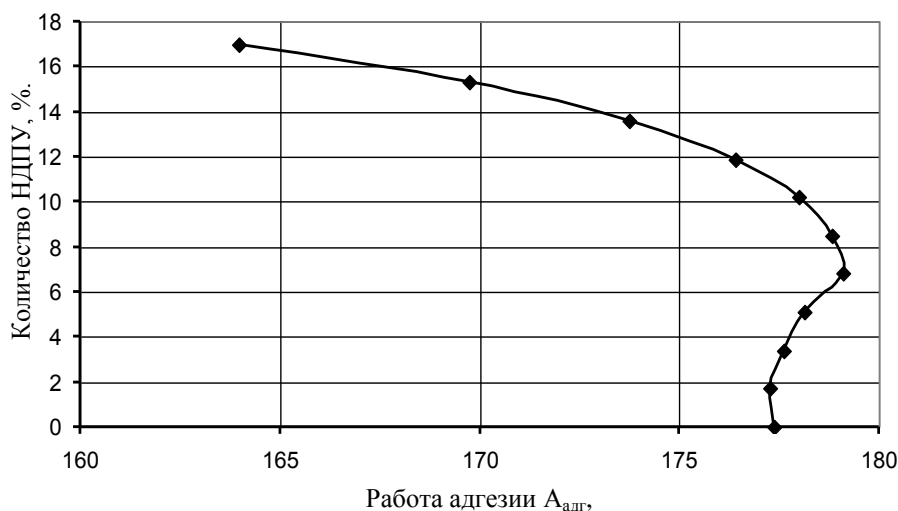


Рисунок 4 – Влияние содержания НДПУ на работу адгезии жидкого стекла

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА НА СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕКЛЬНОЙ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ СМЕСЕПРИГОТОВЛЕНИЯ

Ковылин С.Ю. – магистрант, Григор А.С. – к.т.н., доцент, Марков В.А. – д.т.н., профессор. Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Для проведения исследований по изучению влияния нанодисперсного пироуглерода (НДПУ) на комплекс физико-механических свойств жидкостекляных смесей использовалась смесь со следующим составом: кварцевый песок $2K_2O_3O_2$ (ГОСТ 2138-91) – 100%; огнеупорная глина – 2,54..2,66%; асбестовая крошка – 3%; каустическая сода – 1,45%; жидкое стекло ГОСТ 13078-81 с модулем 2,1...2,4 и плотностью 1,48...1,52 г/см³ – 6 %. В качестве разупрочняющей добавки использовали НДПУ марки N 330. Отверждение смеси осуществлялось путем комбинирования тепловой сушки и продувки CO_2 .

Целью исследований являлось определение возможности управления процессом формирования комплекса свойств жидкостекляной смеси при помощи микродобавок НДПУ с условием выполнения указанных технологических требований. Во время выполнения экспериментов соблюдались инженерные требования к используемым материалам, согласно их ГОСТов.

Для изучения влияния микродобавок НДПУ на комплекс физико-механических свойств жидкостекляных смесей в состав базовой смеси вводили варьируемое количество УДП. Интервал варьирования содержания УДП в смеси от 0 до 1% от массы зернового наполнителя, что соответствует интервалу варьирования УДП в жидкостекляном связующем от 0 до 17 %.

Результаты испытания смеси на влажность, газопроницаемость, прочность на сжатие в сыром состоянии, прочность на разрыв в отвержденном состоянии представлены на рисунках 1, 2, 3, 4.

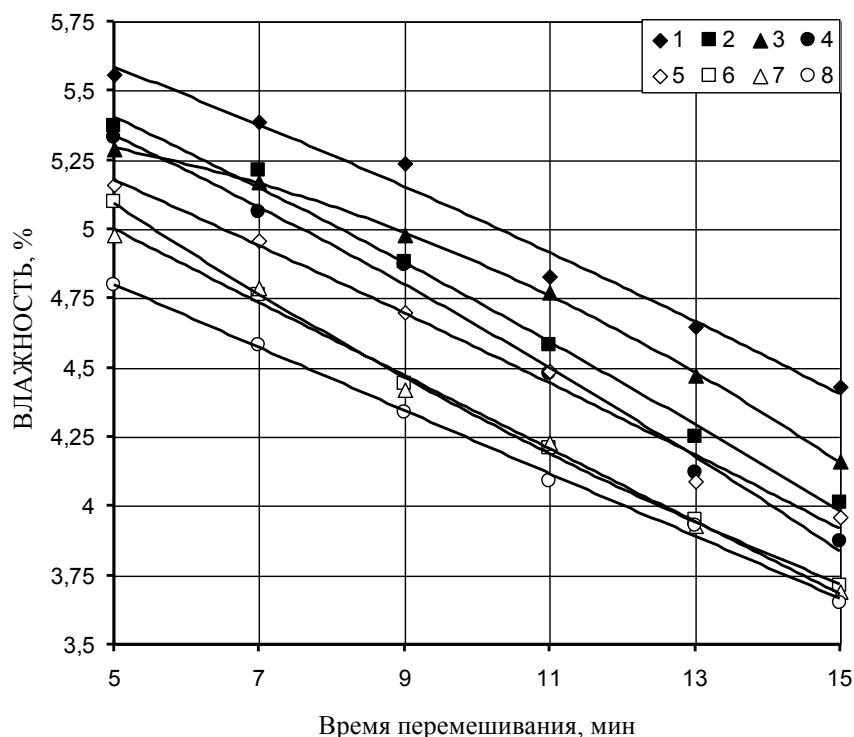


Рисунок 1 – Влияние содержания НДПУ и времени перемешивания на влажность смеси.
 1 – 0 % НДПУ, 2 – 0,4 % НДПУ, 3 – 0,5 % НДПУ, 4 – 0,6 % НДПУ, 5 – 0,7 % НДПУ,
 6 – 0,8 % НДПУ, 7 – 0,9 % НДПУ, 8 – 1 % НДПУ.

Анализируя данные проведенных исследований по определению комплекса физико-механических свойств жидкостекольных смесей модифицированных НДПУ можно заключить, что использование НДПУ в составе базовой (заводской) жидкостекольной смеси не ухудшает ее физико-механических свойств.

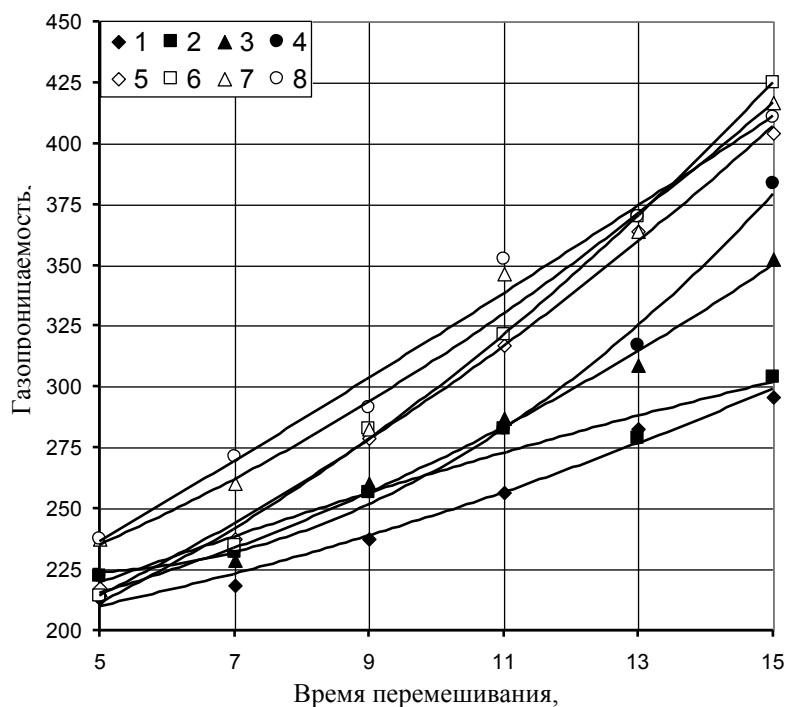


Рисунок 2 – Влияние содержания НДПУ и времени перемешивания на газопроницаемость смеси. 1 – 0 % НДПУ, 2 – 0,4 % НДПУ, 3 – 0,5 % НДПУ, 4 – 0,6 % НДПУ, 5 – 0,7 % НДПУ,
 6 – 0,8 % НДПУ, 7 – 0,9 % НДПУ, 8 – 1 % НДПУ.

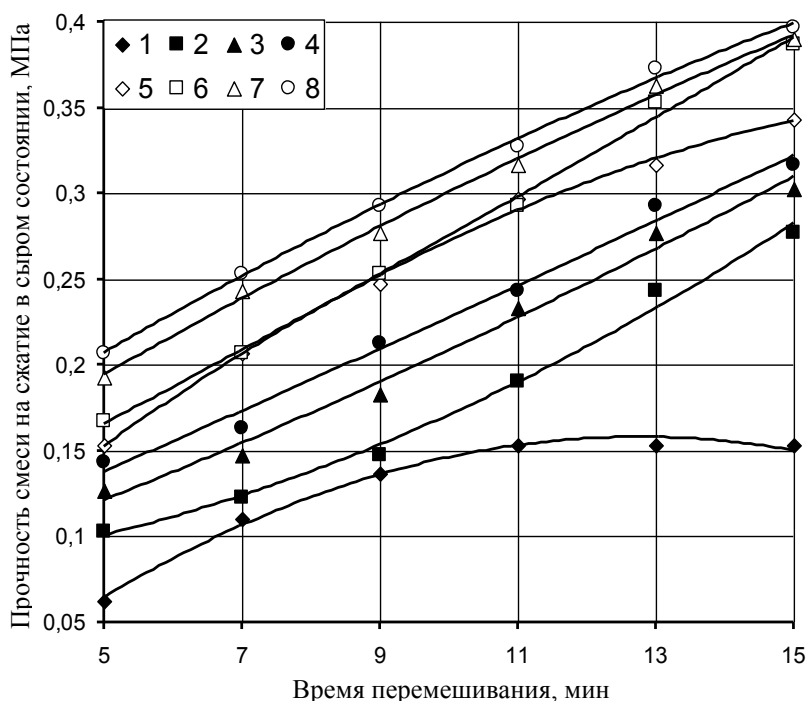


Рисунок 3 – Влияние содержания НДПУ и времени перемешивания на прочность смеси на сжатие в сыром состоянии. 1 – 0 % НДПУ, 2 – 0,4 % НДПУ, 3 – 0,5 % НДПУ, 4 – 0,6 % НДПУ, 5 – 0,7 % НДПУ, 6 – 0,8 % НДПУ, 7 – 0,9 % НДПУ, 8 – 1 % НДПУ.

Повышение газопроницаемости исследуемой рецептуры жидкостекольной смеси с увеличением содержания НДПУ и временем перемешивания (рисунок 2), объясняется увеличением вязкости связующей композиции, а значит, образованием более толстой адгезивной оболочки на поверхности зернового наполнителя, и лучшим распределением связующего по поверхности наполнителя.

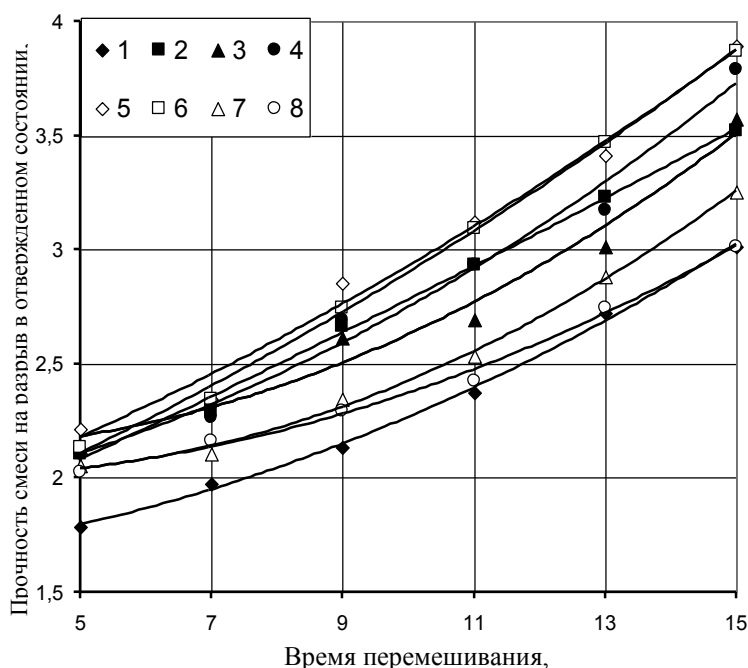


Рисунок 4 – Влияние содержания НДПУ и времени перемешивания на прочность смеси на разрыв в отвержденном состоянии. 1 – 0 % НДПУ, 2 – 0,4 % НДПУ, 3 – 0,5 % НДПУ, 4 – 0,6 % НДПУ, 5 – 0,7 % НДПУ, 6 – 0,8 % НДПУ, 7 – 0,9 % НДПУ, 8 – 1 % НДПУ.

Увеличение вязкости связующего должно повлечь увеличение его расхода для поддержания необходимой прочности смеси, однако как показали проведенные исследования, ввод оптимального количества НДПУ в жидкостекольную смесь при неизменном содержании связующего не дает снижения как «сырой» так и «сухой» прочности. Наоборот «сухая» и «сырая» прочность имеет рост при оптимальном содержании НДПУ в смеси (рисунки 3 и 4), что объясняется увеличением поверхностного натяжения композиции жидкое стекло + НДПУ и возникновением более плотной упаковки смеси в результате уплотнения. Сохранение необходимых прочностных характеристик жидкостекольной смеси при модифицировании ее НДПУ объясняется и тем, что влажность находится в установленном технологией интервале (рисунок 1). По проведенным исследованиям можно заключить, что оптимальное содержание НДПУ при котором жидкостекольная смесь соответствует технологическим требованиям лежит в пределах 0,6...0,8 % от массы зернового наполнителя. Такое содержание НДПУ соответствует оптимуму для формирования максимальных прочностных свойств жидкостекольных смесей.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА НА РАБОЧИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕКОВЫХ СМЕСЕЙ

Марков В.А. – д.т.н., профессор, Ковылин С.Ю. – магистрант,
Григор А.С. – к.т.н., доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Исследование влияния нанодисперсного пироуглерода (НДПУ) на изменение работы затрачиваемой на выбиваемость образцов из жидкостекольных смесей проводились по методу, который основан на определении работы затрачиваемой на удаление стержня из отливки разработанный в ЦНИИТмаше. Выбиваемость определялась до момента пробивки стержня насквозь. Для определения влияния НДПУ на улучшение работы выбивки жидкостекольных смесей изготавливались стержни с варьируемым содержанием НДПУ в интервале 0,6...0,8 % (от массы зернового наполнителя) с шагом 0,1 %. Данный интервал варьирования содержания НДПУ в жидкостекольной смеси обусловлен соблюдением наилучших физико-механических показателей свойств исследуемых смесей. Отверждение стержней производилось кратковременной продувкой CO₂ (70...75 с) и тепловой сушкой в сушильном шкафу при температуре 200 °С в течение 10 мин.

Данные исследований представлены в виде графиков зависимости удельной работы выбивки от содержания НДПУ и толщины экспериментальной отливки рисунки 1, 2, 3 и 4.

Анализируя полученные данные проведенных исследований можно заключить, что установлена принципиальная возможность применения НДПУ в качестве добавки снижающей работу выбивки жидкостекольных смесей из отливок. Как видно из приведенных графиков 1, 2, 3 и 4 работа выбивки жидкостекольных смесей без добавок НДПУ растет с увеличением толщины стенки экспериментальной отливки, что объясняется увеличением степени прогрева стержня, а значит и образованием большего количества двойной эвтектики во всем объеме стержня приводящей к увеличению остаточной прочности смеси при охлаждении отливки. Работа выбивки жидкостекольных стержней модифицированных НДПУ из отливки, с ростом процентного содержания НДПУ и увеличением стенки экспериментальной отливки (степени прогрева), существенно уменьшается, что связано прежде всего со свойствами самой добавки и физико-химическими процессами взаимодействия НДПУ с компонентами жидкостекольной смеси.

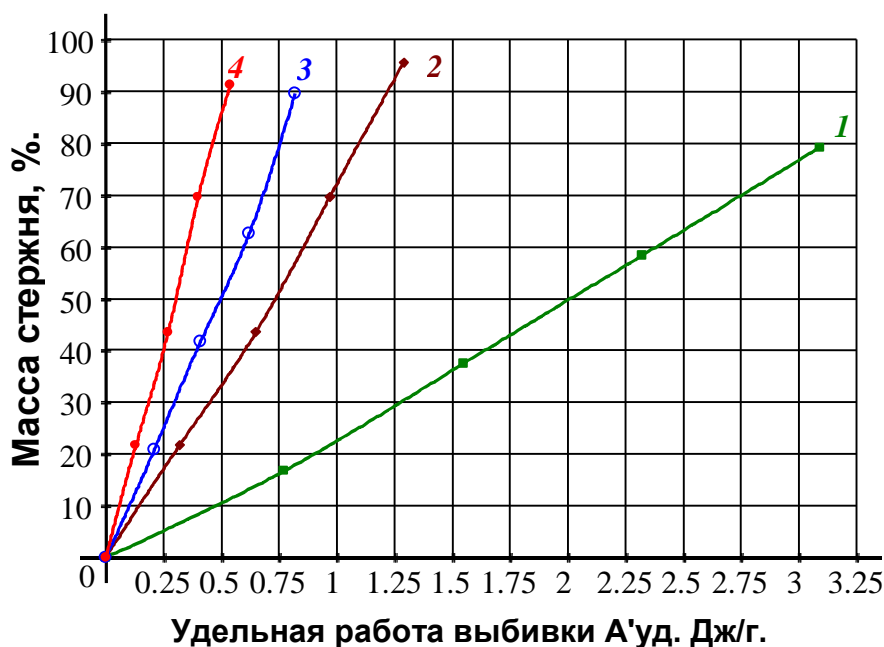


Рисунок 1 – Удельная работа выбивки жидкостекольной смеси из отливки с толщиной стенки 5 мм. (1 – смесь без НДПУ; 2 – смесь с 0,6% НДПУ; 3 – смесь с 0,7% НДПУ; 4 – смесь с 0,8% НДПУ.)

Для оценки влияния добавок НДПУ на формирование чистоты поверхности была использована технологическая проба. Экспериментальная отливка для определения чистоты поверхности имела, характерные для литейного производства толщины стенок: 5, 10, 15, 20 мм. Окрашивание противопригарной краской стержней из смесей с микродобавками НДПУ не производилось. После изготовления, формы заливались сталью 25Л при температуре 1560...1580 °С, а также чугуном СЧ 20 при температуре 1320...1370 °С. Чистота поверхности оценивалась визуально по девятибальной шкале. В процессе проведения данных исследований было установлено, что отливки изготовленные из чугуна не имели видимых дефектов поверхности и соответствовали первому баллу, а отливки из стали полученные при использовании жидкостекольной смеси с микродобавками НДПУ имели незначительный легкоотделяемый пригар и соответствовали второму баллу. Улучшение чистоты поверхности отливок полученных в жидкостекольных формах с применением НДПУ объясняется высокой термостойкостью НДПУ и несмачиваемостью жидким металлом поверхности форм и стержней, а также созданием восстановительной атмосферы на границе раздела металл-форма.

ВЛИЯНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА В СОСТАВЕ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ НА ЕЕ СВОЙСТВА

Григор А.С. – к.т.н., доцент, Марков В.А. – д.т.н., профессор,
Ковылин С.Ю. – магистрант, Исаева Ю.В. – магистрант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В связи с тем, что песчано-глинистая смесь является основным материалом для изготовления литейных форм, то вопрос о многократном эффективном использовании играет не мало важную роль на современном этапе развития литейного производства.

Как известно на чугунных отливках при использовании песчано-глинистых смесей на основе кварцевого песка невозможно получить легко отделяемый пригар. Для этого требуется применение специальных противопригарных добавок и покрытий. Их наносят на поверхность

форм и стержней, тем самым, создавая буферный защитный слой с заданными физико-химическими свойствами. В качестве антипригарных добавок широкое распространение получили углеродсодержащие материалы (УСМ). В процессе термодеструкции и рекомбинации углеводородных радикалов УСМ образуется пироуглерод, который покрывает поверхность зерновой основы и изменяет условия взаимодействия жидкого металла с материалом формы. При нагреве в УСМ (жидком или твердом) образуется газовая углеводородная фаза, которая подвергается термическому разложению с выделением углерода в виде твердой фазы.

Одной из таких добавок является нанодисперсный пироуглерод (НДПУ), который представляет собой нанодисперсный порошкообразный продукт термоокислительного разложения углеводородного сырья. По степени упорядоченности структуры НДПУ занимает среднее положение между кристаллическим графитом и аморфным углеродом. За счет неупорядоченности структуры решетки атомы углерода, находящиеся на краях плоскостей, имеют свободные валентности, позволяющие присоединить к ним атомы углерода других кристаллитов, а также атомы водорода, кислорода; присоединять молекулы с ненасыщенными связями, адсорбировать газы и жидкости или адсорбироваться на поверхностях других материалов. Эта особенность готового НДПУ имеет принципиально важное значение при использовании его в составе формовочных смесей (ФС), так как он изменяет механизм взаимодействия компонентов смеси между собой. НДПУ содержит: 89...99 % С; 0,3...0,5 % Н; 0,1...10 % О; 0,1...1,1 % S; до 0,5 % минеральных примесей. Средний диаметр частиц (НДПУ) марки N-330 – 24...32 нм., активная поверхность частиц 75...82 м²/г. Также НДПУ имеет большую термостойкость и при воздействии высоких температур не выделяет в атмосферу вредных веществ.

При приготовлении смеси с добавками НДПУ в результате сухого перемешивания происходит дезагрегация и распределение среди зерновой основы частиц бентонита при одновременном покрытии их поверхности пироуглеродом. Таким образом, НДПУ на стадии смесеприготовления равномерно распределяется по поверхности зерен, формируя плотную термостойкую несмачиваемую жидким металлом адгезивную оболочку.

При добавлении воды в смесь, она проникает к частицам бентонита, которые разделены между собой частицами НДПУ и происходит дополнительное диспергирование частиц бентонита на более мелкие. Образуется слоистая текстура адгезивной оболочки, то есть частицы адгезивной оболочки разделены между собой не только молекулами воды, но и частицами НДПУ. Наличие пироуглерода в составе смеси позволяет исключить агрегатирование частиц бентонита и обеспечить более свободное проникновение молекул воды к базальным поверхностям частиц глинистого связующего и их гидратацию.

Для проверки влияния количества НДПУ на качество формовочной смеси проводились испытания на специальной технологической пробе для определения вероятности образования пригара и оценки шероховатости литой поверхности. Данная технологическая проба ускоряет процесс оценки комплекса разнообразных факторов: рецептуры формовочных или стержневых смесей их покраски или натирки пастой, металлостатического напора массы заливаемого сплава (толщина стенки отливки) и его температуры, что особенно возможно для экспресс-анализа в условиях цеховых (заводских) лабораторий.

Эксперимент был разделён на два этапа.

На первом этапе изучалось влияние НДПУ на такие свойства формовочной смеси как влажность, прочность в сыром состоянии и газопроницаемость.

Второй этап эксперимента заключался в натуральном опробовании смеси на низко- и высокотемпературных сплавах. Поверхность отливок получалась как с множеством шероховатостей, так и «гладкая». При варьировании процентного содержания НДПУ в ФС изменяется шероховатость поверхности отливки, в свою очередь пригар отсутствует полностью или становится легко отделимым. Введение частиц НДПУ в состав адгезивной оболочки приводит к снижению возможности частицам глинистого связующего

взаимодействовать между собой (агрегатироваться). Частицы НДПУ при этом выполняют роль экрана между соседними частицами глинистого связующего, в результате чего у них появляется большая возможность для гидратации и образования адгезивного субстрата.

В данной работе была рассмотрена возможность применения НДПУ в качестве противопригарной добавки, которая в достаточной степени компенсирует различие химических составов материалов, составляющих основу формовочной смеси.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗИФИЦИРУЕМЫХ МОДЕЛЕЙ

Григор А.С. – к.т.н., доцент, Ковылин С.Ю. – магистрант, Марков В.А. – д.т.н., профессор
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Способ литья по газифицируемым моделям был предложен и запатентован для изготовления художественных отливок в 1958 г. Модель из пенопласта, обладающая малой объемной массой, формируется в любой формовочной смеси так, что образуется неразъемная форма.

Перед заливкой формы модель не извлекается, а металл через литник заливается непосредственно на модель, которая под действием его теплоты газифицируется, освобождая полость формы.

Главная особенность этого технологического процесса – применение неизвлекаемой перед заливкой металла модели – определяет основные его достоинства:

- повышается точность отливок благодаря неразъемной форме, отсутствию операции извлечения модели, смещению полуформ и стержней при сборке, что позволяет уменьшить припуски на механическую обработку;

- можно изготавливать отливки сложной конфигурации без применения стержней, так как формовка осуществляется по «чистой» модели;

- упрощается процесс изготовления литейной формы, отпадает необходимость применения отъемных частей, стержней, а при использовании сухих дисперсных наполнителей без связующего или ферромагнитных материалов, формовка и выбивка форм после заливки существенно упрощаются;

- снижается трудоемкость обрубки и чистки отливок ввиду отсутствия заливок и заусенцев, появляющихся на отливках из-за разъема формы и применения стержней;

- расширяются возможности автоматизации и механизации процессов изготовления отливок.

Развитие литейного производства в последние годы характеризуется созданием новых и существенным совершенствованием ранее применявшихся технологических процессов, что открывает возможности получения металлических отливок с недостижимыми ранее качественными характеристиками, как в отношении размерной точности, состояния поверхности, тонкостенности и сложности конфигурации, так и по физико-механическим свойствам металла.

Эти достижения литейного производства во многом связаны с использованием новых технологических материалов, таких как пенополимеры, для изготовления моделей.

Литье по газифицируемым моделям находит все большее применение на многих предприятиях, расширяется область его использования для различной номенклатуры и сплавов. В данном расчете рассмотрено производство пенополистироловых моделей головки цилиндра двигателя с годовой программой выпуска 90 тысяч штук.

Однократность использования модели предопределила относительно высокую стоимость получаемых по ней отливок. При этом модель из формы не извлекается, что позволяет повысить качество отливки. Изготовление моделей из пенопласта позволяет получать отливки сложной конфигурации и с заданной структурой. Однако важным преимуществом использования для литья металлов по газифицируемым моделям является то,

что технологические процессы легко поддаются регулированию комплексной автоматизации и управлению с помощью микропроцессорной техники, что позволяет решить задачи не только повышения, но и стабилизации качества отливки. Для определения важных свойств пенополистирола для изготовления газифицируемых моделей была разработана методика с использованием имеющегося лабораторного оборудования. Однако линейная усадка не определялась, так как для ее определения требуется прибор с самописцем и высокой точностью измерения. Для получения фасонных отливок по газифицируемым моделям требуемого качества необходима качественная модель. Чтобы получить качественную модель в заводской лаборатории должен проводиться входной контроль получаемого полистирола, так как свойства материала различных партий могут меняться даже в пределах одной марки.

У полученного полистирола после предварительного вспенивания (время которого должно быть оговорено в технологическом процессе) и вылеживания (высушивания) на воздухе не менее 4 ч определяется насыпная масса.

Далее из предвспененного полистирола изготавливают образцы для проведения испытаний. Для определения объемной массы, прочности пенополистирола при сжатии, влажности предлагается использовать образец цилиндрической формы (в отличие от образцов в виде куба предлагаемых в литературе) со стандартными размерами, то есть диаметр образца 50 мм и высота образца 50 мм.

При изготовлении литейной формы на модель действуют изгибающие нагрузки, что может послужить причиной получения бракованной отливки, предлагается испытывать образцы пенополистирола на изгиб.

Для определения прочности пенополистирола при статическом изгибе используется образец в виде бруса свободно лежащего на двух опорах. Используется образец размерами 20x20x120 мм.

Для определения прочности на разрыв (так как при недостаточной прочности при извлечении модели из пресс-формы модель может порваться) используется стандартный образец-восьмерка, который используется для определения разрывной прочности формовочных смесей.

Так как для определения свойств пенополистирола (осуществления входного контроля) нет специализированного оборудования, была разработана методика определения его свойств на обычном лабораторном оборудовании для формовочных и стержневых смесей.

В нашем случае использовалась лабораторная машина 04116 – «машина испытательная для определения предела прочности формовочных и стержневых смесей».

Для проведения испытаний перед процессом изготовления образцов-моделей был проведен рассев исходного полистирола на стандартном наборе сит (было рассеяно 50 г). Полученный гранулометрический состав представлен на рисунке 1.

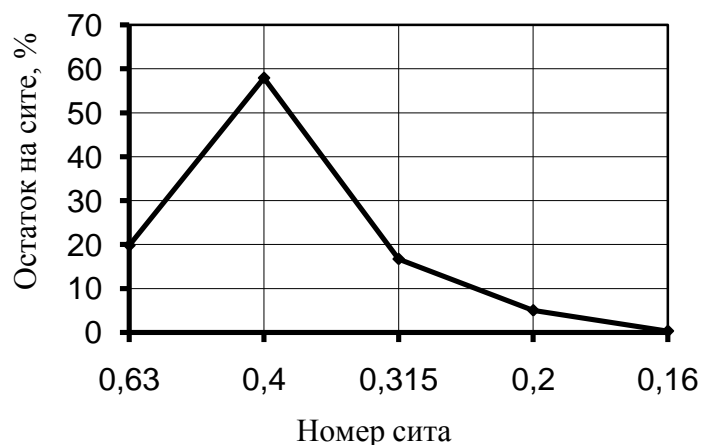


Рисунок 1 – Гранулометрический состав пенополистирола ПСВ-Л-1С

После этого фракции 0,63, 0,4 и 0,315 были вспенены в течение разного временного отрезка – 3, 6, 9, 12, 15 и 18 минут. Затем предварительно вспененный материал был высушен на открытом воздухе в течение суток. По истечении суток проводилось определение насыпной массы пенополистирола, таким образом – взвешивалась навеска 4 грамма и высыпалась в мерный цилиндр. После уплотнения встряхиванием измерялась высота насыпанного материала, и вычислялся объем занимаемый пенополистиролом. После произведенных расчетов были получены зависимости насыпной массы от времени предварительного вспенивания и величины исходных гранул. Результаты сведены в графики изображенные на рисунке 2.

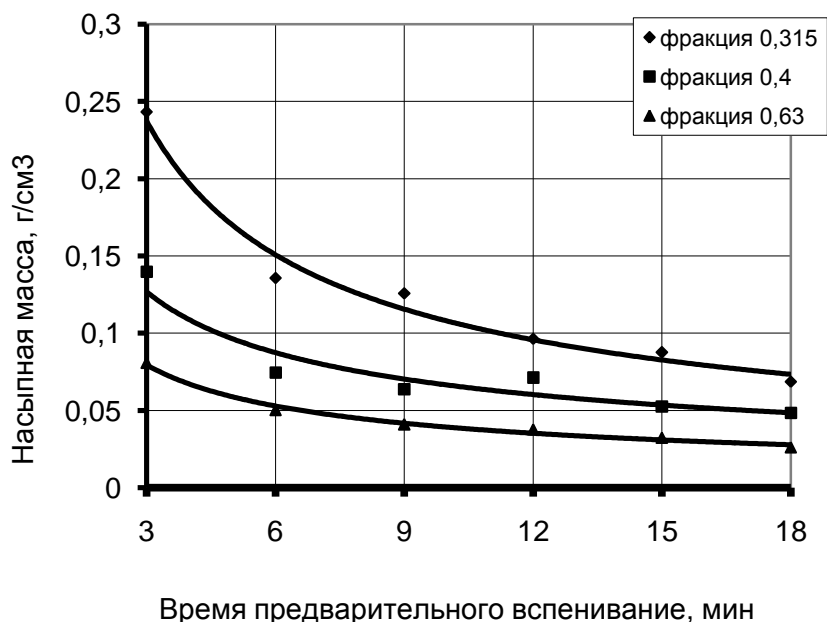


Рисунок 2 – Влияние времени предварительного вспенивания на насыпную массу образцов из пенополистирола

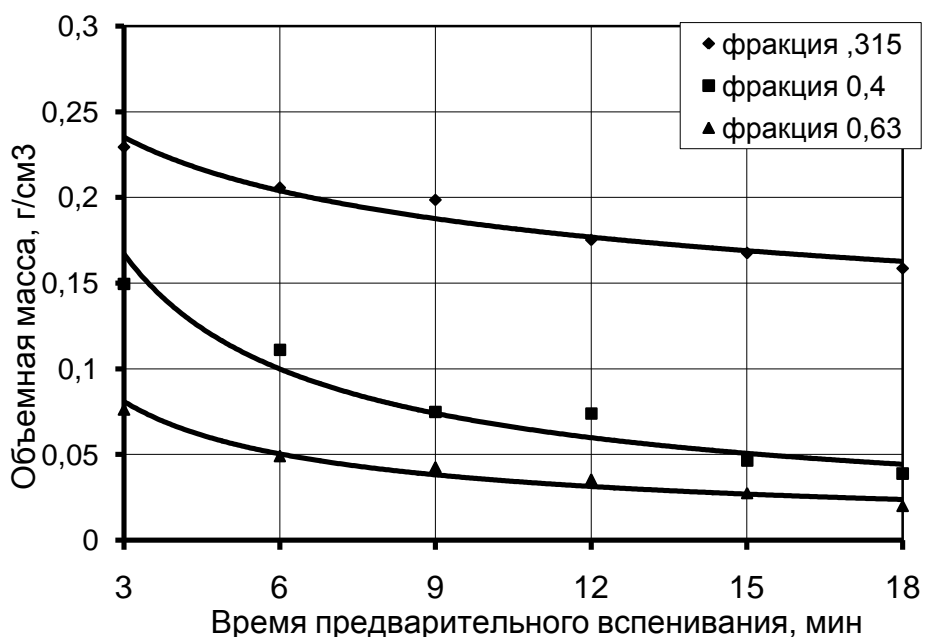


Рисунок 3 – Влияние времени предварительного вспенивания на объемную массу образцов из пенополистирола

Процесс предварительного вспенивания проходил в кипящей воде $t = 97 \dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$ и при этом определялась слипаемость гранул. При предварительном вспенивании полимера из расхода 0,25 кг на 1 м поверхности слипшиеся гранулы образовывали комки размером не более 20 мм. Из этого можно сделать вывод о том, что класс слипаемости пенополистирола марки ПСВ-Л-1С находится в пределах 0-1 класса.

После определения насыпной массы изготавливались образцы- цилиндры, после их вылеживания определялась объемная масса образцов. Для этого штангенциркулем измерялись образцы с точностью до 0,1 мм и взвешивались с точностью до 0,01 г.

Объемная масса моделей определялась по формуле:

$$\rho_{\text{мод}} = M/V$$

где M – масса образца, V – объем образца.

Полученные данные измерений и расчетов представлена на графике зависимости рисунок 3.

Твердость моделей из пенополистирола определялась твердомером модели 071 (заводской номер 526-962). Твердость газифицируемых моделей зависит от объемной массы и гранулометрического состава. Результаты исследования пенополистиролловых моделей приведены на рисунке 4.

Прочность пенополистирола при сжатии в соответствии с техническими условиями определяется при 10 %-ной деформации образцов в виде куба. Прочность моделей является

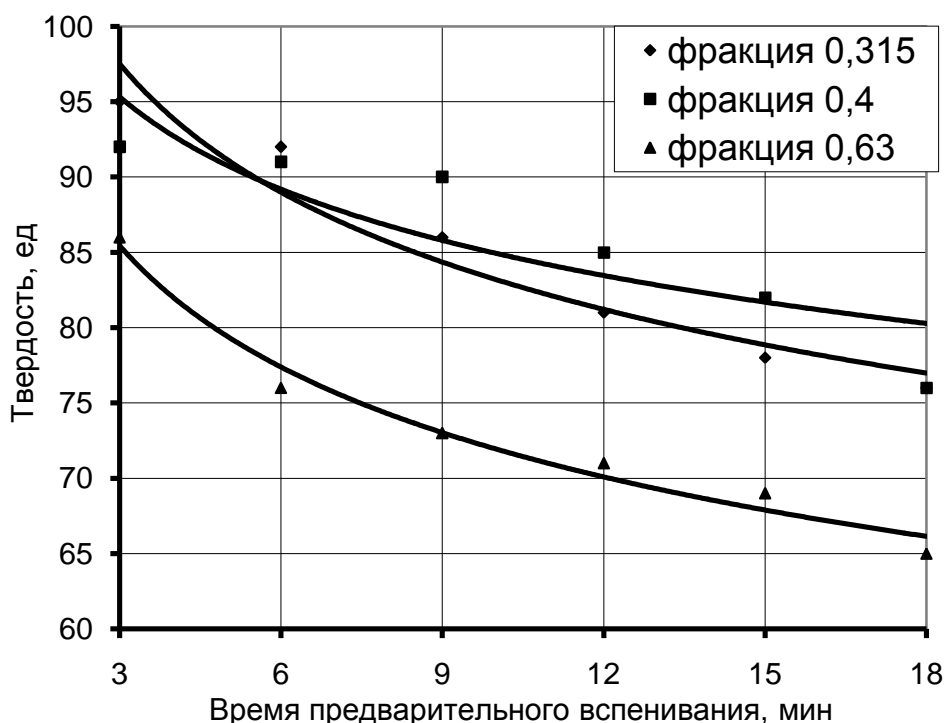


Рисунок 4 – Влияние времени предварительного вспенивания на твердость образцов из пенополистирола

Прочность пенополистирола при сжатии в соответствии с техническими условиями определяется при 10 %-ной деформации образцов в виде куба. Прочность моделей является важным свойством, так как обеспечивает получение литейной формы и отливки с точными размерами и чистой поверхностью. При недостаточной прочности модели возможна ее деформация при формовке, что является недопустимым.

Для пенополистироловых газифицируемых моделей 10 %-ная деформация недопустима, так как при такой деформации модели будет забракована отливка. Поэтому для определения прочности пенополистирола при сжатии достаточно 1 %-ной деформации.

После проведения исследований на твердость моделей из пенополистирола фракций 0,315, 0,4 и 0,63 были получены следующие результаты, которые представлены на рисунке 5.

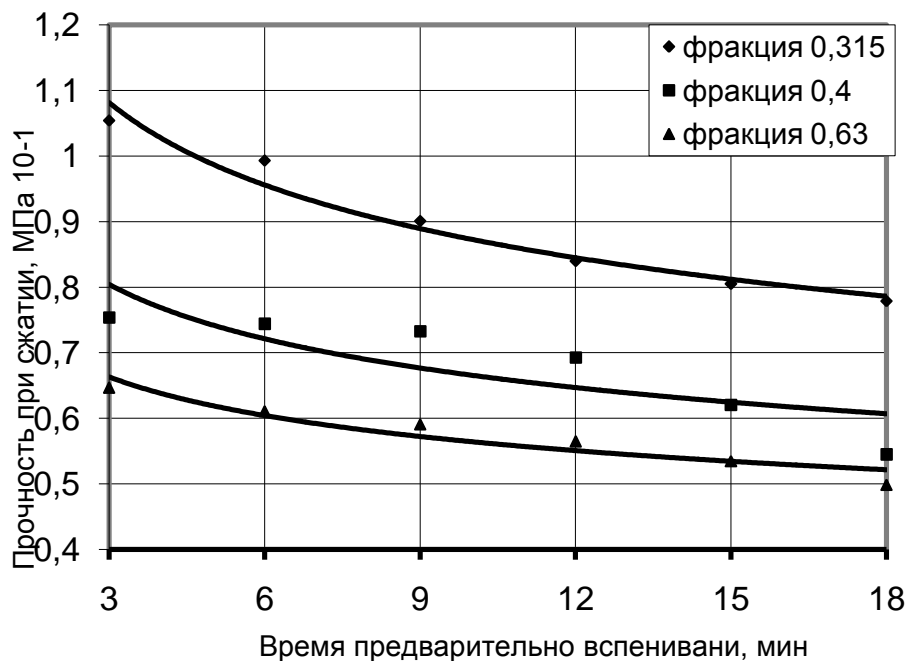


Рисунок 5 – Влияние времени предварительного вспенивания на прочность при сжатии образцов из пенополистирола

Прочность пенополистироловых моделей на разрыв определяется для того, чтобы при извлечении модели из пресс-формы не произошел ее разрыв, так как газифицируемые модели достаточно хрупкие.

Разрыв образцов-восьмерок производился на машине 04116 снабженной специальными зажимами и реверсом. Результаты проведенного эксперимента представлены на рисунке 6.

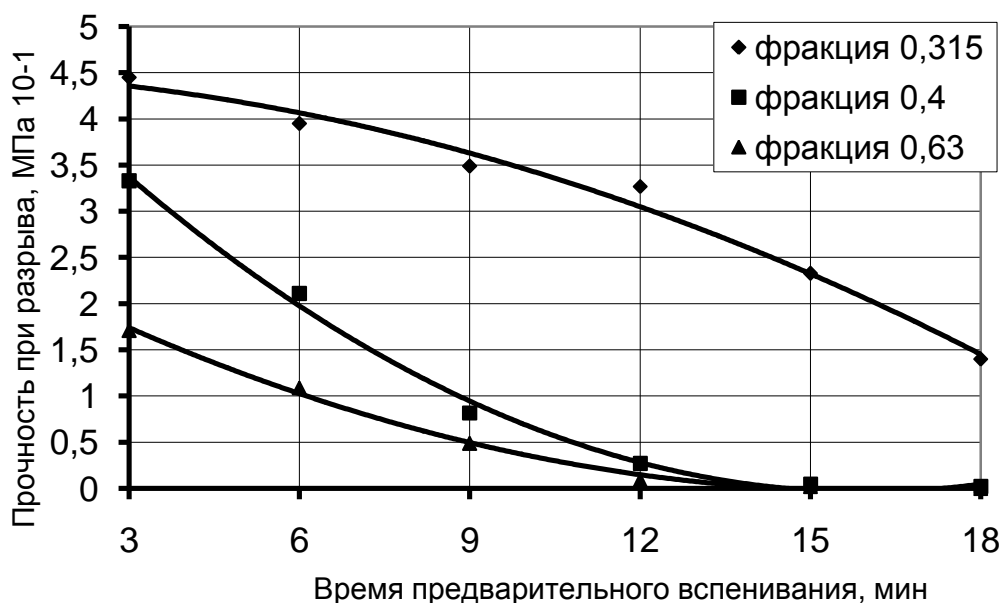


Рисунок 6 – Влияние времени предварительного вспенивания на прочность образцов из пенополистирола при разрыве

Прочность при статическом изгибе определялась на машине 04116, снабженной специальным приспособлением, которое позволяло свободно лежать образцу на двух опорах и воспринимать нагрузку, приложенную в его центре.

На рисунке 7 отражает зависимость прочности при статическом изгибе от времени предварительного вспенивания.

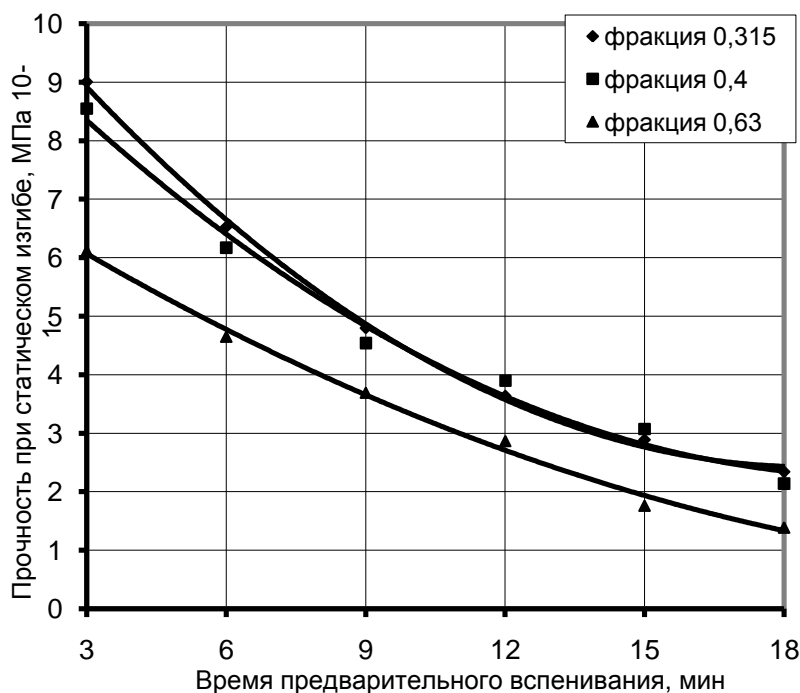


Рисунок 7 – Влияние времени предварительного вспенивания на прочность образцов из пенополистирола при статическом изгибе

Насыпная и объемная масса определялись с помощью мерного цилиндра, весов ВЛК и штангенциркуля, прочности определялись на машине 04116, имеющейся в заводской лаборатории.

В процессе предварительного вспенивания происходит нагрев гранул полистирола. Легкокипящая изопентановая фракция или изопентан испаряются при 28...30 °С и создают внутри гранулы во всем ее объеме значительное давление. При 80 °С полистирол размягчается, переходит в каучукоподобное состояние и под действием паров изопентана растягивается; гранула приобретает ячеистое строение. Эти процессы приводят к увеличению объема гранул в десятки раз. Соответственно, насыпная масса подвспененных гранул уменьшается с увеличением продолжительности тепловой обработки до некоторого определенного значения.

При предварительном вспенивании после нагрева и выдержки в течение определенного времени подвспененные гранулы охлаждаются на воздухе. В это время полистирол, охлаждаясь ниже температуры стеклования, вновь превращается в стеклообразное состояние, а изопентан переходит в жидкость, что приводит к образованию вакуума внутри ячеек гранул. В процессе выдержки происходит диффузия воздуха внутрь ячеек.

Так как полистирол ПСВ-Л-1С был произведен в 2015 году часть, находящегося внутри гранул газа в процессе диффузии испарилась. Исходя из того, что срок хранения пенополистирола составляет 4 месяца, мы получили насыпную массу пенополистирола большую, чем та, которая приводится в литературных данных.

Объемная масса напрямую зависит от насыпной массы, поэтому величины насыпной массы получились выше рекомендованных литературных данных (рекомендуемая объемная масса из пенополистирола для изготовления газифицируемых моделей 0,02...0,035 г/см³), а для испытываемого пенополистирола ПСВ-Л-1-С она составляет 0,2433...0,0687 г/см³ (для фракции 0,315 при времени предварительного вспенивания 3...18 мин); 0,1399...0,0486 г/см³ – для фракции 0,4; 0,0808-0,0261 г/см³ – для фракции 0,63.

По результатам проведенных испытаний образцов из пенополистирола на сжатие и

статический изгиб мы видим, что прочности образцов находятся в пределах $0,499...1,054$ МПа·10¹ (на сжатие) и $1,388...9,0$ МПа·10¹ (на статический изгиб), что является вполне допустимым для моделей из пенополистирола. При предварительном вспенивании 15...18 мин, прочности образцов минимальны, однако это не имеет принципиального значения, так как время предварительного вспенивания выбирается в пределах 3...9 мин.

Так как испытания образцов из пенополистирола при разрыве ранее не проводились и в литературе не приводились данные о разрывной прочности пенополистироловых моделей, то мы можем только обозначить их, т. е. полученная прочность при разрыве стандартного образца восьмерки составляет $4,45...0,02$ МПа·10¹, (при времени предвспенивания 3...9 мин – $4,45...0,49$ МПа·10¹).

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что ПСВ-Л-1С с таким сроком хранения можно использовать для ответственного литья, при продолжительности предварительного вспенивания 3...9 мин, так как при этом получают образцы с наиболее приемлемыми (оптимальными) прочностными показателями, но объемная масса остается высокой из-за просроченности материала. Для ее уменьшения можно порекомендовать отсеивать фракцию 0,315 перед предварительным вспениванием и отсеивать не вспененные гранулы после предварительного вспенивания. Возможно, после этого произойдет повышение прочностных свойств материала.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ

Курдюмов О.Ю. – магистрант, Огневой В.Я. – к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Согласно ГОСТ Р 51685-2013 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия» применяются следующие категории рельсов (таблица 1).

Таблица 1 - Категории рельсов

Обозначение категории	Характеристика категории рельсов
ДТ370ИК	Дифференцированно термоупрочненные с прокатного/отдельного нагрева повышенной износостойкости и контактной выносливости
ОТ370ИК	Объемно термоупрочненные повышенной износостойкости и контактной выносливости
ДТ350ВС	Дифференцированно термоупрочненные с прокатного/отдельного нагрева для высокоскоростного пассажирского движения
ДТ350СС	Дифференцированно термоупрочненные с прокатного/отдельного нагрева для скоростного совмещенного движения
ОТ350СС	Объемно термоупрочненные для скоростного совмещенного движения
ДТ350НН	Дифференцированно термоупрочненные с прокатного/отдельного нагрева низкотемпературной надежности
ОТ350НН	Объемно термоупрочненные низкотемпературной надежности
ДТ350	Дифференцированно термоупрочненные с прокатного/отдельного нагрева общего назначения
ОТ350	Объемно термоупрочненные общего назначения
НТ320ВС	Нетермоупрочненные для высокоскоростного пассажирского движения
НТ320	Нетермоупрочненные высокой прочности общего назначения
НТ300	Нетермоупрочненные повышенной прочности общего назначения
НТ260	Нетермоупрочненные обычной прочности общего назначения

Для производства рельсов используют непрерывно-литые заготовки из стали кислородно-конвертерного или электропечного производства, подвергнутой внепечной

обработке и вакуумированию. Рекомендуемые стали для различных категорий представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Марки стали для различных категорий рельсов

Марка стали	Категории рельсов по термическому упрочнению		
	ДТ	ОТ	НТ
90ХАФ	ДТ370ИК	-	-
90АФ	ДТ370ИК	ОТ370ИК	-
76ХАФ	ДТ350НН	-	-
76АФ	ДТ350НН	ОТ350НН	-
76ХФ	ДТ350ВС ДТ350СС ДТ350		НТ300
76ХСФ	-	-	НТ320ВС НТ320
76Ф	ДТ350ВС ДТ350СС ДТ350	ОТ350СС ОТ350	НТ260

Для достижения необходимых механических свойств рельсов необходимо проводить термическую обработку, дифференцированную или объемную. Термообработка регламентируется в частности твердостью (таблица 3) и микроструктурой.

Таблица 3 - Твердость термоупрочненных рельсов (НВ)

Место определения	Твердость рельсов категорий			
	ОТ370ИК	ДТ370ИК	ОТ350 ОТ350НН ОТ350СС	ДТ350 ДТ350НН ДТ350СС ДТ350ВС
На поверхности катания головки	370-409	370-409	352-405	352-405
На глубине 10 мм от поверхности катания головки по вертикальной оси рельса, не менее	363	363	341	341
На глубине 10 мм от поверхности выкружки рельса, не менее				
На глубине 22 мм от поверхности катания головки по вертикальной оси рельса, не менее	352	352	321	321
В шейке, не более	388	352	388	341
В подошве, не более		388		363

Микроструктура головки термоупрочненных рельсов должна представлять собой пластинчатый перлит не выше балла 4, допускаются мелкие разрозненные участки феррита не выше балла 2, бейнит не допускается. В микроструктуре рельсов класса прочности 370 из стали марок 90АФ и 90ХАФ допускаются участки карбидной сетки не выше балла 3 по шкале 5.

Все способы упрочняющей термической обработки рельсов можно разделить на три большие группы.

К первой группе относятся способы закалки рельсов, при которых формирование структуры в головке происходит в результате перлитного превращения (одинарной термической обработки) и полностью исключается протекание мартенситного или промежуточного превращений даже вблизи поверхности рельса. Задача отпуски (или

самоотпуска), который проводят после одинарной термической обработки, сводится, в основном, к снятию остаточных напряжений, возникших при закалке. Твердость при таком отпуске изменяется весьма незначительно. Кривые охлаждения различных участков поперечного сечения рельса пересекают перлитную область диаграмм распада аустенита при различных температурах (Рисунок 1, а, б). Наименьшую температуру перлитного превращения имеют периферийные зоны рельса, охлаждающиеся с наибольшей скоростью. Для этих способов термической обработки рельсов с относительно мягким охлаждением и формированием структуры при непосредственном образовании из аустенита тонкопластинчатой феррито-карбидной смеси (сорбита закалки), характерно плавное уменьшение твердости от поверхности в глубь рельса. Подобное распределение структуры и твердости обеспечивает существенное повышение контактно-усталостной прочности рельса.

Ко второй группе можно отнести те способы термической обработки рельсов, при которых поверхностные слои головки рельса проходят двойную термическую обработку, т. е. закалку на мартенсит и последующий отпуск (самоотпуск). При этих методах закалки скорость охлаждения поверхностных слоев рельса превышает критическую и в них образуется мартенситная структура. Конечная структура после самоотпуска вблизи поверхности катания (на глубину, по крайней мере, до 3—5 мм) представляет собой сорбит отпуска.

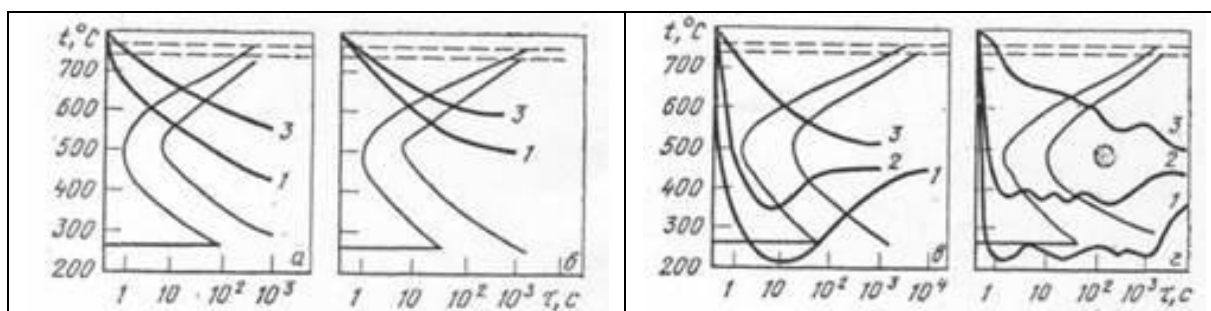


Рисунок 1 – Схемы охлаждения при различных способах термической обработки

а – объемная закалка в масле;

б – поверхностная индукционная закалка с охлаждением водовоздушной смесью;

в - при поверхностная индукционная закалка с охлаждением водой;

г - поверхностная индукционная закалка с охлаждением водо-воздушной смесью.

1 – поверхность рельса; 2 - на расстоянии 2—5 мм от поверхности;

3 - на расстоянии, большем 5—8 мм от поверхности.

Весь закаленный слой этой группы рельсов можно разбить на три зоны, характерные кривые охлаждения для которых представлены на Рисунке 1 в, г. При охлаждении поверхностного слоя в нем происходит мартенситное превращение, а при последующем разогреве за счет тепла, аккумулированного в лежащих ниже слоях головки рельса, — самоотпуск. Охлаждение слоя на глубине 2—5 мм происходит с меньшей скоростью и в нем не успевает начаться мартенситное превращение за время охлаждения, так как температура несколько превышает температуру начала мартенситного превращения. При разогреве за счет тепла самоотпуска кривая изменения температуры этого слоя пересекает изотермическую кривую превращения аустенита в области промежуточного превращения, что приводит к образованию здесь структуры бейнита, который затем отпускается за время продолжающегося самоотпуска. Процесс структурообразования при однократном и пульсирующем охлаждении принципиально одинаков. Охлаждение третьего слоя на глубине, большей 5—8 мм, происходит с еще меньшей скоростью, и его кривая охлаждения пересекает термокинетическую диаграмму распада аустенита в области перлитного превращения. Продуктом превращения является сорбит закалки, дисперсность которого уменьшается по мере удаления от поверхности катания. Кривые зависимости твердости от

расстояния от поверхности катания у этой группы рельсов имеют характерные «провалы», соответствующие той глубине, на которой протекало промежуточное превращение. Образование подобных зональных структурных неоднородностей способствует ускоренному развитию трещин контактной усталости в рельсах при эксплуатации и является существенным недостатком этих способов термической обработки рельсов.

К *третьей группе* относятся такие способы термической обработки рельсов, при которых формирование структуры верхней половины головки (на глубине не менее 12—18 мм) происходит в результате мартенситного или промежуточного превращений, что после проведения (при необходимости) отпуска обеспечивает получение во всей закаленной зоне структуры сорбита отпуска или бейнита с высокой твердостью. В эту группу в отличие от первых двух групп, к которым относятся рельсы повышенной прочности с твердостью около 350 НВ, входят так называемые высокопрочные рельсы с твердостью порядка 450 НВ.

Способы упрочняющей термической обработки высокопрочных рельсов может быть разделена на три подгруппы: термомеханическая обработка, способы получения равнопрочных по сечению рельсов (объемная, ступенчатая и изотермическая закалка) и способы получения неравнопрочных по сечению рельсов (дифференцированный отпуск после объемной закалки, поверхностная закалка с поверхностного нагрева, дифференцированная закалка с объемного нагрева, термическая обработка биметаллических рельсов).

Преимущества сорбита закалки по сравнению с сорбитом отпуска (при одинаковой твердости): больше разница между пределом текучести и временным сопротивлением, выше износостойкость, относительное удлинение и сужение, (или такая же) усталостная прочность, контактная выносливость, способность к упрочнению при наклепе, больше глубина наклепа при более постепенном понижении твердости с переходом к ненаклепанному металлу.

К недостаткам сорбита закалки по сравнению с сорбитом отпуска относится меньшая ударная вязкость, живучесть и вязкость разрушения. Несмотря на это, и, учитывая приведенный выше перечень преимуществ, предпочтение отдается структуре сорбита закалки. Особенности свойств этой структуры по сравнению со свойствами сорбита отпуска определяются различием в форме цементитных частиц, которое имеет место у этих структур при одинаковой твердости. Большее временное сопротивление сорбита закалки по сравнению с сорбитом отпуска, при условии равенства пределов текучести, свидетельствует о большей способности к упрочнению в процессе пластической деформации у пластинчатых структур. Это связано с тем, что пластины цементита, являясь эффективным источником дислокаций, способствуют образованию более развитой субструктуры феррита. Тем же обстоятельством можно объяснить и большую износостойкость сорбита закалки по сравнению с сорбитом отпуска. Более низкий предел текучести у образцов с пластинчатым цементитом свидетельствует о том, что пластическая деформация в сорбите закалки начинается при меньших значениях напряжений, что приводит к получению большей глубины распространения наклепа при контактном нагружении, к меньшему градиенту изменения твердости по глубине наклепанного слоя и благоприятно сказывается на повышении контактно-усталостной прочности стали.

Выводы

Таким образом, оптимальной структурой термически обработанных рельсов повышенной прочности является тонкопластинчатый сорбит закалки.

ОПТИМИЗАЦИЯ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ДЛЯ ПРОКАТКИ СОРТОВОГО ПРОФИЛЯ

Басова Е.М. - аспирант, Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор, Герман С.В.- аспирант,
Иванайская Е.А. – аспирант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При производстве сортопрокатной продукции огромное воздействие на качество оказывает калибровка валков. Сегодня существует множество критериев, которые могут быть взяты за основу для создания математических моделей по модификации формы калибров различного назначения.

В работе [1] в качестве такого критерия предлагается критерий коэффициента неравномерности деформации $K_{\text{нер}}$. Основными причинами выбора этого критерия в качестве критерия оптимизации являются: потенциальная возможность снизить усилие прокатки за счет перераспределения обжатий и варьирования площадью контактной поверхности; повышение эффективности калибровки – вытяжной способности прокатных валков; сокращение количества зон повышенной пластической деформации; снижение износа прокатных валков.

При математическом моделировании технологического процесса и оптимизации рассматриваются следующие критерии: $K_{\text{нер}}$ – неравномерность деформации, $K_{\text{стаб}}$ – стабильность процесса, $K_{\text{точ}}$ – точность, $K_{\text{тех}}$ – технологичность. Управление этими критериями посредством изменения формы калибров оказывает прямое влияние на геометрию готового проката. Форма калибра оказывает непосредственное влияние: на движение металла в очаге деформации; равномерность и распределение механических свойств, на работу, совершаемую в процессе прокатки.

В работе [1] приведен пример оптимизации профиля деформирующего конуса монолитной волоки. В процессе волочения при прохождении металла через очаг деформации заготовка круглого сечения подвергается радиальным обжатиям, распределение которых характеризует режим волочения. При волочении в монолитной волоке создается крайне неблагоприятный режим распределения радиальных обжатий по длине очага деформации, что снижает качество продукции, производительность процесса и повышает износ инструмента. На основании этого была пролучена модель оптимизации распределения единичных радиальных обжатий по длине очага деформации в монолитной волоке:

$$r_x = \sqrt{V_0/\pi \{ \int [f(x) - 1] dx + C \}}, \text{ мм} \quad (1)$$

где V_0 – секундный объем смещаемого металла в очаге деформации, мм^3 .

В качестве критерия оптимизации рассмотрим, максимум коэффициента эффективности калибровки [2]. Данное понятие относится к вытяжным калибрам и характеризует их вытяжную способность. При прочих равных условиях различные калибры позволяют получить различное значение коэффициента вытяжки. Те калибры, которые обеспечивают больший коэффициент вытяжки, отличаются большей эффективностью.

Коэффициент эффективности можно определить по формуле:

$$K_3 = V_l/V_h, \quad (2)$$

где V_l – смещенный объем металла в продольном направлении (в направлении вытяжки), а V_h – смещенный объем металла по высоте (в направлении обжатия).

Так как в паре калибров общая вытяжка задана, то максимальная эффективность будет обеспечена в том случае, когда сумма смещенных объемов металла по высоте в первой и второй клетях будет минимальной.

Сформулируем задачу оптимального управления (ЗОУ).

Известно, что теория оптимального управления изучает управляемые объекты и ищет наилучшие способы управления ими [3]. Исходя из этого будем условно рассматривать искомый контур калибра, описываемый функцией $x = f(t)$, как траекторию движения некоторого абстрактного объекта с началом в точке (x_0, t_0) и концом в точке (x_1, t_1) (рис. 1).

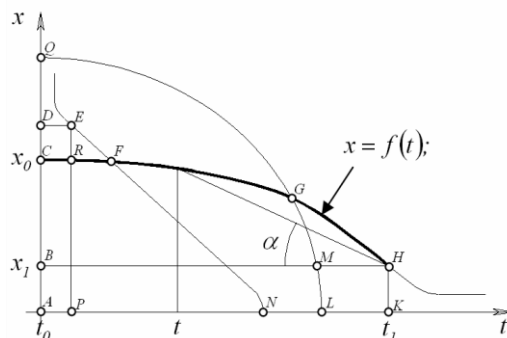


Рисунок 1 - Траектория движения объекта

Математическую модель движения данного объекта представим в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dt} = u \\ \frac{dx}{dt} = u(t_1 - t) - \varphi \end{cases}, \quad (3)$$

где x и φ - фазовые переменные, а u - управляющее воздействие.

В качестве критерия оптимальности, возьмем минимум смещенного объема металла по высоте, который будем определять по формуле [3]:

$$J = \ln \frac{S_0}{S_2} + \ln \frac{S_1}{S_3} \rightarrow \inf, \quad (4)$$

Введем дополнительные ограничения на вид искомой кривой. Логично потребовать, чтобы функция $x = f(t)$ на интервале была (x_0, t_0) выпуклой и убывающей. Выпуск в калибре не должен быть меньше определенной, заранее заданной, величины, а значение x_1 должно позволить построить калибр первой клетки без установки валков в забой и с определенным запасом на уширение. В математической записи данные утверждения будут выглядеть следующим образом:

$$0 \leq u \leq \frac{\varphi}{t_1 - t}, \quad \varphi \leq \beta, \quad x_1 \geq b, \quad (5)$$

где β и b - заданные постоянные величины.

Также в качестве дополнительных ограничений мы должны записать уравнения, которые будут определять уширение в первой и второй клетях.

Необходимо универсальное уравнение, которое подходит для любых калибров простой формы. Подобное уравнение было разработано автором в работе [4]. Используя это уравнение можно представить условия трансверсальности для рассматриваемой задачи:

$$\begin{cases} \ln \frac{S_0}{S_1} = K_{\Phi}^1 \frac{S_1}{S_4} \ln \frac{S_4}{S_5} \\ \ln \frac{S_1}{S_6} = K_{\Phi}^2 \frac{S_6}{S_7} \ln \frac{S_7}{S_8} \end{cases}, \quad (6)$$

где K_{Φ}^1 и K_{Φ}^2 и – коэффициенты, учитывающие форму очага деформации.

Используя зависимости (3) – (6) можно найти модель управления $u(t)$, которая удовлетворяет условию (5) и переводит систему (3) из начального состояния (x_0, t_0) в конечное (x_1, t_1) и минимизирует функционал J (4). Затем соответствующее этому управлению траекторию $x(t)$, которое удовлетворяет условию (6).

Эта задача рассматривается как постановочная, так как аналитическое решение данной задачи не представляется возможным по ряду причин (сложный вид функционала, не обладающего свойством локальности; непостоянство области допустимых управляющих воздействий; наличие ограничений на фазовые переменные; рекуррентность условий трансверсальности), однако вполне возможно численное решение.

При этом одним из эффективных методов численного решения подобных задач является математический аппарат с матричным выражением модели калибровки [5].

Выводы

1 Калибровку роликов (валков) для формирования сортового профиля следует рассматривать как модель управления эффективностью производства продукции;

2 Наиболее предпочтительна модель оптимизации формы закрытых калибров, обеспечивающих повышенные обжатие и качество профиля.

Список литературы

1 Поксеваткин М.И., Басова Е.М., Герман С.В., Поксеваткин Д.М. Рационализация продольного профиля деформирующего конуса монолитной волоки: - М.: Жур. Кузнечно-штамповочное производство. 2015 № 3. С. 16-19.

2 Тулупов С.А., Гун Г.С., Онискив В.Д. и др. Эффективность деформации сортовых профилей / С.А.Тулупов, Г.С.Гун, В.Д.Онискив и др. – М.: Металлургия, 1990. 280 с.

3 Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. - М.: Наука, 1983. 392 с.

4 Кинзин Д.И. Совершенствование и проектирование калибровок простых сортовых профилей на основе анализа показателей формоизменения и энергосиловых параметров: Дис. к-та техн. наук. Магнитогорск, 2003. 107 с.

5 Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки. – Магнитогорск.: МГТУ. 2002.224 с.

ПРИНЦИПЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ ЗАКРЫТЫХ КАЛИБРОВ МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКИ

Басова Е.М. - аспирант, Поксеваткин М.И. – к.т.н., профессор, Герман С.В.- аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В настоящее время все большее применение находят комбинированные схемы формирования сортовых профилей: предчистовое формирование в трех-четырёх роликовых валках в несколько проходов и получение окончательных размеров и форм изделия в монолитной волоке. Использование таких схем позволяет осуществлять процесс формирования профиля с более высокими единичными обжатиями за меньшее число проходов и снизить, тем самым, энергозатраты.

Преимущества применения монолитных волок заключается в простоте конструкции инструмента и технологии формирования изделий.

Однако, применяемые монолитные волоки с прямолинейной образующей деформирующего конуса (рис.1), создают крайне неблагоприятный режим распределения радиальных обжатий по длине очага деформации, что существенно снижает качество продукции и производительность процесса волочения, повышает износ инструмента.

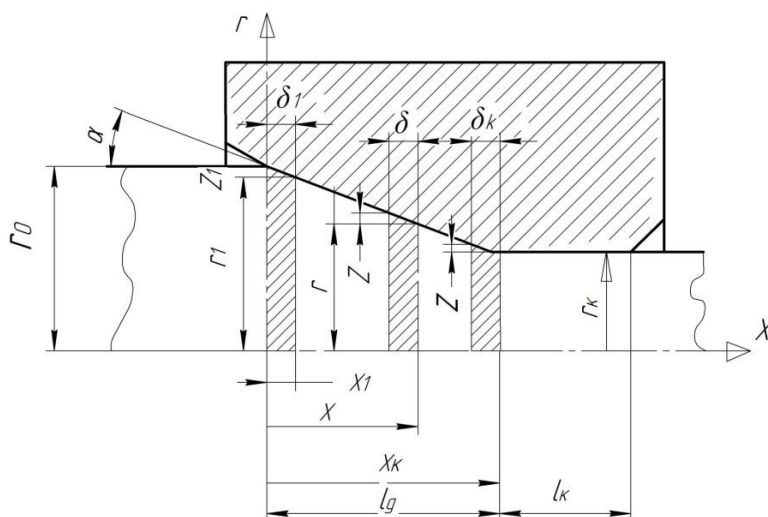


Рисунок 1 - Схема волочения в монолитной волоке с прямолинейной образующей деформирующего конуса

На основании принципа, изложенного в работе [1], для определения единичных обжатий в каком-либо сечении очага деформации необходимо взять другое сечение, удаленное от первого на расстояние, при котором объем металла заготовки, заключенный между сечениями, равен объему металла, смещаемого за один оборот валков.

Применительно к процессу волочения шаг смещаемого в очаге деформации металла, заключенного между сечениями x и $x-\delta$ (рис.1), предпочтительно взять за единицу времени.

Тогда объем смещаемого металла в единицу времени находят по исходным данным:

$$V_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot V_B, \quad (1)$$

где V_0 —объем смещаемого в единицу времени металла, мм³/сек;

r_0 — исходный радиус заготовки, мм;

V_B —скорость волочения, мм/сек.

Абсолютное обжатие (z) в любом сечении x (рис.1) равно:

$$z = \delta \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где δ — шаг смещаемого объема металла в единицу времени, мм;

α — угол конусности деформирующего участка l_g , мм.

Относительные единичные обжатия (ε) в любом сечении x :

$$\varepsilon = z / (r + z), \quad (3)$$

где r — величина радиуса заготовки в сечении x , мм.

В любом сечении x деформируемого участка l_g (рис.1) текущие значения радиуса (r) заготовки и относительного единичного обжатия (ε) равны:

$$r = r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad (4)$$

$$\varepsilon = z / (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha). \quad (5)$$

Объем металла между сечениями x и $x-\delta$ (V_x) определяется как объем прямого усеченного конуса:

$$V_x = V_0 = \frac{\pi \cdot \delta}{3} [(r + z)^2 + (r + z) \cdot r + r^2]. \quad (6)$$

С учетом формул (2) и (4) выражение (6) примет вид:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot z}{3 \operatorname{tg} \alpha} [(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)^2 + (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z) \cdot (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2]. \quad (7)$$

Формула (7) с учетом выражения (1) преобразуется в уравнение для определения абсолютных единичных обжатий в любом сечении x участка l_g (рис.1):

$$z = \frac{r_0^2 \cdot V_B \cdot \operatorname{tg} \alpha}{[z^2/3 + (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)]}. \quad (8)$$

Полученные данные свидетельствуют о крайне неравномерном распределении единичных обжатий по длине очага деформации; они достигают пиковых значений на границе деформируемого (l_g) и калибруемого (l_k) участков заготовки (рис.1).

Рациональное распределение единичных радиальных обжатий может быть достигнуто построением соответствующего продольного профиля деформирующего конуса монолитной волоки на основе равенства единичных радиальных обжатий по длине очага деформации с учетом интенсивности упрочнения деформируемого металла [2].

В общем случае образующая деформирующего конуса может быть представлена кривой BC (рис.2), отвечающей критериям оптимизации, например, равенству единичных обжатий или степеней упрочнения в каждом сечении очага деформации, ограниченного плоскостями, проходящими через точки B и C перпендикулярно оси волочения, минимизации сил трения в деформирующем конусе и усилия волочения [3].

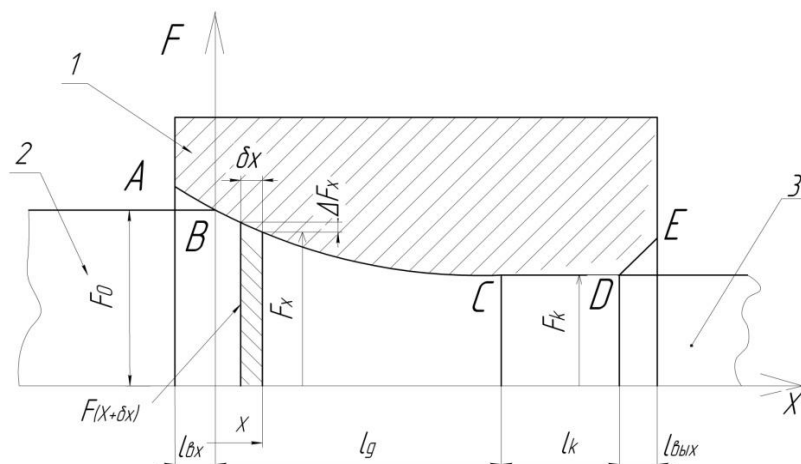


Рисунок 2 – Расчетная схема волочения к рационализации продольного профиля калибра волоки:

1 – волока; 2 – исходная заготовка; 3 – формируемый профиль; АВ – входной конус; ВС – деформирующий конус; CD – калибрующий участок; DE – выходной конус

Обобщенная модель рационализации продольного профиля деформирующего конуса волоки строится с использованием методики, изложенной в работе [4] при оптимизации продольного профиля вала стана планетарно-винтовой прокатки.

Вывод

Получена аналитическая зависимость для определения единичных радиальных обжатий в любом сечении очага деформации монолитной волоки с прямолинейной образующей деформирующего конуса.

Список литературы

- 1 Целиков А.И., Ирошников А.Н. Сталь. Вопросы трубного производства / А.И. Целиков – М.: Metallurgizdat. 1940, 162 с.
- 2 Богатов А.А., Крук А.Т., Овчинников А.Г., Семенов Е.И. Влияние интенсивности деформационного упрочнения на напряженное состояние при волочении круглого сплошного профиля. – М.: Журнал Заготовительные производства. 2014, № 7, с. 12-15.
- 3 Поксеваткин М.И., Басова Е.М., Герман С.В., Поксеваткин Д.М. Рационализация продольного профиля деформирующего конуса монолитной волоки: - М.: Жур. Кузнечно-штамповочное производство. 2015 № 3. С. 16-19.
- 4 Тетерин П.К., Тетерин Г.П., Поксеваткин Д.М. Оптимизация продольного профиля вала стана планетарно-винтовой прокатки:- М.: Жур. Кузнечно-штамповочное производство. 1995. №8. С. 21-23.

ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Собачкина Л.Д. - аспирант, Бутыгин В.Б. - к.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

В технике под поверхностью детали понимают наружный слой, который по строению и другим физическим свойствам отличается от внутренней части. Комплекс свойств, приобретаемых поверхностью детали в результате ее изготовления, характеризуется обобщенным понятием «качество поверхности».

Качество поверхности инструментов, так же как и обычных деталей машин, характеризуется двумя параметрами – чистотой поверхности и физико-механическими свойствами поверхностного слоя.

Качество поверхности инструментов зависит от многих факторов: состава стали, термообработки и многих других (износостойкость, твердость и т. п.). Одним из важных факторов в этой связи является шероховатость.

Требования к шероховатости поверхности должны быть обоснованными и устанавливаться исходя из функционального назначения, конструктивных особенностей и условий работы инструмента. Поэтому правильное назначение этих требований имеет большое экономическое значение, поскольку с повышением качества поверхности стоимость обработки существенно возрастает. В связи с этим изначальное качество поверхности имеет большое значение, поскольку при лучшем изначальном качестве поверхности стоимость обработки будет ниже. При разработке новых инструментальных сталей качеству получаемой поверхности всегда уделяется определённое внимание.

В основе исследований наших сталей является изучение механических свойств, но один из параметров, характеризующих сталь – это шероховатость, от которой зависит чистота поверхности. Шероховатость поверхности является одной из основных геометрических характеристик качества поверхности инструмента, оказывающей существенное влияние на их эксплуатационные свойства. Термины и определения основных понятий по шероховатости поверхности установлены ГОСТ 25142-82 и ГОСТ 2789-73.

Для исследований были выбраны опытные стали различного химического состава, обеспечивающие близкие значения к широко применяемой быстрорежущей стали Р6М5 (таблица 1) [1, 2].

Таблица 1 – Химический состав сталей

Сталь	2	4	5
C	0,404	0,465	0,35
Mn	0,761	0,225	1,375
Si	2,1	2,1	1,35
Ti	0,316	–	0,015
Mo	2,677	2,318	2,25
Cr	5,749	2,988	8,25
Ni	3,435	0,011	8,65
Cu	0,083	0,055	0,45
W	2,486	–	5,75
V	0,8	0,939	0,75
Co	1	0,001	0,02
Al	0,023	0,055	0,15
N	–	–	0,065
P	0,022	0,0213	–
S	0,093	0,032	–
Nb	0,442	–	–
B	0,0386	0,0013	–

Опытные образцы термически обрабатывались: отжиг ($T_{отж} = 880^{\circ}\text{C}$), закалка и отпуск на максимальную твёрдость ($T_{зак} = 1075\text{--}1100^{\circ}\text{C}$; $T_{отп} = 560^{\circ}\text{C}$, 3 раза) [3].

Были проведены исследования образцов опытных сталей (как отожжённых, так и термообработанных) методом оптической интерференционной микроскопии. Для проведения исследования использовался оптический профилометр-интерферометр Veeco (Wyko) NT 9080.

Оптическая интерференционная микроскопия – это бесконтактный (преимущество по сравнению с другими методиками) метод быстрого получения топографии поверхности в 3D, позволяющий наблюдать любой рельеф и регистрировать его особенности, начиная от шероховатости нанометрового масштаба, до ступенек миллиметровой высоты на участках размером от сотен микрон до нескольких миллиметров.

После отжига образцы шлифовались наждачным кругом 20 зернистости. После термической обработки образцы шлифовали кругом зернистости 20; размер наждачной бумаги от M20 до M5 [4, 5]. После чего проводилась полировка пастой ГОИ.

Было проведено исследование шероховатости поверхностей образцов, изготовленных из разной стали. Топография поверхности имеет вид, представленный на рисунках 1...3.

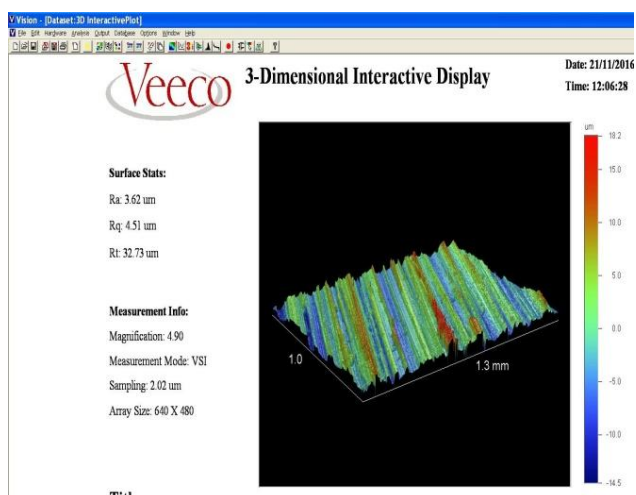


Рисунок – 1 Топография образца №1, замер 1

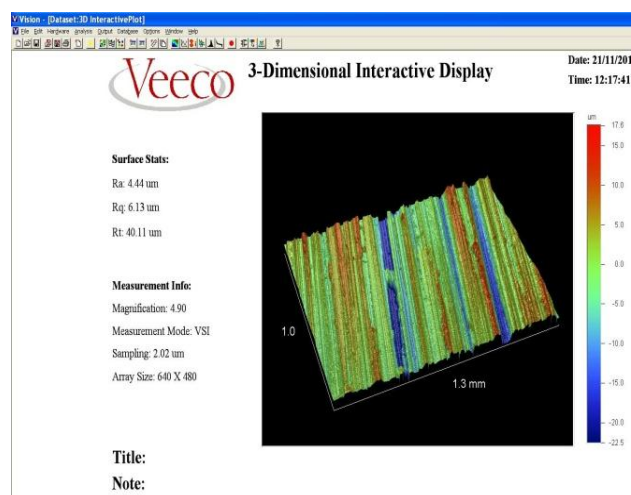


Рисунок – 2 Топография образца №2, замер 1

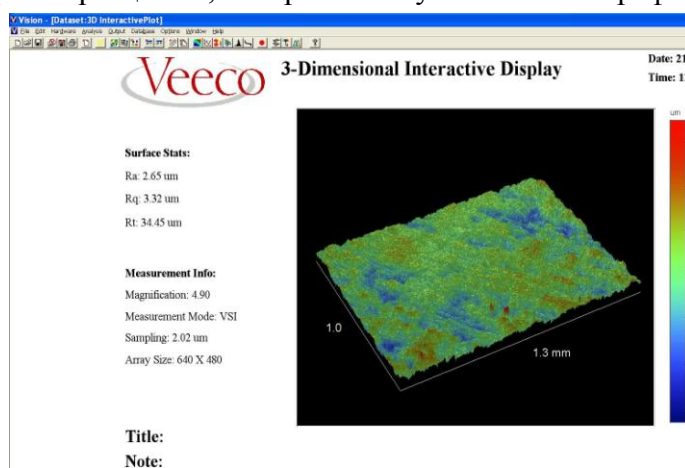


Рисунок – 3 Топография образца №3, замер 2

Было проведено по пять замеров шероховатости Ra на каждом из трёх образцов, изготовленных из разной стали. Результаты замеров приведены в таблице 2.

Таблица – 2 Шероховатость образцов из стали

№ образца	Образец №1 (сталь№2)		Образец №2(сталь№4)		Образец №3 (сталь№5)	
№ замера	Значение шероховатости Ra, в мкм					
	после отжига	после ТО	после отжига	после ТО	после отжига	после ТО
1	3,62	0,21093	4,44	0,20097	3,88	0,17297
2	3,97	0,21161	4,99	0,20024	2,65	0,15996
3	3,61	0,20039	5,84	0,18912	2,91	0,14748
4	3,75	0,21093	5,95	0,18106	2,75	0,16010
5	3,66	0,21424	5,00	0,21283	2,89	0,14344

Выводы.

1. Наименьшее значение шероховатости наблюдается в образце №3, (после отжига $Ra=2,8\pm 0,76$; после термической обработки $Ra\approx 0,16$).
2. Меньшая шероховатость обеспечивает лучшую шлифуемость образца №3, изготовленного из стали №5.
3. Предположительно это объясняется более низким содержанием в стали №5 углерода и ванадия; а также более высоким содержанием меди. Влияние других элементов на шероховатость является дальнейшим исследованием. На сталь с лучшими значениями шероховатости получен Патент РФ.

Список литературы

1. Собачкина Л.Д., Бутыгин В.Б. Разработка штамповых сталей различной теплостойкости // Ползуновский вестник. — 2015. — № 3. — С. 28 — 30.
2. Собачкина Л.Д. О возможности применения низколегированных быстрорежущих сталей // Актуальные вопросы и перспективы развития науки и образования: Материалы междунар. (заочной) науч.-практ. конф. — Научно-издательский центр «Мир науки», 2016. — С. 50 — 53.
3. Бутыгин В.Б. Собачкина Л.Д., Околович Г.А Влияние содержания кремния на свойства теплостойких инструментальных сталей // Ползуновский альманах. — 2016. — № 4. — С. 108-110.
4. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. ГОСТ 2789 - 73. — Введ. 1973-23 -04. — М.: Изд-во стандартов «Стандартинформ», 2006.
5. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость. Зерновой состав. Методы контроля. ГОСТ 3647 - 80. — Введ. 1982-01 -01. — М.: Изд-во стандартов «Стандартинформ», 2000.

ПОКРЫТИЯ ЧУГУННЫХ КОКИЛЕЙ

Мустафин Г.А., Мустафина Т.В., Горбунов А.В.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова(г. Барнаул)

Для изготовления кокилей чаще других материалов используется серый чугун. Наиболее опасным с точки зрения долговечности для некоторых типов кокилей из серого чугуна является процесс окисления материала кокиля при многократном повышении его температуры. Чем на более высокую температуру нагревается рабочая поверхность кокиля, тем большую опасность представляет процесс окисления его материала [1].

Одним из способов уменьшения окисления материала кокиля является понижение температуры его поверхности за счет нанесения изолирующих покрытий. Покрытия не только уменьшают температуру рабочей поверхности кокиля, но и снижают величину

термического удара и уменьшают пагубное воздействие на материал кокиля кислорода и других агрессивных газов.

Оценка жаростойкости проводилась в соответствии с ГОСТ6130-71 по привесу экспериментальных цилиндрических образцов. Установка для испытания на жаростойкость удовлетворяла следующим требованиям:

- автоматическая регулировка температуры с точностью $\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- отклонение температуры в отдельных точках в зоне расположения образцов не более $\pm 5^{\circ}\text{C}$ от заданной температуры.

Газовая среда соответствовала газовой среде помещения. Перед нанесением покрытия поверхность образцов шлифовалась и обезжиривалась. Покрытие наносилось в несколько этапов для достижения равномерной толщины 0,1 мм.

Испытывались два покрытия, нашедших широкое применение при производстве в кокиль отливок из алюминиевых сплавов (покрытия 1 и 2 таблицы 1). Кроме этих двух традиционных покрытий испытывались фосфатные и боридные покрытия. Боридные покрытия, полученные методами химико-термической обработки, имели также толщину 0,1 мм.

Таблица 1 – Составы покрытий

Номер покрытия	Оксид цинка, %	Жидкое стекло, %	Прокаленный асбест, %	Вода, %	Бориды железа, %	Алюмохромофосфат, %
1	5	3	-	92	-	-
2	3	6	6	85	-	-
3	-	-	-	-	-	100
4	-	-	-	-	100	-

Для испытания использовались цилиндрические полые образцы внешним и внутренним диаметром 15 и 11 мм и высотой 15 мм. Для нанесения покрытий на внешние и внутренние поверхности нагретых образцов использовались специальные приспособления (рис. 1) Применение массивных приспособлений обеспечивает твердение покрытий с их нижних слоёв. Это устраняет образование пузырей и пустот в толще покрытий.



Рисунок 1 – Приспособления.



Рисунок 2 – Образец в тигле

Для устранения влияния на точность измерения осыпания покрытий образцы помещались в алундовые тигли (рис.2), взвешивались и нагревались вместе с ними.

Температура испытания 800°C . При этой температуре происходит интенсивное окисление железа. Образцы после взвешивания помещались в печь, нагретую до заданной температуры, и выдерживались в ней в течение 6 часов. Взвешивание происходило через каждые два часа выдержки при заданной температуре после охлаждения образцов вне печи с

точностью 0,1 мг. Увеличение массы образца оценивалось по относительной разности в процентах результатов взвешивания образцов до и после прокаливания.

Результаты испытаний приведены на рисунках 3-5. Как следует из рисунка 1, все покрытия заметно повышают жаростойкость серого чугуна. Наиболее существенное влияние оказывает покрытие из фосфатов. Вероятно, это покрытие наиболее плотное, лучше изолирует образцы от агрессивной атмосферы, чем другие покрытия. Кроме того, это покрытие более устойчивое и меньше осыпается в процессе испытаний.

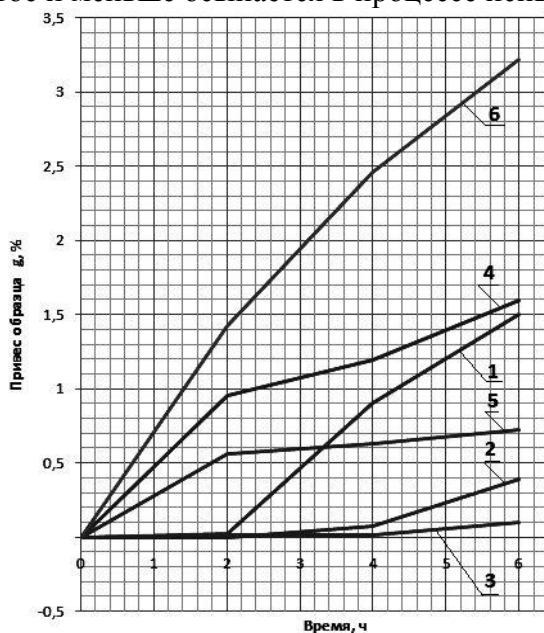


Рисунок 3 – Результаты взвешивания:

1-покрытие на основе оксида цинка; 2-покрытие на основе асбеста и оксида цинка; 3-фосфатное покрытие; 4-боридное покрытие совместно с покрытием на основе оксида цинка; 5- боридное покрытие; 6-без покрытия



Рисунок 4 - Образцы с покрытием на основе оксида цинка после испытаний.



Рисунок 5 - Образцы с покрытием на основе оксида цинка и асбеста после испытаний.



Рисунок 6 - Образцы с боридным покрытием после испытаний.



Рисунок 7 - Образцы с фосфатным покрытием после испытаний.

Анализ рисунков 3-7 позволяет утверждать, что наиболее существенное влияние на жаростойкость оказывают боридные и фосфатные покрытия.

Список литературы

1. Литье в кокиль; монография/ С.Л. Бураков и др.; под ред. А.И.Вейника; М., Машиностроение, 1980.-415 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Герман С. В. – аспирант, Поксеваткин М.И., к.т.н., профессор, Иванайская Е. А. – аспирант Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Для исследования многофакторного технологического процесса сборки и оптимизации производства составных изделий из сборных заготовок разработана и изготовлена лабораторная установка [1].

На основе результатов эксперимента с использованием статистических методов планирования эксперимента, построена математическая модель.

Построение вероятностной модели и плана эксперимента проведено в следующей последовательности:

- 1) сделан анализ исследуемого процесса;
- 2) формализована структура и содержание процесса;
- 3) выбраны параметр оптимизации и наиболее значимые управляемые величины (факторы), влияющие на изменение параметра оптимизации процесса;
- 4) принято в общем виде уравнение регрессии (модель процесса);
- 5) установлены ограничения;
- 6) выбран план факторного эксперимента.

При планировании эксперимента установлено необходимое минимальное число опытов и условий их проведения, выбран метод математической обработки результатов опытов и принятия решений [2].

В качестве параметра оптимизации выбран показатель качества сборки металлических заготовок совместным пластическим деформированием, равный отношению площадей неразъемного соединения контактных поверхностей заготовок к общей площади их контакта (λ):

$$\lambda = S_k / S_o, \quad (1)$$

где S_k и S_o – соответственно площадь неразъемного соединения заготовок и общая площадь контакта.

С целью упрощения расчета показателя λ отношение площадей контакта заменено отношением длин участков неразъемного соединения заготовок к общей длине их контакта на диаметральной плоскости разреза сборной заготовки, т.е.

$$\lambda = \sum_{i=1}^m l_{c\sigma_i} / l_{o\sigma_j}, \quad (2)$$

где m – соответственно количество участков схватывания металлов заготовок;

i и j – номера участков контакта.

Показатель качества сборки (λ) зависит от ряда ключевых технологических параметров.

Показатель качества может быть представлен в общем виде уравнением:

$$\lambda = (T, d, D, P_{вд}, P_{пр}), \quad (3)$$

где T – температура нагрева головной заготовки, °С;

d и D – соответственно диаметры стержневой и головной заготовок, мм;

$P_{вд}$ и $P_{пр}$ – соответственно усилие вдавливания головной заготовки в стержневую и усилие противодействия, Мн.

Тогда математическую модель процесса сборки металлических заготовок с достаточной точностью можно аппроксимировать полиномом второй степени:

$$\lambda = C \cdot T^\alpha \cdot W^\beta \cdot Q^\gamma, \quad (4)$$

где C – свободный коэффициент полинома;

T – температурный фактор, °C;

$W = d/D$ – геометрический фактор, мм;

$Q = P_{пр} / P_{вд}$ – силовой фактор, МН;

α , β и γ – показатели степени полинома.

После логарифмирования уравнение регрессии (4) линеаризуется:

$$\ln \lambda = \ln C + \alpha \ln T + \beta \ln W + \gamma \ln Q. \quad (5)$$

Возможность аппроксимации уравнения (3) полиномом (4) устанавливается проверкой гипотезы адекватности линейной модели при выражении результатов эксперимента линейным полиномом

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + \dots \quad (6)$$

где $y = \ln \lambda$; $b_0 = \ln C$; $b_{1,2,3}$ – коэффициенты факторов; x_1 , x_2 и x_3 – кодированные значения факторов.

С целью минимизации числа опытов принят план эксперимента 2^{3-1} (полуреплика плана 2^3), предусматривающий проведение четырех опытов. Определяющим контрастом полуреплики является соотношение

$$1 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3, \quad (7)$$

где $x_3 = x_1 \cdot x_2$ – третий фактор, принятый вместо малозначимого эффекта взаимодействия x_1 , x_2 и x_3 .

Принятые уровни факторов приведены в таблице 1

Таблица 1 – Факторы и их уровни

Факторы	Кодовое обозначение факторов	Уровни факторов		
		верхний +1	основной 0	нижний -1
$T, ^\circ C$	x_1	1200	1000	800
W	x_2	0,60	0,40	0,20
Q	x_3	0,90	0,10	0,50

Кодированное значение факторов определяли по выражению:

$$x_i = \frac{2(\ln \bar{x}_i - \ln \bar{x}_i^g)}{\ln \bar{x}_i^g - \ln \bar{x}_i^h} + 1, \quad (8)$$

где x_i – кодированное значение i -го фактора; \bar{x}_i – натуральное значение i -го фактора; \bar{x}_i^g – натуральное значение верхнего уровня i -го фактора; \bar{x}_i^h – натуральное значение нижнего уровня i -го фактора.

После проведения четырех серий экспериментов определяют качество «схватывания» соединяемых заготовок. Для этого каждый образец подвергался механической резке по продольной оси и на макрошлифах измерялись общая длина и длина получившегося неразъемного соединения. На рисунке 1 представлена фотография образца. На торце схватывание происходит в меньшей степени, чем на боковой контактной поверхности, потому что удаление адсорбатов с торцевой поверхности затруднено в процессе сборки металлических заготовок, что препятствует хорошей схватываемости металлов. На боковых поверхностях большая часть адсорбатов, особенно при наличии противодействия, снимается в момент внедрения стержневой заготовки в головную, поэтому площадь неразъемного соединения заготовок относительно велика (рисунок 1).

После обмера контурных линий неразъемного соединения заготовок (линий схватывания металлов) на макрошлифах рассчитаны значения показателя качества сборки (λ).

Матрица планирования эксперимента и результаты расчета сведены в таблицу 2.

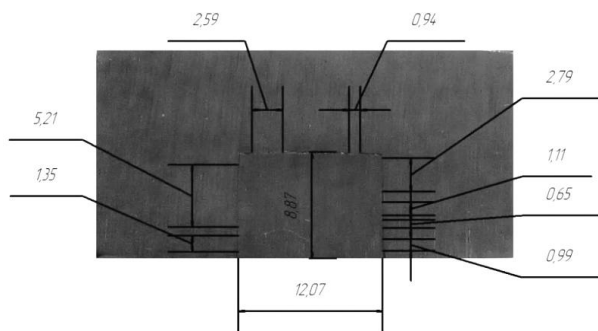


Рисунок 1 – Схема определения участков схватывания к расчету показателя качества сборки (λ)

Таблица 2 – Матрица планирования и результатов эксперимента

№ опыта	x_0	x_1 T	x_2 W	x_3 Q	Y_{ju}			\bar{Y}_j
					λ_{j1}/ Y_{j1}	λ_{j2}/ Y_{j2}	λ_{j3}/ Y_{j3}	
1	+	-	-	+	72/4,28	76/4,33	67/4,20	4,27
2	+	+	-	-	60/4,09	65/4,17	58/4,06	4,11
3	+	-	+	-	56/4,03	59/4,08	51/3,39	4,01
4	+	+	+	+	68/4,22	79/4,37	76/4,33	4,31

Далее проводят расчет коэффициентов уравнения регрессии (модели процесса) и проверку полученной модели на адекватность.

Таблица 3 – Значения факторов в каждом опыте

Значение	Номер опыта			
	1	2	3	4
T/ x_1	800/6,68	1200/7,09	800/6,68	1200/7,09
W/ x_2	0,2/-1,61	0,2/-1,61	0,6/-0,51	0,6/-0,51
Q/ x_3	0,9/-0,1	0,1/-2,3	0,1/-2,3	0,9/-0,1

После расчета коэффициентов уравнения регрессии и проверки адекватности модели преобразуем логарифмированную зависимость. Математическую модель получаем в виде:

$$\lambda = 62,8 \cdot T^{0,03} \cdot W^{0,016} \cdot Q^{-0,11} \quad (9)$$

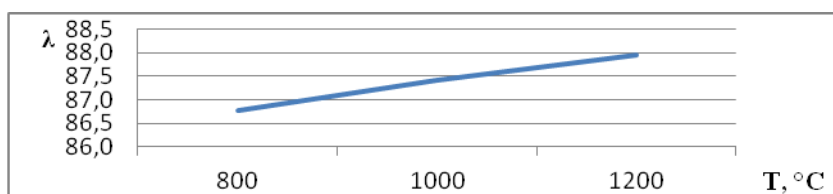


Рисунок 2 – График зависимости показателя качества сборки металлических заготовок совместным пластическим деформированием от температуры нагрева головной заготовки при постоянных соотношениях $d/D=0,4$ и $P_{пр}/P_{вд} = 0,5$

Выводы:

1. Построена математическая модель для оптимизации производства составных изделий с учетом варьируемых факторов.
2. Качество сборки повышается с ростом температуры нагрева головной заготовки при 800 °C, 1000 °C и 1200 °C.

Список литературы

1. Герман, С. В. Лабораторная установка для экспериментального исследования механизма образования неразъемного соединения [Текст] / С.В. Герман, М.И. Поксваткин, Е.А. Иванайская и др. // Ползуновский альманах. – 2016. - №4. – С. 159-161.
2. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов [Текст] / А. А. Спиридонов. – М. Машиностроение, 1981. – 184 с.

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СБОРКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

Герман С. В. – аспирант, Поксеваткин М.И., к.т.н., профессор, Басова Е.М. – аспирант
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Для получения качественного составного стержневого изделия необходимо, прежде всего, выполнить ряд технологических требований сборки заготовок:

- 1) использовать нагружающую систему пресс-штамп достаточно высокой жесткости;
- 2) обеспечить продольную устойчивость стержневой заготовки при вдавливании в нее головной заготовки;
- 3) обеспечить тщательное удаление оксидов и других адсорбатов с контактных поверхностей собираемых заготовок.

При выполнении этих требований возникают условия для стабильного вязкого разрушения металла головной заготовки при вдавливании ее в стержневую заготовку, способствующие образованию ювенильных контактных поверхностей с высокой атомной активностью. Такие поверхности благоприятны для проявления схватывания металлов заготовок при образовании их неразъемного соединения [1].

Для исключения возникновения вероятности разрыва межатомных (металлических) связей между контактными поверхностями собранных заготовок процесс формирования составного изделия из сборной заготовки должен протекать в условиях монотонного течения металла в очаге деформации (рисунок 1). Невыполнение условия монотонности течения металла может приводить к снижению качества неразъемного соединения металлических заготовок в результате разрыва межатомных связей.

Условия монотонного протекания процесса деформации сформулированы А.А. Ильюшиным, Г.А. Смирновым-Аляевым и развиты В.Л. Колмогоровым:

- 1) совпадение главных осей скоростей деформации с одними и теми же материальными частицами волокон металла в течение всего процесса;
- 2) неизменность за весь процесс вида малой деформации при переходе из предшествующей стадии в текущую.

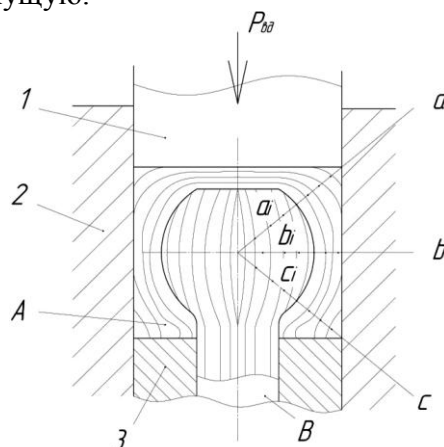


Рисунок 1 – Схема формообразования составного стержневого изделия из сборной заготовки (А – головная заготовка; В – стержневая заготовка):

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – опорная плита

В этом случае, если известны направления главных осей напряженного состояния, то можно установить непосредственно связь напряжений с компонентами результирующей (логарифмической) деформации, так как из теории пластичности известно допущение: разности главных напряжений пропорциональны соответствующим по индексам разностям главных компонентов скоростей деформации:

$$\frac{2 \cdot \sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_2} = \frac{2 \cdot \xi_2 - \xi_1 - \xi_3}{\xi_1 - \xi_3}, \text{ т.е. } \mu_\sigma = \mu_\varepsilon. \quad (1)$$

Здесь μ_σ и μ_ε – соответственно параметры вида напряженного и деформированного состояний металла;

σ_1, σ_2 и σ_3 – главные напряжения;

ξ_1, ξ_2 и ξ_3 – главные компоненты скоростей деформации.

А из второго условия монотонности процесса вытекает: главные компоненты результирующей (логарифмической) деформации должны быть пропорциональны соответствующим компонентам скоростей деформации, т.е.

$$\frac{\varepsilon_1}{\xi_1} = \frac{\varepsilon_2}{\xi_2} = \frac{\varepsilon_3}{\xi_3}, \quad (2)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ и ε_3 – главные компоненты результирующей деформации.

Названные требования способствуют реализации монотонного течения металла в очаге деформации при формообразовании составного изделия и создают теоретические предпосылки для построения модели управления процессами сборки металлических заготовок пластическим деформированием и формообразования составного изделия из сборной заготовки на основе градиентного нагрева деформируемой части стержневой заготовки и оптимизации ключевых технологических параметров, учитывающих теплофизические и механические свойства обрабатываемого металла.

В процессе формообразования составного стержневого изделия из сборной заготовки возникает сложный по структуре очаг деформации, характеризуемый определенным девиатором напряжений, видами напряженного (μ_σ) и деформированного (μ_ε) состояний. При этом решающее значение имеет равенство сопротивлений деформации металлов головной заготовки ($\sigma_{вгг}$) и деформируемой части стержневой заготовки ($\sigma_{втс}$) (рисунок 4.1):

$$\sigma_{вгг} = \sigma_{втс}. \quad (3)$$

Для ориентировочного оценивания монотонного течения металла в верхней и нижней частях очага деформации при формообразовании составного изделия можно использовать соотношение (см. рисунок 1):

$$\frac{a_i}{a_{i+1}} = \frac{b_i}{b_{i+1}} = \frac{c_i}{c_{i+1}} = const, \quad (4)$$

где a_i, b_i и c_i – величины расстояний между волокнами соответственно в верхней (линия a), средней (линия b) и нижней (линия c) частях поковки;

$i = 1, n$ – номера отрезков между волокнами; n – количество отрезков.

Тогда идентификацию симметричности волокон в верхней и нижней частях поковки можно осуществить по соотношению:

$$Z = \frac{1}{n} \sum_1^n \left(\frac{a_i}{c_i} \right) \rightarrow 1, \quad (5)$$

где Z – показатель монотонности заполнения очага деформации; при монотонном течении металла показатель $Z \rightarrow 1$.

Как показали опыты, показатель Z колеблется в пределах $Z=0,89 \div 1,12$, и зависит от степени выполнения условия (3). Так, при высадке стержневого составного изделия (рисунок 1) при температуре 1100 °С (после выравнивания температур) из стали 20Х13 для головной заготовки (нагрев до 1180 °С) и стали 35 для стержневой заготовки, величины сопротивления деформации сталей примерно равны (40 МПа) с учетом разупрочнения стали 20Х13 в результате рекристаллизации ее после вдавливания головной заготовки в стержневую в процессе сборки.

Для выполнения условия (3) необходимо оптимизировать процесс получения составных изделий посредством пластического деформирования сборных заготовок, для чего целесообразно использовать методы системного анализа основанные на построении и

исследовании иерархических систем как совокупность взаимосвязанных подсистем и моделей, подчиненных единой целевой задаче. Тогда процесс получения составных изделий может быть представлен в виде технологической системы, состоящей из управляющих и управляемых подсистем. В общем виде модель управляющей подсистемы можно представить как совокупность взаимосвязанных параметров.

$$S = \langle X; Y; Z; t_i; D; V_0; V; W_0; W; S_j \rangle, \quad (6)$$

где X, Z – входные и выходные сигналы;

Y – параметры внутреннего состояния системы;

t_i – моменты времени;

D – операторы активного преобразования;

V_0, V – задающие и управляющие воздействия;

W_0, W – сигналы прямой и обратной связи;

S_j – операторы иерархических упорядоченных связей между перечисленными параметрами [2].

Если множество Z содержит основные параметры процесса получения составного изделия, характеризующие его состояние как систему, то функционирование процесса можно описать выражением [3]:

$$Y(X) \in Z,$$

$$\text{где } Y = \begin{pmatrix} y_{11} & \dots & y_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{n1} & \dots & y_{nm} \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

Здесь $Y(y_i)$ – множество целевых показателей, характеризующих эффективность процесса; $X(x_i)$ – множество управляемых показателей, изменяемых в области $D(x_i \in D)$, которые создают управляющую подсистему; $i = 1, m$ – номера показателей, m – количество показателей.

Воздействие подсистемы $X \in D$ на систему Z должно привести к улучшению целевых показателей $y_i = f(x_i)$ и системы в целом, т.е. к повышению качества составных изделий.

ОСУ ТП неразъемной сборки металлических заготовок и формообразование составного изделия разработана по принципу построения иерархической гибридной модели, позволяющей выстраивать в иерархической последовательности рациональное взаимодействие технологических модулей различного назначения, составляющих оптимизационную систему процесса как единое целое.

Модульный принцип структурирования оптимизационной системы заключается в том, что при алгоритмизации сложного технологического процесса из системы выделяют некоторые ее части (модули), имеющие относительную смысловую и функциональную самостоятельность. Модули проходят автономно этапы анализа и алгоритмирования, после чего из используют для создания оптимизационной системы технологического процесса в целом, в которой они взаимодействуют посредством управляемых параметров процесса при достижении оптимальных значений переменных факторов.

Вывод:

Сформулирована целесообразного модульного принципа построения оптимизационной системы для повышения качества составного стержневого изделия.

Список литературы

1. Бэкофен, В. Процессы деформации [Текст] / В. Бэкофен. – Массачусетс, Калифорния, 1972. Пер. с англ. М., «Металлургия», 1977. – 288 с.
2. Смуров, А. М. Практика и перспективы штамповки в закрытых (безоблойных) штампах [Текст] / А. М. Смуров. – М. : НИИНавтопром. 1967. – 336 с.
3. Артес, А. Э. Групповое производство деталей холодной объемной штамповкой [Текст] / А. Э. Артес. – М. : – Машиностроение. 1991. – 192 с.

РЕЖИМЫ УДАРНО-ДИНАМИЧЕСКОГО УПЛОТНЕНИЯ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ

Ильиных Е.С. – магистрант, Москалев В.Г. – к.т.н. доцент

Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова (г. Барнаул)

Повышение качества отливок, экология окружающей среды, снижение себестоимости выпускаемой продукции - важнейшие направления современного литейного производства.

Около 80 % литейных цехов в нашей стране используют традиционные методы получения разовых литейных форм. Половина из которых это статическое прессование и встряхивание. Эти два способа имеют ряд недостатков, основными из которых являются: низкая производительность, экологичность, энергоемкость и неравномерное распределение плотности и твердости, приводящие к снижению качества получаемого литья. Наиболее интересным, с точки зрения баланса достоинств и недостатков методом является малоизученный метод Динамического ударного прессования (ВСП процесс). Основные достоинства которого: высокая производительность, низкая энергоемкость, высокое качество получаемых форм (соответственно и отливок), обеспечение технологически необходимого уровня распределения плотности и твердости по высоте формы, более высокая экологичность, низкая сложность как самого оборудования, так и его обслуживания, большая стойкость оснастки и изнашиваемых частей машин и механизмов и т.д. Данный метод получил довольно широкое распространение в разных областях промышленности. Применяя высокоскоростное уплотнение, строят автодороги, здания и сооружения (уплотнения грунтов и получения кирпичей), посадочные полосы на аэродромах. ВСП процесс используют в фармацевтической (получение таблеток) и ядерной промышленности (получение брикетов топлива). Однако применение данного вида уплотнения в реалиях литейного производства до сих пор изучено недостаточно.

Для исследования и изучения ВСП процесса на кафедре МТиО Алтайского государственного технического университета была разработана лабораторная установка высокоскоростного ударного прессования. Качество формы оценивали по плотности и твердости смеси. При проведении экспериментов руководствовались рекомендуемыми Матвеевко И.В. [1] параметрами, приняв за оптимум: плотность – 1650 .. 1700 кг/м³, твердость – 85 .. 90 ед, массу ударных частей – 2,5 .. 3 массы смеси. Переуплотнение, как в свою очередь и недоуплотнение смеси приводит к падению качества получаемой формы, а следовательно и литья.

Как следует из таблицы оптимальная скорость при заданной массе груза 7 м/с.

Таблица - Результаты испытаний.

Наименование		Степень уплотнения Δ , кг/м ³ лад/контрлад	Твердость Т, ед лад/контрлад
Скорость V, м/с	3	1335/1450	58/66
	7	1664/1729	81/85
	10	1658/1701	80/83
Масса груза G, кг	3	1336/1473	61/69
	10	1654/1701	86/91
	22,5	1798/1721	96/100
Вид амортизатора	Сталь	1636/1710	80/86
	Дерево	1608/1704	76/83
	Резина	1539/1710	72/85
Площадь вент, %	2	1562/1698	72/79
	6	1683/1735	82/85
	8	1628/1701	77/81
Влажность смеси, %	3	1611/1714	76/83
	4	1652/1743	82/85
	7	1551/1656	71/78

Также существенное влияние на процесс уплотнения оказывают и материалы из которых сделана модельно стержневая оснастка. Подмодельная плита амортизирует часть ударной нагрузки и является амортизатором. Основным параметром амортизаторов является их жесткость. Жесткость же в свою очередь определяется модулем упругости. В эксперименте использовались сталь, дерево, резина. Из полученных данных видно (столбец 3), что показатели уплотнения тем выше, чем больше жесткость подмодельной плиты.

Существенным фактором, влияющим на степень уплотнения, является коэффициент фильтрации газовой фазы через смесь, что на практике выражается в таком показателе как площадь вент. В таблице площадь вент приведена в процентном отношении к площади оснастки. При увеличении площади вент до 6% от площади оснастки происходит плавное увеличение показателей плотности и твердости, а при увеличении сверх 6% начинается падение. Оно связана с тем, что при увеличении площади вент в начале плотность и твердость смеси растут в результате более интенсивного удаления воздуха, то есть к концу уплотнения удаляется весь воздух. Если же увеличивать и дальше площадь вент, то в форме не будет необходимого его давления, что приведет к снижению плотности и твердости формы. Воздух двигается совместно с сжимающимися волнами заставляет песчинки смеси двигаться, помимо этого воздух является как бы смазкой и уменьшает внутреннее трение в смеси.

Проведенные эксперименты подтвердили взаимосвязь между прочностью на сырое сжатие и твердостью и плотностью формы. Для ручной формовки обычно применяют смеси с влажностью 4-5 %. Для АФЛ влажность варьируется в пределах от 2,5 до 3,5 %.

Превышение содержания влаги свыше некоторых оптимальных значений, приводит не только к снижению плотности, твердости, прочности на сырое сжатие, газопроницаемости, но и к появлению поверхностных дефектов (пригар, ужимины), внутренних дефектов (газовые раковины), к подутию отливок, к засору отливок. Превышение или снижение влажности относительно рабочей приводит также к колебанию уровня контрлада полуформы после уплотнения при объемном дозировании смеси. Это связано с тем, что уплотняемость смеси напрямую связана с влажностью. Проведенные испытания показали, что оптимальный уровень влажности составляет 4 - 5 %.

Полученные результаты показывают, что получение качественной формы, а соответственно и отливки как конечного продукта, высокоскоростным ударным прессованием возможно при соблюдении ряда рекомендаций.

Список литературы:

1. Матвеев И. В., Исагулов А. З., Дайкер А. А. Динамические и импульсные процессы и машины для уплотнения литейных форм. – Алматы: Гылым (Наука), 1998. – 345с.: ил.
2. Матвеев И. В. Оборудование литейных цехов: Учебное пособие. Ч.1. – М.: МГИУ, 2003. – 172 с.
3. Орлов Г. М. Автоматизация и механизация процесса изготовления литейных форм. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.: ил.
4. Матвеев И. В. Скоростное прессование форм. //Литейное производство. 1981. №12. С. 20 – 21.
5. Матвеев И. В., Юсуфович А. Б. Исследование процесса уплотнения форм при скоростном прессовании. //Литейное производство. 1981. №10. С. 13 – 15.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЧУГУНА ДЛЯ ОТЛИВОК ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ

Козленков М.В. – магистрант, Марширов И.В. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Обработка чугуна модификаторами получила широкое распространение в литейном производстве благодаря своей простоте и высокой эффективности [1-4]. Наибольшее распространение как модификатор в производстве отливок из серого чугуна получил ферросилиций, введение которого позволяет получить чугун с мелкозернистой структурой, уменьшает отбел и улучшает механические свойства чугуна. Наиболее эффективно отбел снимается смесями алюминия и ферросилиция, алюминия и графита. Модификаторы, содержащие РЗМ, также эффективно снижают отбел, но до определенного предела их расхода, при введении более 0,2 % отбел начинает увеличиваться.

Обычно модификаторы вводят на желоб, в струю металла или в ковш. Расход модификатора зависит от его состава, состава чугуна, природы шихтовых материалов, условий плавки, технологии ввода, конструкции отливки и марки чугуна и колеблется, например, при использовании ФС75 в пределах от 0,1 до 1,0 % от массы металла. Обычно считают, что 0,1 % ФС75 снижает отбел на 1 мм, и, исходя из требуемого снижения отбела, определяют количество вводимого модификатора. После ввода модификатора металл целесообразно перемешать механически, вибрационно, барботацией и другими методами. Перегрев чугуна при модифицировании должен быть тем больше, чем выше марка чугуна; обычно он находится в пределах 1370-1430 °С.

Повышенной живучестью обладают новые комплексные модификаторы на основе силикобария, разработанные ЦНИИТмашем. Они обеспечивают высокую стабильность процесса независимо от степени эвтектичности чугуна и существенно, в 2–3 раза, увеличивают продолжительность модифицирующего эффекта.

Лучшим вариантом промышленной технологии получения высококачественного серого чугуна является плавка в электропечах или дуплекс-процессом. В этом случае чугун заданного химического состава, выплавленный в первичном агрегате, сливают в печь ожидания. Из печи ожидания берут пробу на отбел. Если отбел до модифицирования больше требуемого, то в печь вводят смесь ФС75 и графита.

Наилучшие результаты по модифицированию достигаются при введении смеси ФС75 (0,15-0,6 %), силикокальция (0,1-0,2 %) и графита в зернах (0,1-0,2 % от массы металла).

Чугун с шаровидным графитом (ЧШГ) обладает благоприятным сочетанием технологических и эксплуатационных свойств. По технологическим свойствам ЧШГ близок серому чугуну, а по механическим (временное сопротивление при растяжении, предел текучести) практически не уступает углеродистым конструкционным литым сталям.

Высокопрочный чугун находит применение в различных областях промышленности для большой номенклатуры деталей ответственного назначения массой от нескольких килограммов до нескольких тонн, работающих в условиях высоких статических, ударных и циклических нагрузок, – деталей прокатного, кузнечного и горнорудного оборудования, коленчатых валов, зубчатых венцов и шестерен, корпусов, барабанов и т. д. ВЧ применяют также для деталей, работающих под большим давлением в насосных, гидравлических и газовых установках.

Обязательным при производстве отливок из высокопрочного чугуна является модифицирование с целью получения шаровидного графита, низкое содержание серы (менее 0,012%) при отсутствии в химическом составе демодификаторов (Bi, Se, Al, Ti, As, Pb).

Самыми распространенными являются модификаторы на основе магния, в частности лигатуры магния с ферросилицием ФСМг, а также лигатуры Ni-Si-Mg, ЖКМК (Fe-Si-Mg-Ca)

и КМ (Si-Ca-Mg). Для модифицирования используют также редкоземельные металлы (РЗМ - La, Ce, Nd и др.).

Магний содержится в большинстве сфероидизирующих модификаторов. Минимальное количество остаточного магния, необходимое для получения графита шаровидной формы в любом сечении отливки, должно составлять не менее 0,03-0,04 %. При использовании для модифицирования комплексных сфероидизирующих модификаторов остаточное содержание магния должно быть таким же, однако эффективность модифицирования повышается.

Исходный чугун, подвергаемый сфероидизирующему модифицированию, должен быть малосернистым ($< 0,01-0,02$ % S), малофосфористым ($< 0,05$ % P при ферритной основе и $< 0,10$ % P при перлитной основе) и маломарганцовистым (до 0,4 % Mn) при ферритной основе.

Кроме того, следует учитывать наличие в чугуне сопутствующих примесей, которые являются демодификаторами, в связи с чем их массовая доля в чугуне не должна превышать, %: Pb - 0,02; Bi - 0,003; Sb - 0,01; As - 0,01; Ti - 0,02; Al - 0,1. Влияние демодификаторов частично или полностью устраняется добавкой ремодификаторов, например церия и других РЗМ.

Металлический магний в качестве сфероидизирующего модификатора применяется, как правило, при автоклавном методе получения ВЧШГ. Однако малая плотность, бурный пироэффект, сопровождающий его введение в расплав, препятствуют широкому распространению его применения.

Модифицирование, в отличие от микролегирования, влияние которого долговременно, оказывает только временное воздействие на жидкий расплав. При модифицировании одновременно протекают раскисление, десульфурация, дегазация и другие процессы. Поэтому дозировка модификатора определяется расходом его на эти процессы, главным образом на соединения с серой. При модифицировании чистым магнием его количество может быть определено по формуле

$$[Mg] = ((0,04 \dots 0,1) + 0,76\Delta S)/A,$$

где 0,04...0,1 - массовая доля остаточного магния, %, в зависимости от толщины отливки и других факторов; A - коэффициент усвоения магния; ΔS - изменение содержания серы в чугуне при модифицировании.

При недостаточном количестве остаточного магния образуется смешанный или вермикулярный графит, при избытке - частичный или полный отбел и даже перемодифицирование. Коэффициент усвоения магния зависит от типа модификатора и метода его ввода, температуры металла при обработке и т. д. Правильная дозировка определяется, как правило, опытным путем в зависимости от содержания серы в исходном чугуне, толщины стенки отливки, материала формы и других условий производства.

Список литературы.

1. Трухов, А.П. Литейные сплавы и плавка / А.П. Трухов, А.И. Маляров. – М.: Академия, 2004. – 336 с.
2. Воздвиженский, В.М. Литейные сплавы и технология их плавки в машиностроении / В.М. Воздвиженский, В.А. Грачёв, В.В. Спасский. – М.: Машиностроение, 1984. – 432 с.
3. Ващенко, К.И. Плавка и внепечная обработка чугуна для отливок / К.И. Ващенко, В.С. Шумихин. – К.: Вища шк., 1992. – 246 с.
4. Высококачественные чугуны для отливок / В. С. Шумихин, В. П. Кутузов, А. И. Храмченков и др.; Под ред. Н. Н. Александрова. – М.: Машиностроение, 1982. – 222 с.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ БЕЗ ДЕФЕКТОВ УСАДОЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ LWMFLOW

Малькова Н. Ю. - магистрант, Кошелева Е. А. - магистрант, Марширов И. В. - к. т. н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Развитие литейной технологии связано с решением двух инженерно-технических задач: заливки расплава в литейную форму и его затвердевание в форме. Для решения этих задач привлекаются методы и средства фундаментальных и технических наук. Создаются и совершенствуются системы компьютерного моделирования, позволяющие симулировать и автоматизировать режимы различных физических (течение газов и жидкостей, зарождение и рост кристаллов, напряжения и деформации), технологических (центробежное литье, литье по газифицируемым моделям, непрерывное литье и т. п.) процессов и явлений, а также выявить и в дальнейшем устранить литейные дефекты (недоливы, спаи, усадочные раковины, макро и микропористость, горячие и холодные трещины и т. д.).

На промышленных предприятиях и в образовательной сфере в Российской Федерации наибольшее распространение получили следующие системы компьютерного моделирования литейных процессов: MAGMASoft, WinCAST (Германия), ProCast (США, Швейцария), FLOW-3D (США), Poligon и LVMFlow (Россия). Однако ни одна из этих систем не может эффективно решать большинство задач литейного производства, и в каждом конкретном случае технолог должен выбирать систему компьютерного моделирования наиболее полно решающую конкретную задачу [2].

В России хорошо зарекомендовала себя система LVMFlow, которая достаточно универсальна и имеет много достоинств: доступная стоимость, высокая степень совпадения результатов моделирования и практических испытаний, использование метода конечных разностей, простота применения и русский интерфейс, импорт трехмерных моделей основных форматов, удобная визуализация полученных результатов, возможность проследить динамику процесса и информацию о полях скорости, давлении и дефектах усадочного происхождения и т. д. LVMFlow может быть использована для моделирования следующих способов литья: литье по выплавляемым моделям, литье в песчано-глинистые формы, литье в кокиль, литье в изложницу, литье под давлением.

Применение LVMFlow позволяет оптимизировать режимы заливки сплава и затвердевания отливки, а также параметры литниково-питающей системы [2, 3, 4].

Результаты моделирования сохраняются автоматически для дальнейшего просмотра и создания архива технологических решений. На каждую отливку заводится «паспорт», в который записываются все параметры каждого моделирования. Результаты расчета функций могут быть представлены в 2D и 3D видах.

В результате, использование LVMFlow позволяет отследить в режиме реального времени изменение процессов затвердевания, в том числе и визуально, а также выявить места образования усадочных раковин, определить температурный режим нагрева формы. При этом, не смотря на отсутствие экспериментальной базы, данная программа сохраняет высокую точность результатов расчета [1, 6].

Нами была поставлена задача – с помощью компьютерного моделирования проследить затвердевание отливки и проанализировать вероятность образования литейных дефектов еще на стадии проектирования, а также добиться предотвращения литейных дефектов в отливке.

В представленной работе приведены результаты процесса разработки литейной технологии для отливки, изготавливаемой из углеродистой стали 35Л, литьем в песчано-глинистые формы. Моделирование усадочных (образование макро- и микропористости) процессов выполнялось с помощью программного пакета LVMFlow [1, 2, 3].

После моделирования технологического процесса отливки (рисунок 1), программа выявила наличие усадочных дефектов в отливке (усадочных раковин).

Для решения проблемы, а именно, устранения усадочных дефектов, было решено увеличить размеры бобышек на 30 мм. После моделирования (рисунок 2), усадочные раковины вытянулись, но поставленная цель не была достигнута, дефект остался.

Следующий этап моделирования (рисунок 3) – проведение корректировки с использованием открытой прибыли – позволил получить модель отливки без дефектов усадочного происхождения [4].

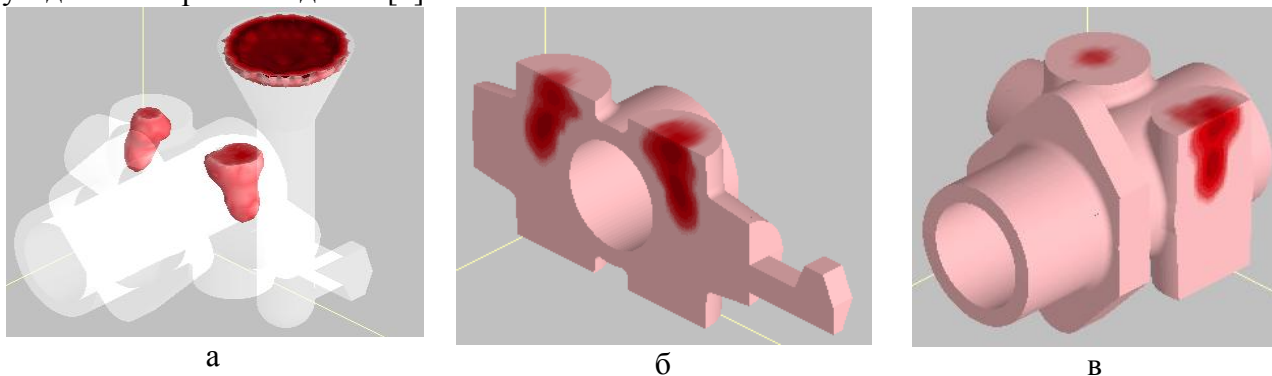


Рисунок 1 – Результаты выявления усадочных процессов:
 а) прозрачная модель, б) твердотельная модель при сечении по осям XZ,
 в) твердотельная модель при сечении по осям YZ

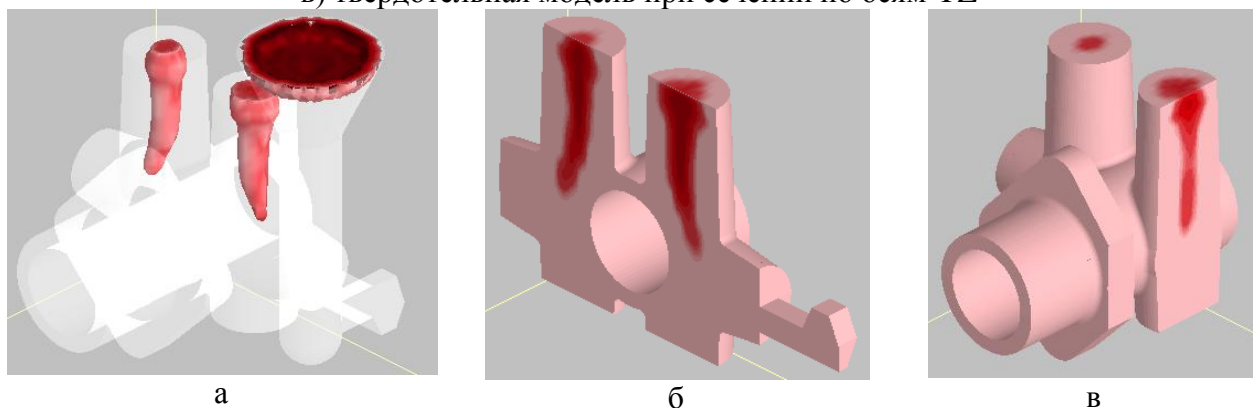


Рисунок 2 – Результаты корректировки усадочных процессов, при увеличении бобышек на 30 мм: а) прозрачная модель, б) твердотельная модель при сечении по осям XZ,
 в) твердотельная модель при сечении по осям YZ

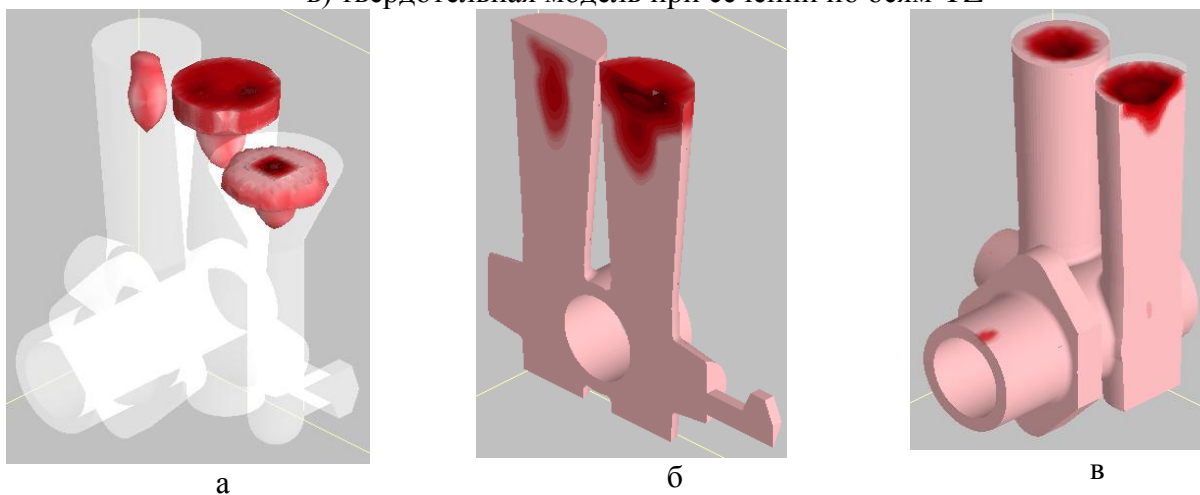


Рисунок 3 – Результаты корректировки усадочных процессов, при использовании открытой прибыли: а) прозрачная модель, б) твердотельная модель при сечении по осям XZ,
 в) твердотельная модель при сечении по осям YZ

Компьютерное моделирование процесса изготовления отливки, с применением системы LVMFlow позволило: определить места появления дефектов и процесс их формирования, отследить изменение температурно-фазовых полей процесса кристаллизации и оптимизировать литниково-питающую систему без доработки модельной оснастки, заливки и механической обработки детали.

Таким образом, применение LVMFlow позволяет оценить эффективность литниково-питающей системы еще на стадии разработки техпроцесса и выбрать наиболее оптимальный вариант для получения качественной отливки, не прибегая к дорогостоящему производственному апробированию [2-8].

Список литературы:

1. Гурьев, М. А. Исследование структуры литого композиционного материала на основе высокопрочного чугуна / М. А. Гурьев, С. Г. Иванов, Е. А. Кошелева, М. В. Логинова, А. М. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2015. – № 2. – С. 87–90.
2. Кошелева, Е. А. Диагностика дефектов литья с помощью компьютерного моделирования // Е. А. Кошелева, Н. Ю. Малькова, И. В. Марширов, А. А. Иванайский // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 189–190.
3. Малькова, Н. Ю. 3D моделирование в среде Autodesk Inventor в курсе дисциплины «Инженерная графика» / Н. Ю. Малькова, Е. А. Кошелева, В. А. Красичков, Ю. В. Исаева // Ползуновский альманах. – 2016. – № 4. – С. 177–178.
4. Малькова, Н. Ю. Разработка технологии изготовления отливок с использованием систем компьютерного моделирования / Н. Ю. Малькова, Е. А. Кошелева, И. В. Марширов, Ю. В. Исаева // Ползуновский альманах. - 2016. - № 4. - С. 77-80.
5. Марширов, И. В. Применение систем компьютерного моделирования литейных процессов при разработке технологии изготовления отливок / И. В. Марширов, Г. А. Мустафин, В. В. Марширов // Ползуновский альманах. - 2015. - Т. 2. - С. 101-104.
6. Марширов, И. В. Компьютерное моделирование усадочных процессов при затвердевании стальных отливок / И. В. Марширов, В. В. Марширов, Г. А. Мустафин, В. Г. Москалев, С. В. Назаров // Ползуновский альманах. – 2015. – Т. 2. – С. 67–70.
7. Марширов, И. В. Особенности разработки технологии изготовления отливок с использованием систем компьютерного моделирования / И. В. Марширов, Г. А. Мустафин, Ю. А. Заковряшина, В. Г. Москалев // Ползуновский альманах. – 2011. – № 4. – С. 110–112.
8. Марширов, В. В. Моделирование температурных полей при формировании биметаллических отливок / В.В. Марширов, И.В. Марширов // Литейное производство. – 2015. – № 8. – С. 33–35.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Назаров С.В. – магистрант, Марширов И.В. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Литье под давлением заключается в том, что расплавленный металл заливается в камеру прессования специальной машины, а затем под действием поршня, перемещающегося в этой камере, через литниковые каналы заполняет полость металлической пресс-формы (рис.1), затвердевает под избыточным давлением и образует отливку. После затвердевания и охлаждения до определенной температуры из отливки сначала извлекаются металлические стержни, а затем пресс-форма раскрывается и толкатели удаляют отливку из пресс-формы.

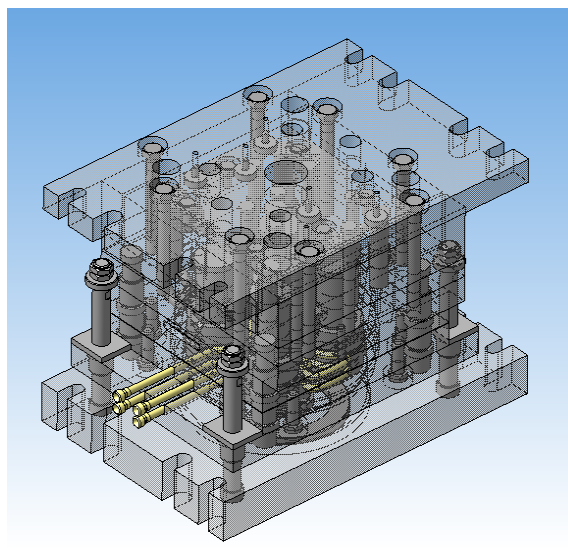


Рисунок 1 – Пресс-форма на машину ЛПД

Таким образом, сущность процесса заключается в том, что форма заполняется расплавом под действием внешних сил, превосходящих силы гравитации, а затвердевание отливки протекает под избыточным давлением.

Сочетание этих двух особенностей процесса позволяет получать отливки высокого качества. Чистая поверхность и точные размеры рабочей полости металлической пресс-формы, высокая скорость движения расплава позволяют резко сократить продолжительность заполнения, улучшить заполняемость и получить тонкостенные отливки сложной конфигурации с чистой поверхностью.

Внешнее давление на затвердевающий расплав и высокие скорости охлаждения его в металлической форме способствуют измельчению структуры металла в отливке, уменьшению усадочных дефектов, повышению механических свойств

Согласованно решить комплексную задачу конструирования, обеспечения прочности литых изделий и технологичности литейной формы возможно с применением современных программных сред CAD/CAE/CAM.

Развитие и адаптация в литейном производстве интегрированных систем автоматизированного проектирования (CAD), инженерных расчетов (CAE), подготовки производственно-технологических процессов (CAM) и управления проектом (PDM) предоставляет новые возможности для изготовления отливок и разработки литейных технологий гарантированного качества. При этом следует учитывать специфику литейного производства, которая заключается в многообразии контролируемых факторов, взаимно влияющих друг на друга.

Эффективная эксплуатация сквозных систем проектирования в литейном производстве опирается на обобщенную информационную базу жизненного цикла изделия, в которой используется единая цифровая модель, включающая литую деталь, отливку с литниково-питающей системой, литейную форму и технологическую оснастку.

Правильный выбор конструкции и технологических параметров необходимо подтвердить расчетами в программе для анализа литейных процессов CAE. Существует большое количество программ систем комплексного моделирования с более широким функционалом и опытом в сфере литейного производства такие как: LVMFlow, Poligon, MagmaSoft, WinCast, Procast, QuikCast, Calcosoft, PowerCast, SolidCast, CAPCast, AnyCasting, Vulkan, CastCAE, AuroCast, CastFlow. Вопрос выбора зависит от бюджета предприятия и его специфики выпускаемых изделий.

В данной работе использована российская программа LVMFlow, которая уверенно входит в повседневную практику рядового технолога-литейщика и позволяет моделировать

процессы заполнения формы расплавленным металлом под давлением с последующим его затвердеванием.

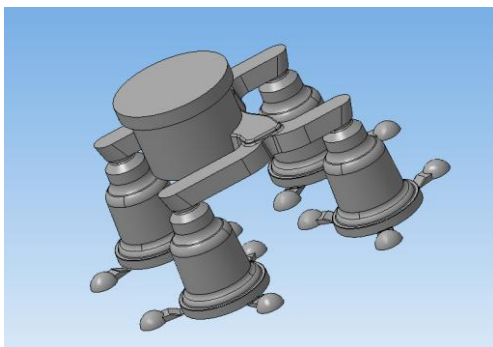


Рисунок 2 – Геометрическая модель отливки

Наиболее дорогостоящая часть подготовки производства литых деталей – изготовление пресс-форм на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). В условиях мелкой серии стоимость оснастки оказывает заметное влияние на конечную цену отливки. И что не менее важно, качество изготовления литейной оснастки определяет зачастую и качество литых деталей, а значит функциональность изделия в сборке. Правильно сконструированная и тщательно выполненная оснастка обеспечивает высокий класс точности отливок, снижает литейный брак, повышает

производительность труда, сокращает затраты на механическую обработку заготовок. Пресс-формы для литья под давлением представляют собой сложный и точный механизм. Выполнение различных этапов работы с использованием единой цифровой модели в обобщенной среде CAD/CAM обеспечивает минимум ошибок и затраченного времени.

Согласно общей концепции объемного конструирования литейной оснастки, на начальном этапе CAD создаются 3D-модели литой детали и отливки с литниково-питающей системой, связанные общими построениями. Затем куст отливок с литниково-питающей системой и средствами направленного охлаждения подвергается инженерному анализу CAE. В случае положительных результатов анализа на заключительном этапе CAD с использованием ранее выполненных построений проводится объемное конструирование необходимой технологической оснастки, в том числе для литья под давлением – пресс-формы.

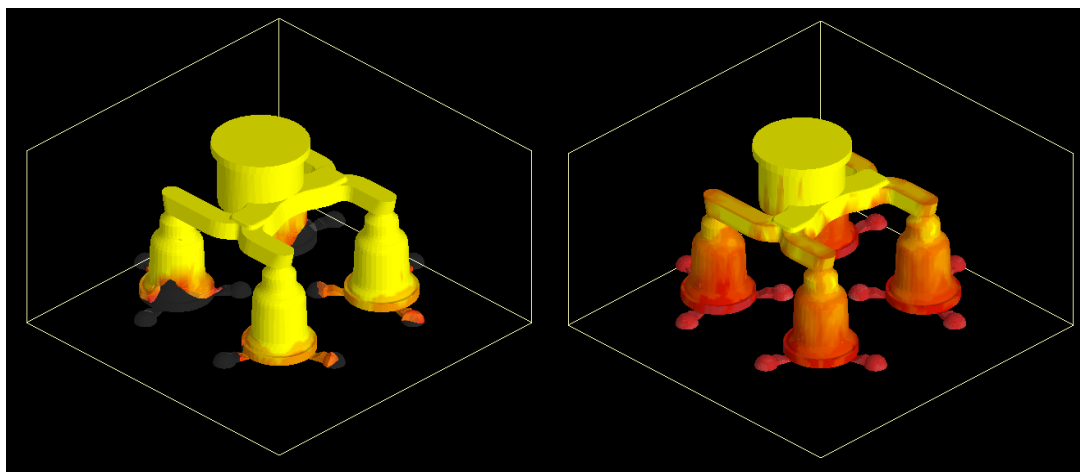


Рисунок 3 – Заполнение расплавом формы

Предварительная проверка технологичности проекта и ожидаемого качества литого металла основана на компьютерном моделировании литейных процессов заполнения формы расплавом и его затвердевания при направленном охлаждении. Компьютерному моделированию подвергают куст отливок с литниково-вентиляционной системой, конфигурацию которой изменяют и вновь проверяют до получения приемлемого уровня дефектности анализируемых отливок. Наилучший вариант геометрии используют в дальнейшем для оформления полости при объемном конструировании пресс-формы. В случае технологий литья под давлением алюминиевых сплавов важными факторами, определяющими формирование отливки, являются давление в камере прессования и пресс-

форме, скорость впуска жидкого металла в форму, геометрия и параметры литниково-вентиляционной системы, температура заливаемого металла, температура прогрева формы, интенсивность охлаждения, режим смазывания оформляющей поверхности формы, теплофизические свойства сплавов и материалов. Все перечисленные параметры можно изменять в настройках компьютерной программы, подбирая оптимальные значения. Достоверность компьютерных расчетов зависит от точности исходных данных, прежде всего - теплофизических свойств и адекватности используемых математических моделей.

В ходе представленной работы была разработана литейная технология для отливки «Крышка» (данная отливка изготавливается из алюминиевого сплава АК9ч литьем под давлением). Для построения геометрической модели данной отливки использована САД-система SolidWorks. Моделирование литейных процессов выполнялось посредством применения САЕ-системы «LVMFlow».

Основными этапами выполнения работы являлись:

- построение геометрической модели детали;
- разработка геометрической модели отливки;
- расчет элементов литниково-питающей системы (ЛПС);
- моделирование усадочных процессов (образование макро- и микропористости), а также решение тепловой и гидродинамической задач;
- разработка геометрических моделей модельной оснастки и рабочих чертежей для изготовления отливок.

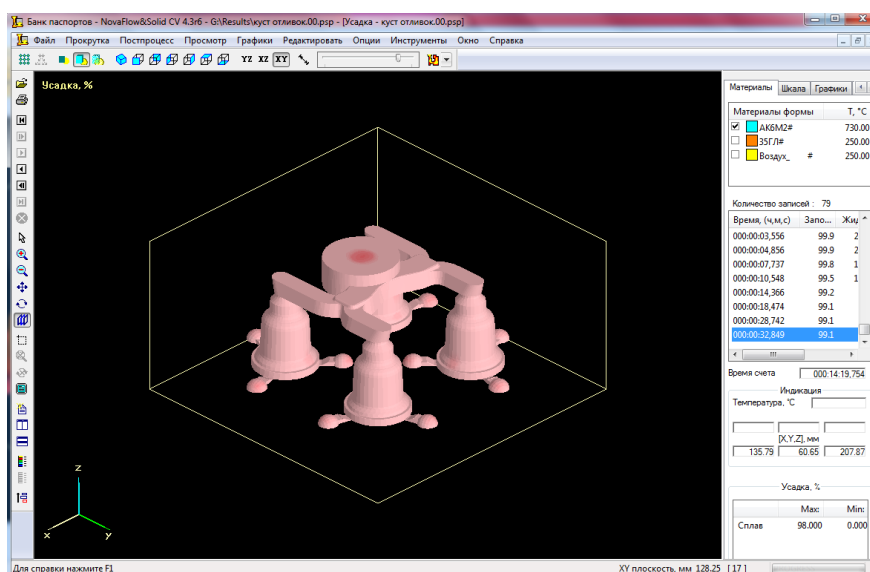


Рисунок 4 – Результаты моделирования усадочных процессов

По чертёжу детали построена 3D модель отливки (рис. 2) со всеми технологическими элементами ЛПС.

Для решения гидродинамической задачи при моделировании в СКМ «LVMFlow» использовали модуль полной задачи (рис. 3). Дальнейшие этапы моделирования в СКМ «LVMFlow» с проведением последующей корректировки ЛПС позволили разработать технологию получения отливки (рис. 4) без дефектов усадочного происхождения.

СКМ ЛП «LVMFlow» позволяет оценить эффективность литниково-питающих систем, предложенных технологом еще на стадии разработки техпроцесса и выбрать наиболее оптимальный вариант для получения качественной отливки, не прибегая к дорогостоящему опытно-производственному опробованию. При этом использование указанной системы компьютерного моделирования позволяет существенно сократить время отработки ЛПС, повысить качество принимаемых конструктивных и технологических решений при значительном сокращении материальных затрат на опытную отработку технологии литья.

ИНДУКТОРНАЯ ПЛАВИЛЬНАЯ ПЕЧЬ С КОЛЬЦЕВЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Левшин Г. Е. – д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Современные индукционные индукторные тигельные печи с I-образными наборными магнитопроводами имеют ограниченную сферу использования по следующим причинам [1]:

- повышенный расход энергии, так как, не смотря на требование размещения стенок тигля максимально близко к виткам индуктора, существенная часть рабочего магнитного потока с наибольшим значением индукции не используется, поскольку проходит по толстым неэлектропроводным стенкам тигля, а не по шихте или расплаву. Помимо рабочего магнитного потока индуктор создает и магнитный поток рассеяния такой же величины, не участвующий в нагреве шихты и расплава. Все это уменьшает полезное использование магнитного потока почти до 40 %;

- вредное влияние магнитного потока рассеяния на здоровье работников, так как вертикальные магнитопроводы улавливают поток только частично и поэтому не обеспечивают величину индукции переменного магнитного поля ниже предельно допустимого уровня (ПДУ);

- повышенные эксплуатационные расходы на обеспечение безаварийной работы печи из-за вытекания расплава на индуктор при образовании щелей в тигле;

- повышенные эксплуатационные расходы по кондиционированию воды и созданию повышенного давления вследствие охлаждения полых витков индуктора и охлаждающих катушек кондиционной водой: дистиллированной или с содержанием механических примесей до 80 г/м³, жесткостью до 7 г-эquiv/м³, температурой 35 – 40 °С и водородным показателем рН=7;

- повышенный расход кондиционной воды для охлаждения индуктора и воротниковой и донной зон футерованного тигля из-за повышенных скорости 1 – 1,5 м/с и давления до 0,2 – 0,7 МПа её в трубке индуктора, чтобы обеспечить её температуру не выше 35...40 °С;

- повышенные габариты и масса печи и увеличенная занимаемая производственная площадь, так как магнитный поток рассеяния вызывает нагрев близкорасположенных электропроводных частей каркаса, поэтому эти части удаляют от индуктора, а вокруг индуктора устанавливают вертикальные магнитопроводы, которые, однако, не улавливают весь поток;

- пониженная защищенность и надежность печи из-за близкого размещения витков индуктора вокруг тигля и склонности футеровки тигля к прогоранию и образованию трещин под воздействием вибрации индуктора и массы расплава и возможного повреждения индуктора расплавом, проникшим сквозь трещины к индуктору;

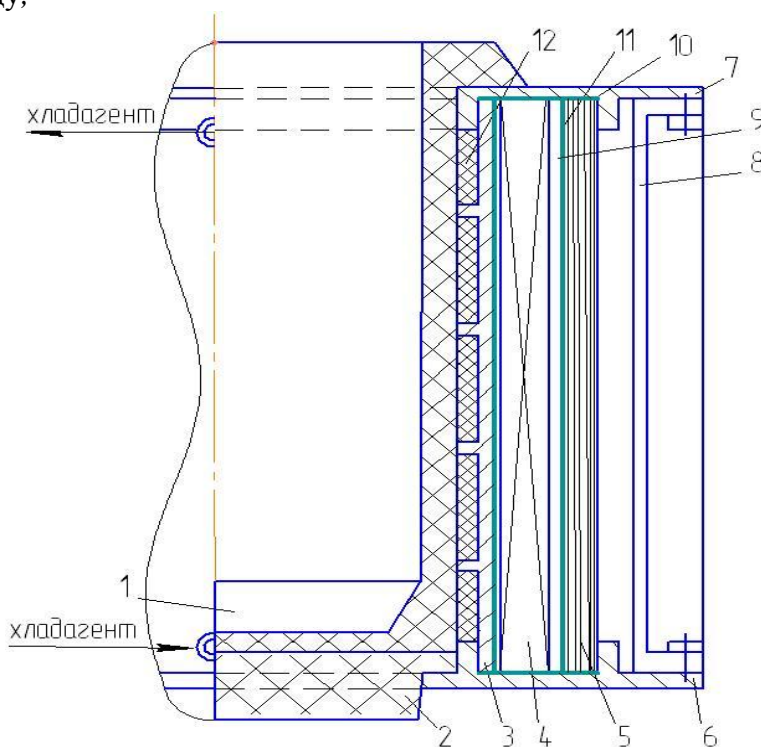
Поэтому для уменьшения влияния этих причин или их устранения в АлтГТУ разработана индукционная индукторная тигельная печь кольцевым магнитопроводом. Она содержит соединенные вместе футерованный тигель 1, опирающийся на подину 2, цилиндрическую обечайку 3, охватывающую тигель 1, охлаждаемый трубчатый индуктор 4 с токоподводами (не показаны), электроизолированные витки которого охватывают обечайку 3, наружный вертикальный кольцевой наборный магнитопровод 5, охватывающий индуктор 4, нижнюю 6 и верхнюю 7 плиты с центральным отверстием для размещения подины 2 и «воротника» тигля, соответственно, скреплённые стяжками 8. Цилиндрическая обечайка 3 размещена между тиглем 1 и индуктором 4. Магнитопроводом 5, плитами 6 и 7, обечайкой 3 образована замкнутая кольцевая полость 9 для размещения индуктора 4 и хладагента с подводящим и отводящим патрубками (не показаны). Для герметизации полости 9 предусмотрены эластичные уплотнения 10 по стыкам и слой 11 электроизоляционного материала на ее внутренней поверхности (см. рис.).

Предложенная печь работает следующим образом.

Из-за больших выделений Джоулева тепла в материале индуктора 4 при прохождении тока с плотностью более 5 А/мм^2 его необходимо принудительно охлаждать каким-либо хладагентом. Это возможно осуществить одним из нескольких путей:

– подавать хладагент в виде кондиционной воды в трубчатый индуктор 4 аналогично подаче хладагента в известных печах. При этом возможно даже увеличение ее расхода для снижения температуры отходящей воды ниже $20...25 \text{ }^\circ\text{C}$, не опасаясь конденсирования воды на трубке индуктора 4 из окружающего воздуха, так как он находится в обогреваемой замкнутой кольцевой полости 9, не имеющей сообщения с атмосферой. Однако это повышает расходы на кондиционную воду;

– подавать хладагент, например кондиционную воду, в трубчатый индуктор 4 аналогично вышеприведенному пути с меньшим расходом для повышения температуры отходящей воды до $98 - 99 \text{ }^\circ\text{C}$, а в замкнутую полость 9 подавать снизу другой вид хладагента, например сжатый воздух или некондиционную и более дешевую холодную водопроводную или техническую «умягченную» обратную воду с более низким давлением. При прохождении хладагента в полости 9 снизу вверх также охлаждается обечайка 3 и, как следствие, теплоизолирующий материал 12, футеровка тигля 1, а также магнитопровод 5 и плиты 6 и 7. Индуктор же 4 охлаждается как изнутри, так и снаружи, что снижает расходы на кондиционную воду;



– подавать дешевый хладагент, например сжатый воздух или холодную водопроводную или техническую воду, только в полость 9 для охлаждения индуктора 4 только снаружи, что исключает расходы на кондиционную воду. При этом также охлаждается обечайка 3 и, как следствие, теплоизолирующий слой 12, футеровка тигля 1, а также магнитопровод 5 и плиты 6 и 7.

После загрузки в тигель 1 электропроводной шихты и включения охлаждения индуктора 4 на токоподводы трубчатого индуктора 4 подаётся переменное электрическое напряжение, которое создает в его витках электрический ток. Под его действием в полости индуктора 4 и тигля 1 появляется рабочее электромагнитное поле, а за его пределами – поле рассеяния, которое локализуется вертикальным кольцевым магнитопроводом 5. Он намагничивается и усиливает рабочее поле в полости индуктора 4 и тигле 1. При этом происходит поворот на 90° вектора индукции, что значительно уменьшает распространение поля рассеяния за пределы индуктора 4 в радиальном направлении, так как магнитный поток

замыкается через магнитопровод 5. Это позволяет приблизить электропроводные стяжки 8 к магнитопроводу 5, не опасаясь их чрезмерного нагрева. Существенно уменьшается и нагрев верхней 7 и нижней 6 плит в случае изготовления их из электропроводного материала. Заметно уменьшаются размеры в плане и вредное воздействие поля рассеяния на рабочих.

Усиленное электромагнитное поле индуцирует в кусках шихты вихревые токи, которые нагревают их до расплавления. После расплавления шихты и проведения необходимых металлургических операций печь наклоняется для слива расплава из тигля и давление расплава и тигля передаётся не на индуктор 4, а на обечайку 3. Поэтому требования к высокой прочности индуктора могут быть снижены, что удешевляет его.

Тепло от расплава может передаваться через стенку тигля 1 и слой теплоизолятора 10 в углублениях обечайки 3 к самой обечайке, а затем от неё через воздух или жидкость к виткам индуктора 4, находящегося в замкнутой кольцевой полости 9. Наличие слоя более эффективного теплоизолирующего материала 12 уменьшает теплопередачу. Предлагаемая подача хладагента в полость 9 обеспечивает более эффективный отвод от печи тепла расплава, индуктора 4 и магнитопровода 5, который нагревается при перемагничивании. Это уменьшает воздействие теплового излучения на работающих.

При прохождении переменного тока частотой f по жестким виткам индуктора 4 они начинают вибрировать с удвоенной частотой $2f$, издавая при этом сильный шум. Наличие кольцевого магнитопровода 5, окружающего индуктор 4, уменьшает распространение шума, издаваемого индуктором 4, за пределы печи. Расположение же индуктора 4 в полости 9 с водой также уменьшает распространение шума. При этом уменьшается передача вибрации индуктора 4 на тигель 1 и возникновение трещин в нем.

По сравнению с известными тигельными плавильными печами [1, 2, 3] предложенное решение позволяет расширить сферу применения индукционных плавки и тигельной печи путем использования нижеперечисленных преимуществ:

- снижения энергоемкости плавки за счет более полного улавливания магнитопроводом, выполненным в виде кольцевого кожуха, магнитного потока рассеяния, увеличения магнитной индукции в рабочей полости индуктора и размещения высокоэффективного теплоизолирующего материала с теплопроводностью меньше, чем у футеровки в углублениях обечайки, и, следовательно, снижения потерь тепла через стенку футеровки тигля;

- уменьшения занимаемой площади и повышения защищенности работающих путем более эффективного улавливания потока рассеяния;

- уменьшения эксплуатационных расходов снижением или устранением расхода кондиционной воды за счет подачи дешевого хладагента в кольцевую полость;

- повышения защищенности индуктора печи и работающих и надежности работы печи установкой цилиндрической обечайки, препятствующей протечкам расплава;

- повышения защищенности работающих от воздействия шума размещением индуктора в кольцевой полости;

- дополнительного повышения надежности работы печи размещением индуктора в кольцевой полости для уменьшения вредного воздействия вибрации на тигель.

Список литературы

1. Современные плавильные агрегаты: вагранки, газо-кислородные печи, электрические дуговые и индукционные печи и устройства для внепечной обработки и разлива металла: сборник / Инженер.-технол. центр машиностроения "Металлург". – 2-я ред. с доп. и уточнениями. – М.: Metallurg-консалтинг, 2014. – 370 с.

2. Электрические печи литейных цехов для выплавки черных и цветных сплавов /Л. М. Романов, А. Н. Болдин, А.Н. Граблев, Д.П. Михайлов. – М.: МГИУ, 2005. – 104 с.

3. Левшин Г.Е., Малышев И. В. Об индукционных тигельных печах и плавке /Заготовительные производства в машиностроении. 2016. № 3. С. 7 – 13.

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФАСОННЫХ ОТЛИВОК ПРИ ВРАЩЕНИИ ФОРМЫ ВОКРУГ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Астахов Д.В. – студент, Астахова Н.С. – студент

Широков Е.В. – к.т.н., доцент, Красичков В.А. – инженер

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова (г. Барнаул)

Эффективность использования силового центробежного поля для получения отливок имеющих форму тела вращения, отливок из сплавов обладающих низкой жидкотекучестью или резко теряющих жидкотекучесть в процессе заполнения, из сплавов требующих интенсивного питания общеизвестна. Эта эффективность сохраняется и при получении отливок имеющих сложнопрофильную конфигурацию. В этом случае заполнение вращающейся формы происходит через литниковые системы, конструирование и расчет которых имеет свои специфические особенности.

Исследование работоспособности литниковых систем при вертикальном вращении форм показали [1], что отличительной особенностью такого заполнения, является отсутствие необходимости формирования вращающегося кольцевого слоя расплава в металлоприемнике (рисунок 1).

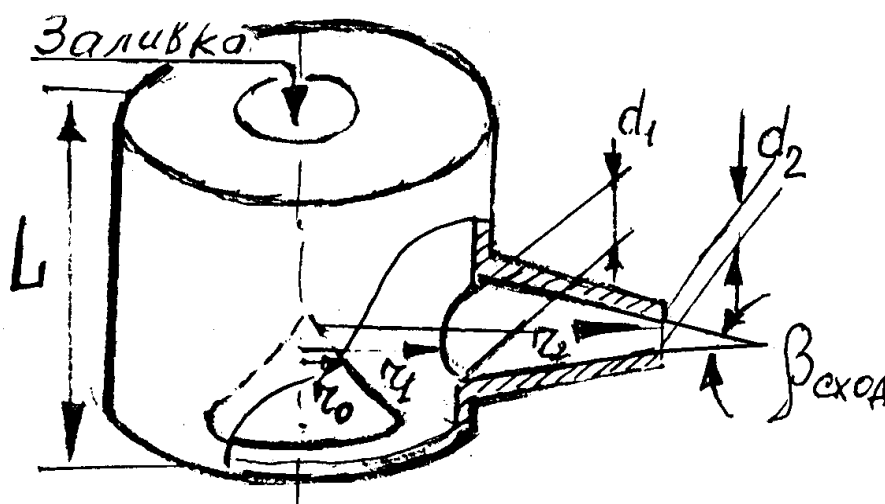


Рисунок 1 – Схематическое изображение металлоприемника с питателем

Положительной стороной технологии заполнения формы при ее вертикальном вращении является то, что скоростной режим истечения расплава из металлоприемника остается постоянным в течение всего периода заполнения. Это существенно упрощает разработку технологического процесса в части выбора оптимальной скорости вращения, поскольку диапазон выбора скорости значительно расширяется. Отрицательным моментом является то, что заполнение форм сопровождается интенсивным проскальзыванием жидкого металла в металлоприемнике относительно входных отверстий каналов питателей.

Проектирование литниковых систем для получения фасонных отливок в формах вращающихся вокруг вертикальной оси осуществляется с учетом этих отличительных особенностей и может быть проведено в следующем порядке.

1. В первую очередь уточняются конструктивные особенности литниковой системы отличающие ее от типовой схемы приведенной на рисунке 1 и назначаются исходные параметры процесса заполнения формы

- кинематическая вязкость ν , кг/м·с;
- расстояние от оси вращения формы до поверхности жидкости с нулевым избыточным давлением r_0 , м;
- расстояние от оси вращения формы до входного канала питателя r_1 , м;

- расстояние от оси вращения формы до выходного отверстия канала питателя r_2 , м;
- объем отливок $V_{отл}$, м³;
- масса отливок $M_{отл}$, кг;
- диаметр входного отверстия канала питателя d_1 , м;
- количество питателей k , шт.

2. Определение оптимального времени заполнения формы $\tau_{опт}$, с.

Время может быть определено по формуле [2]

$$\tau_{опт} = A \cdot M_{отл}^n$$

где A , n – постоянные величины, числовые значения которых табулированы.

3. Определение расхода жидкого металла через канал питателя литниковой системы, соответствующего оптимальному времени заполнения

$$Q = \frac{V_{отл}}{\tau_{опт} \cdot k}$$

4. Определение величины угловой скорости вращения формы

$$\omega_{расч} = \frac{v_2}{\mu \sqrt{r_2^2 - r_0^2}}$$

где v_2 – скорость поступления жидкого металла в рабочую полость, обеспечивающая заданный расход

$$v_2 = \frac{4Q_1}{\pi d_2^2}$$

здесь d_2 – диаметр выходного отверстия канала питателя

$$d_2 = d_1 - 2(r_2 - r_1) \operatorname{tg}(0,5 \beta_{сход}),$$

в котором угол сходимости канала питателя $\beta_{сход}$ определяется по формуле

$$\beta_{сход} = \operatorname{arctg} \frac{d_1 \left(1 - \varepsilon_{цб} \sqrt{\frac{r_1^2 - r_{0\max}^2}{r_2^2 - r_{0\max}^2}} \right)}{r_2 - r_1}$$

где $\varepsilon_{цб} = 0,98$; $r_{0\max} = r_1 - 0,005$ (м)

μ – коэффициент расхода канала литниковой системы при вертикальном вращении определяется как

$$\mu = 32,9 \cdot 10^9 \cdot \operatorname{Re}^{-2,463} \cdot d_1^{0,06} \cdot \left(\frac{r_2 - r_1}{d_2} \right)^{0,158}$$

Наконец

$$\omega_{расч} = \frac{4Q_1}{\pi [d_1 - 2(r_2 - r_1) \operatorname{tg}(0,5 \beta_{сход})]^2 3,3 \cdot 10^{10} \operatorname{Re}^{-2,463} d_1^{0,06} \left(\frac{r_2 - r_1}{d_2} \right)^{0,158}}$$

5. Проведение проверки величины угловой скорости вращения формы на допустимость

При вращении вокруг вертикальной оси проверку можно провести по величине окружной расчётной скорости $v_{окр}^{расч} = \omega_{расч} \cdot R$, которая сравнивается с допустимой окружной скоростью $v_{окр}^{дон} = 3 \div 5$ м/с. При этом параметр R – это расстояние между осью вращения и наиболее удаленной от оси вращения точкой рабочей полости.

Если $v_{окр}^{расч} \leq v_{окр}^{доп}$, то значению r_0 присваивается статус технологического параметра и используется в дальнейших расчетах. При $v_{окр}^{расч} > v_{окр}^{доп}$ значение r_0 корректируется с последующей проверкой скорости вращения на допустимость. Если корректировка значения r_0 не приводит к приемлемому результату, то принимается решение на изменение параметра поперечного сечения входного отверстия $d_{вх}$ литникового канала с последующим расчетом угловой скорости вращения формы.

Для реализации данной методики на ЭВМ была написана программа на языке VBA в приложении Microsoft Excel (рисунок 2). Данная программа может быть использована студентами при расчете литниковых систем для получения фасонных отливок при вращении вокруг вертикальной оси в ходе выполнения лабораторных, практических и курсовых работ по литейному производству.

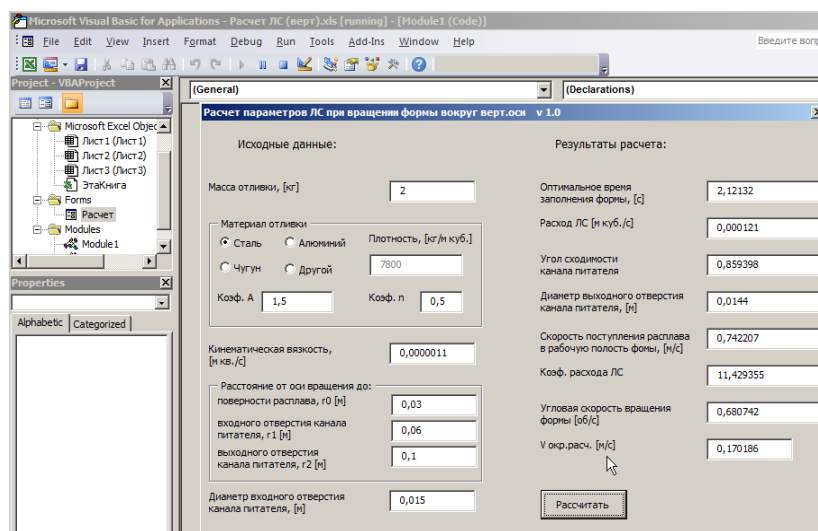


Рисунок 2 – Программа расчета параметров литниковой системы на языке VBA
Литература

1. Широков Е.В. К вопросу о конструировании и расчете литниковых систем при центрифугировании / Е.В. Широков, В.А. Марков, Г.А. Мустафин, А.А. Неворотов //Литейное производство, 2006. -№5. –с. 28-30
2. Галдин Н.М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов / Н.М. Галдин. М.: Машиностроение, 1978. -197с.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ 90ХАФ

Беленко Н.А. - магистрант, Гертер М.В. - инженер АО «Алтайвагон»,
Околович Г.А. д.т.н., профессор.

Эвтектоидная сталь 90ХАФ практически не содержит карбидов, так как при нагреве выше $A_{с1}$ почти все карбиды переходят в твердый раствор и приобретают равномерную структуру и твердость в закаленном состоянии. Вследствие повышенной вязкости (после улучшения) она может применяться в условиях ударных нагрузок. В тоже время, отсутствие карбидных включений способствует образованию крупных зерен при нагреве. Поэтому сталь склонна к перегреву при закалке, которую следует подавить в процессе выплавки.

Вследствие изменения объема, который претерпевает сталь с 0,9% С при образовании мартенсита, она приобретает максимальные напряжения в закаленном состоянии. Поэтому для изделий из этой стали необходимо уделять особое внимание при выплавке и термической обработке, особенно при закалке. При закалке в воде увеличивается опасность закалочных трещин, так как склонность к образованию крупнозернистой структуры

определяет и большую прокаливаемость. При введении в состав стали таких карбидообразующих элементов, как хром, ванадий и др., можно расширить интервалы нагрева под закалку. Другим нежелательным свойством является, так называемая, продольная волокнистость, которая ухудшает свойства в поперечном направлении, особенно ударную вязкость.

Различие в свойствах марганцевых сталей в поперечном и продольном направлениях связано с сильной ликвацией марганца, которая объясняется его специфическим влиянием в процессе металлургического производства. Марганец, как известно, связывает кислород и серу, присутствующие в стали. В результате этого возникает большое количество закиси марганца и сернистого марганца, которые в процессе горячего деформирования подвергаются пластической деформации и вытягиваются в продолговатые линзы. Пластинчатая форма включений сульфида марганца не влияет на свойства в направлении вдоль прокатки, но в поперечном направлении ударная вязкость снижается в 2 – 3 раза.

При весьма больших ударных нагрузках создаются условия, аналогичные тем, какие имеются при испытании ударных образцов. В деталях, которые нагружены только в продольном направлении, можно достигнуть известного повышения сопротивления разрушению при увеличении содержания оксидных и сульфидных включений. Для деталей, подвергающихся поперечным нагрузкам, наблюдается обратная зависимость. Необходимо помнить, что все сказанное справедливо для случаев разрушений (излома) при резком (сильном) ударе.

При обычных нагрузках решающее значение имеет предел усталости применяемой стали, т.е. предельное напряжение выше которого наступает излом усталости. Вытянутые в длину и расположенные вблизи поверхности неметаллические включения ухудшают качество стали, так как влияют как мягкие участки, снижающие предел усталости. При изгибающих нагрузках в поперечном направлении, вследствие расположения включений поперек направления действия напряжений, имеет место ухудшение вибрационной прочности. Наиболее неблагоприятное влияние на усталостную прочность оказывают крупные включения, вытянутые в длину и расположенные вблизи поверхности.

Выводы:

Приведенные данные показывают, что понятие о качестве металла меняется в зависимости вида напряженного состояния и от тех свойств, какие требуются от металла.

Литература:

1. Э. Гудремон. Специальные стали. Том первый. Металлургия, М., 1952, -952с.