

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА В ФОРМОВОЧНЫХ И СТЕРЖНЕВЫХ СМЕСЯХ

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

Григор А.С. – к.т.н., доцент, Исаева Ю.В. – магистрант

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

Исследования частиц нанодисперсного пироуглерода (НДПУ) показывают, что они представляют собой набор отдельных кристаллитов, состоящих обычно из 3...5 параллельных решеток атомов углерода. В каждом слое кристаллита атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников. Расстояние между противоположными вершинами шестиугольника равно 0.245...0.258 нм, а расстояние между базальными плоскостями параллельных слоев 0.345...0.365 нм. Плоские решетки в кристаллите смещены относительно друг друга, что еще больше увеличивает неупорядоченность структуры частицы НДПУ и повышает его активность. Структура частиц НДПУ подобна структуре частиц графита, но со смещенными гексагональными решетками, то есть менее упорядоченными, чем в графите. Атомы углерода, находящиеся на краях плоскостей оснований кристаллических решеток, имеют свободные валентности, что определяет его высокую адсорбционную способность. По этим валентностям к ним могут присоединяться атомы отдельных плоских решеток углерода, а также пени атомов углерода, неориентированные в упорядоченную кристаллическую решетку. Эти цепи являются также продуктами разложения углеводородов. Они могут заполнять, промежутки и межосевое пространство между кристаллитами, цементируя их в одно целое. Кроме того, к свободным валентностям атомов кристаллитов и неорганизованного углерода могут присоединяться атомы водорода, серы, а также атомы кислорода или другие атомы, имеющие свободные валентности.

Таким образом, свободные валентности атомов углерода, служат центрами формирования функциональных групп, способных взаимодействовать со свободными валентностями или функциональным и группами других соединений.

Высокая активность частиц НДПУ и высокое содержание открытых связей позволит не только обеспечить антипригарные свойства адгезивной оболочки, но и повысить эффективность вяжущих свойств адгезивного субстрата, так как он также содержит на поверхности частиц открытые силановые и силоксановые связи.

При выборе конкретной марки НДПУ, необходимо учитывать не только дисперсность и удельную поверхность частиц, но и их кислотность, активность и структурность. Важным параметром НДПУ является температура его получения, что характеризует его термостойкость и возможность применения антипригарной добавки в формовочные и стержневые смеси.

Применение марочного НДПУ со стабильными свойствами и высоким содержанием чистого микрокристаллического углерода (до 90...98 %) исключает накопление в оборотной смеси побочных продуктов терморазложения, характерных для известных углеродосодержащих материалов, применяемых в качестве антипригарных добавок при производстве отливок из чугуна. Также применение НДПУ принципиально изменяет механизм формирования технологических и физико-технологических свойств смеси.

В процессе перемешивания частицы глинистой составляющей распределяется по поверхности зерен песка и одновременно покрываются нанодисперсными частицами пироуглерода. Размер частиц НДПУ на 2...3 порядка меньше молотого бентонита. Первоначальное хаотическое расположение глинистой составляющей можно определить как структуру типа «карточного домика». В процессе перемешивания частицы глинистой составляющей с необходимой плотностью, покрытые частицами НДПУ, формируют слоистую структуру типа «сэндвич». Отдельные частицы глинистой составляющей разделены не только слом связанной воды, но и частицами НДПУ. В результате адсорбции частиц НДПУ интенсифицируется диспергирование частиц глинистой составляющей и уменьшается

их агрегатирование, что приводит¹ к повышению прочности смеси и, соответственно, к уменьшению содержания глинистой составляющей смеси.

Наличие текстуры глинистой составляющей типа «сэндвич» придает смеси улучшенные технологические свойства: высокую сыпучесть и текучесть, меньшую комкуемость и слеживаемость. В процессе заливки и прогрева слоев формы уменьшается усадка глинистой составляющей, так как его частицы разделены между собой частицами НДПУ.

Опираясь на вышесказанное, были проведены лабораторные и производственные испытания с использованием НДПУ в стержневых смесях с целью оценки принципиальной возможности совместимости НДПУ со смесью, применяемой для изготовления стержней по нагреваемой оснастке. На стадии приготовления смеси вводили НДПУ марки N-330.

Проанализировав сравнительную характеристику результатов испытаний образцов смеси с различным содержанием НДПУ от 0.2 % до 1.2 %. выявили оптимальное содержание НДПУ в смеси, равное 0.8%.

Анализ удельных характеристик смеси дал следующие результаты:

- **газотворность** смеси при содержании НДПУ 0.8 % и связующего 4.0 %, по сравнению с базовой смесью, уменьшается на 20,0 %. а при содержании связующего 6,0 % - на 5.0 %:

- **сырая прочность** смеси при содержании НДПУ 0.8 % и содержании связующего 4.0 % увеличивается на 3.0 %. а при содержании связующего 6.0 % - на 16.0 %:

- **сухая прочность** смеси при содержании НДПУ 0.8 % и содержании связующего 4.0 % увеличивается на 30.0 %. а при содержании связующего 6,0 % - на 23,0 %.

Если условно принять погрешность эксперимента, равную 10.0 %. то даже в этом случае полученные данные говорят о явном улучшении свойств смеси с добавлением НДПУ.

Таким образом, можно говорить о том. что при добавлении пироуглерода в смесь, возможно уменьшение расхода связующего, как как из расчета удельных характеристик видно, что увеличение связующего ведет к снижению относительного изменения величины соответствующих свойств.

Для изучения влияния добавки НДПУ на чистоту поверхности отливки, применялась технологическая проба, представляющая собой отливку в виде горизонтально расположенного плоского диска. Отливка контактировала нижней поверхностью с заформованными в песчано-глинистую смесь, не имеющими никакого антипригарного покрытия цилиндрическими образцами. Данный опыт привел к следующим результатам: содержание в смеси 0,8 % НДПУ позволяет получить шероховатость литой поверхности по второму классу (ГОС Г 2789-73) с величиной R_z не более 160 мкм.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПЛОТНЯЕМОСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СМЕСЕЙ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ УДАРНОМ ПРЕССОВАНИИ

Ильиных Е.С., Лопатников Д.В. – магистранты, Москалев В.Г. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Использовались три различные формовочные смеси которые уплотнялись высокоскоростным ударным прессованием. Массу и скорость груза взяли согласно рекомендации представленной в работе [1] $m = 9,6$ кг, $V = 7$ м/с. Оснастка: опока круглая, диаметром 0,16 мм и высотой 0,2 м и стальную подмодельную плиту.

Испытуемые смеси:

Смесь 1. Состав: кварцевый песок марки 5К₃О302 – 91%, бентонит марки П1Т1А – 5%, вода – 4 %.

1. Прочность на сырое сжатие – $0,4 \cdot 10^3$ Па (0,4 кгс/см²);

2. Газопроницаемость – 151 ед;

Смесь 2. Единая формовочная смесь для мелких и средних отливок [2], состав: обратная смесь с завода «АЗА» - 93 %, кварцевый песок марки 5К₃О302 – 5%, бентонит марки П1Т1А – 2 %, вода – 4%.

1. Прочность на сырое сжатие – $0,36 \cdot 10^3$ Па ($0,36$ кгс/см²);

2. Газопроницаемость – 131 ед;

Смесь 3. Единая формовочная смесь для мелких и средних отливок [2], состав: оборотная смесь применяемая в лаборатории кафедры «МТиО»- 93 %, кварцевый песок марки 5К₃О302 – 5%, бентонит марки П1Т1А – 2 %, вода – 4%.

1. Прочность на сырое сжатие – $0,32 \cdot 10^3$ Па ($0,32$ кгс/см²);

2. Газопроницаемость – 117 ед;

Все данные занесем в таблицу 1 (для плотности и твердости), графически показано на рисунке 1 и 2.

Контроль параметров плотности и твердости велись в трех точках по высоте формы: лад, центр, контрлад.

Таблица 1 – Плотность и твердость различных формовочных смесей при уплотнении ВСП.

Номер опыта	Высота падения, м	Скорость груза, м/с	Масса груза, кг	Плотность δ , кг/м ³ / Твердость Т, ед		
				лад	центр	контрлад
1	2,5	7	9,6	<i>Смесь 1</i>		
				1643 / 79	1674 / 82	1727 / 84
2				<i>Смесь 2</i>		
				1607 / 77	1646 / 80	1713 / 83
3				<i>Смесь 3</i>		
				1551 / 74,3	1624 / 76,3	1689 / 81

Примечание: В таблице указаны усредненные значения данных полученных из трех значений.

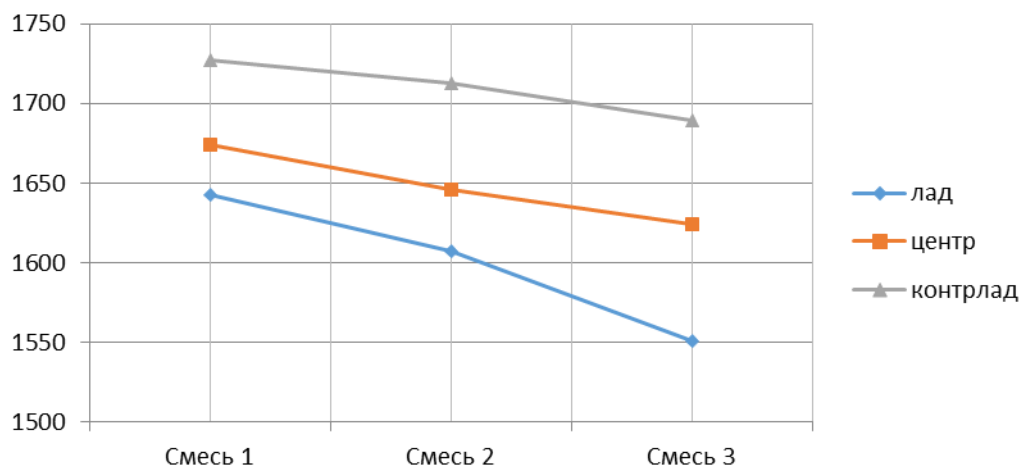


Рисунок 1 – Распределение плотности по высоте формы у различных смесей

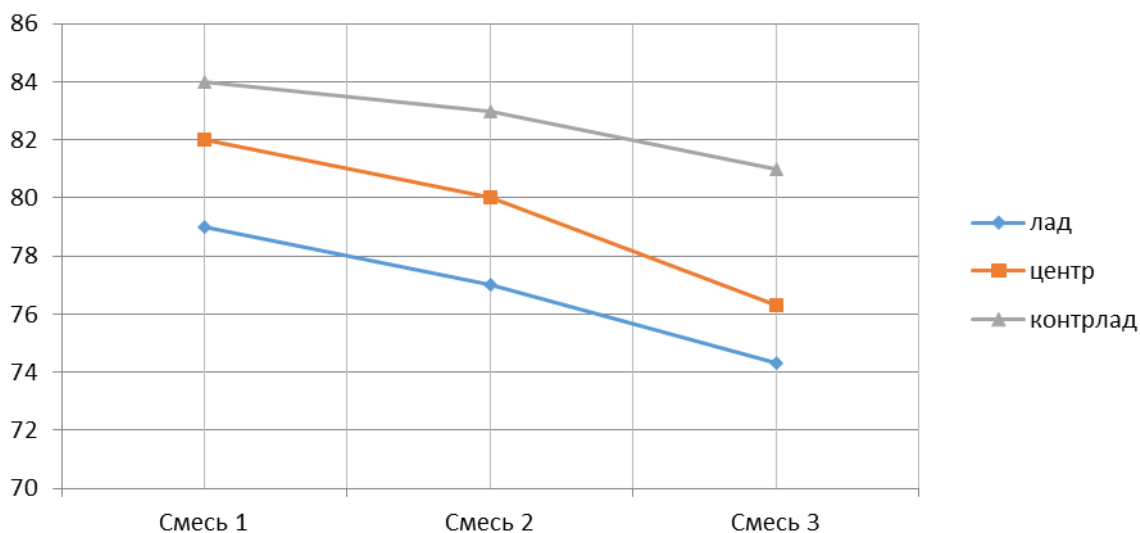


Рисунок 2 – Распределение твердости по высоте формы у различных смесей.

Анализируя полученные данные видно, что плотность и твердость как на ладе так и на контрладе снижаются, начиная от смеси 1 и заканчивая смесью 3.

Из проведенных опытов следует, что высокоскоростное ударное прессование показывает хорошее качество уплотнения в независимости от вида и состава смеси. Помимо этого, это дает представление, насколько состав формовочной смеси может влиять на процесс ее уплотнения.

Литература:

1. Матвеев И.В. Динамические и импульсные процессы и машины для уплотнения литейных форм/ И.В. Матвеев, А.З. Исагулов, А.А.Дайкер. –Алматы: Гылым(Наука), 1998.-345с.
2. Справочник по чугуному литью / Н.Г. Гиршович[и др.]. – Л.:Машиностроение, 1978

КИНЕМАТИКА ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ

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

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

В настоящее время наиболее перспективным способом обработки давлением является волочение в роликовых волокнах. Возрастающий интерес к роликовым волокнам связан, прежде всего, с повышением эффективности процесса за счет смены трения скольжения трением качения в роликовых волокнах. При волочении через роликовые волокна деформация сдвига мала, что положительно сказывается на однородности структуры. Остаточные напряжения в поверхностном слое небольшие, что предохраняет изделие от коробления и трещин. К примеру, можно отметить, что проволока протянутая в роликовых волокнах имеет более равномерное распределение твердости по сечению. Низкий уровень использования роликовых волокон связан с недостаточной изученностью данного процесса.

При производстве сортовых профилей в роликовых волокнах необходимо определить калибровку роликов (валков), сопротивление деформации, уширение, вытяжку и степень упрочнения металла, что непосредственно связано с механическими характеристиками металла, условиями деформации, формой калибров и числом роликов.

Рассмотрим деформацию круглого профиля двумя, тремя и четырьмя роликами.

При деформации заготовки двумя роликами напряженно-деформированное состояние в очаге деформации зависит прежде всего от угла поперечного охвата прутка роликом: чем больше угол поперечного охвата, тем меньше поперечные растягивающие напряжения и

выше коэффициент вытяжки. Напротив, при малом угле охвата заготовка уширяется в сторону свободной поверхности, что отрицательно влияет на уплотнение и может привести к разрывам в сердцевине (рис. 1а).

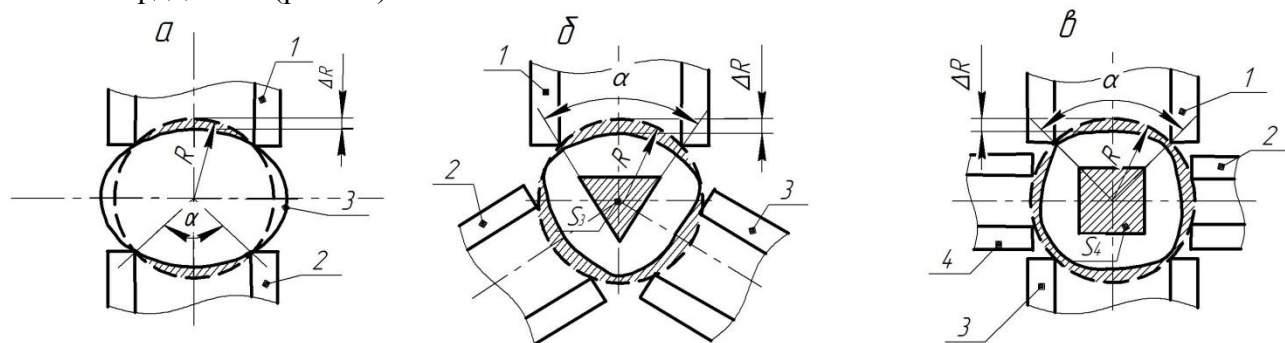


Рисунок 1 – Схемы течения металла при волочении двумя (а), тремя (б) и четырьмя (в) роликами: 1, 2, 3 и 4 – ролики; α – угол поперечного охвата профиля ручьем ролика; S – упрочненная сердцевина заготовки.

При деформации тремя роликами (рис. 1б) деформируемую поверхность можно разделить на три участка, на которых действуют сжимающие напряжения, и на три свободно уширяющихся участка. Как видно из рис. 1б при увеличении числа роликов до трех, свободное уширение уменьшается на 30%, а сжатие возрастает. Такая же тенденция наблюдается при волочении четырьмя роликами, когда свободно уширяющаяся поверхность уменьшается на 40%, соответственно уменьшаются поперечные растягивающие напряжения и возрастают сжимающие напряжения, что повышает ресурс пластичности металла. Изменение напряжений в сечении заготовки показано на рис.2.

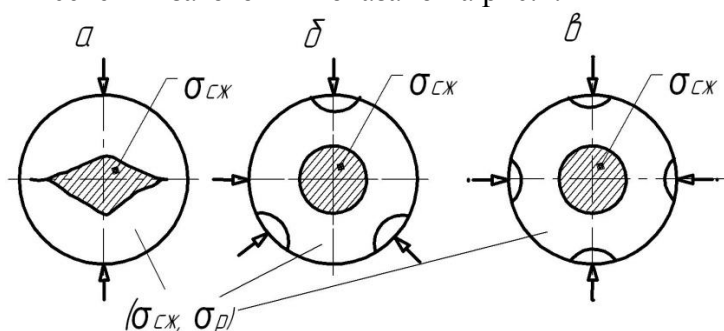


Рисунок 2 – Изменение напряжений в сечении профиля при обработке двумя (а), тремя (б) и четырьмя (в) роликами: $\sigma_{сж}$ – сжимающие напряжения; σ_p – растягивающие напряжения [1]

Лучшая проработка металла по сечению наблюдается при максимальном угле (α) поперечного охвата сечения заготовки четырьмя роликами (рис. 2в).

Уменьшение проработки можно компенсировать увеличением коэффициента вытяжки λ :

$$\lambda = F_0 / F_1, \quad (1)$$

где F_0 и F_1 – соответственно площадь поперечного сечения заготовки до и после волочения.

Однако, увеличение λ ограничивается ресурсом пластичности металла [2].

Выводы

1. Лучшая проработка металла в сечении сортового профиля достигается при максимальном поперечном охвате заготовки инструментом.
2. Уменьшение проработки металла по сечению профиля можно компенсировать, если позволяет ресурс пластичности металла, увеличением вытяжки.

Литература

1. Strandell P.O. Neue Hutte, 1969, 14. S. 142-146.
2. Богатов А.А. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением/ А.А. Богатов, О.И. Мижирицкий, С.В. Смирнов. – М.: Металлургия. 1984. – 144 с.

КОМПЕНСАЦИЯ ИЗБЫТКА МЕТАЛЛА ПРИ ВЫДАВЛИВАНИИ СТЕРЖНЕВЫХ ПОКОВОК

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

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

Заполняемость полости штампа при выдавливании стержневых поковок с простым торцом может быть проверена на основании известного положения, согласно которому степень истечения металла в различные полости обратно пропорциональна сопротивлению деформации.

$$\sigma_g * 2U = \sigma_c * l_c, \quad (1)$$

где σ_g и σ_c – соответственно среднее значение напряжений в очаге деформации металла в полости матрицы и в стержневой полости; МПа;

U и l_c – соответственно глубина заполнения углов полости матрицы и длина стержневой полости, мм (рис. 1).

С учетом формулы (1) и формул для расчета напряжений σ_g и σ_c получено уравнение для расчета необходимой длины стержня l_c , при которой обеспечивается заполнение углов полости матрицы [1]:

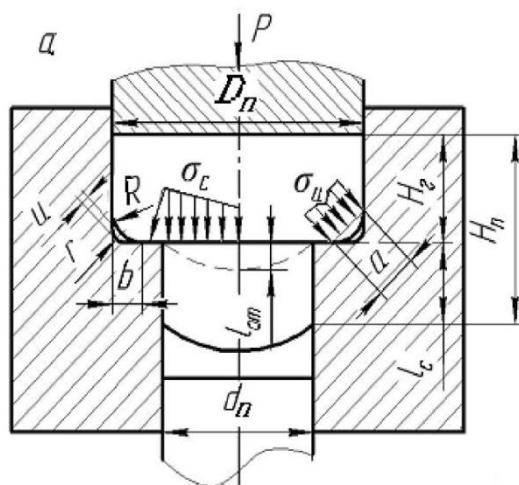


Рисунок 1 – Схема выдавливания стержневой поковки: 1-пуансон; 2- матрица; 3- поковка; 4-выталкиватель.

$$l_c \geq \frac{l_n(b/r)}{l_n(D_n/D_c)} * U, \quad (2)$$

где b – ширина очага деформации в углу матрицы радиусом r , мм; $u = 0,41(b-r)$, мм – глубина очага деформации в углу матрицы.

Однако при штамповке поковок с фасонным хвостовиком типа корпуса распылителя этот метод неприемлем. При штамповке поковок с небольшой центральной полостью ($d_{пол} \leq 30$ мм) целесообразно использовать метод компенсации избытка металла в полость, сформированную в предыдущем ручье в самой поковке (рис. 2). Для этого необходимо исследовать геометрические параметры компенсационной полости (КП), которые должны обеспечить условие

$$\sigma_{СКП} > \sigma_{СПШ}, \quad (3)$$

где $\sigma_{скп}$ и $\sigma_{спш}$ – сопротивления деформации соответственно в КП и полости штампа.

С использованием теории планирования эксперимента проведено исследование влияния геометрических параметров КП на её заполняемость при горячей штамповке выдавливанием. Заполняемость КП можно оценить коэффициентом

$$K_3 = \frac{V_{ок} - V_{1к}}{V_{ок}} = 1 - \frac{V_{1к}}{V_{ок}}, \quad (4)$$

где $V_{ок}$ и $V_{1к}$ – объемы КП соответственно до и после формирования поковки.

В связи с тем, что определение величины конечного объема затруднено вследствие искажения формы КП, значение $V_{1к}$ получим из следующих геометрических соотношений.

Объем заготовки V_3 равен:

$$V_3 = F_3 * H_3 - V_{ок}, \quad (5)$$

где F_3 , и H_3 – соответственно площадь сечения и высота заготовки.

Объем поковки (V_n) находим из соотношения:

$$V_n = F_y * H_y + V_c - V_{1к}, \quad (6)$$

где F_y и H_y – соответственно площадь сечения и высота утолщения поковки; при не большой разнице диаметров заготовки и утолщение примем $F_y = F_3$; V_c – объем выдавленного стержня (см. рис. 2).

Учитывая, что $V_3 = V_n$, из выражений (4) и (5) получим

$$V_{1к} = V_c + V_{ок} - F_3 (H_3 - H_y), \quad (7)$$

При задаваемых параметрах КП (диаметр d_k , высота h_k , и угол конусности α) коэффициент заполняемости K_3 , определяемый по формуле (3), является функцией объема стержня (V_c), линейно зависящего от его длины (l_c).

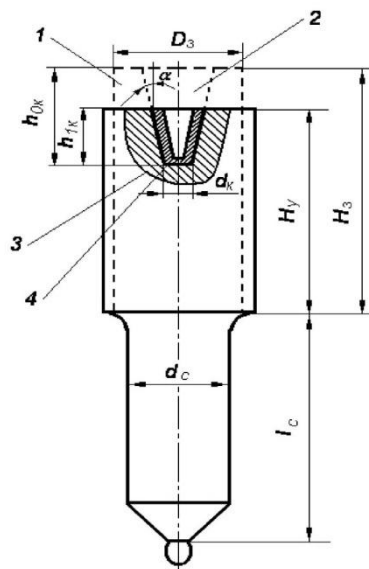


Рисунок 2 – Геометрические параметры КП до и после формообразования поковки: 1 – заготовка; 2 – КП в заготовке; 3 – КП в упаковке; 4 – избыток металла, размещенный в КП

Таким образом, модель процесса заполнения полости компенсатора при прямом выдавливании, как основной элемент включает функцию изменения l_c .

Наиболее вероятный тип зависимости имеет вид

$$l_c = c \left(\frac{h_k}{H_n} \right)^{b_1} * \left(\frac{d_k}{D_3} \right)^{b_2} * \alpha^{b_3}, \quad (8)$$

где c – постоянный параметр; b_1 , b_2 , b_3 – коэффициенты уравнения регрессии; D_3 – диаметр заготовки.

После обработки результатов эксперимента получено уравнение:

$$l_c = 8,82 \left(\frac{H_3}{h_{x1}} \right)^{0,15} * \left(\frac{D_3}{d_k} \right)^{0,172} * \left(\frac{1}{\alpha} \right)^{b_3} \quad (9)$$

С использованием найденных зависимостей проведены расчеты коэффициента (K_3) заполняемости КП и построены графики (рис. 3).

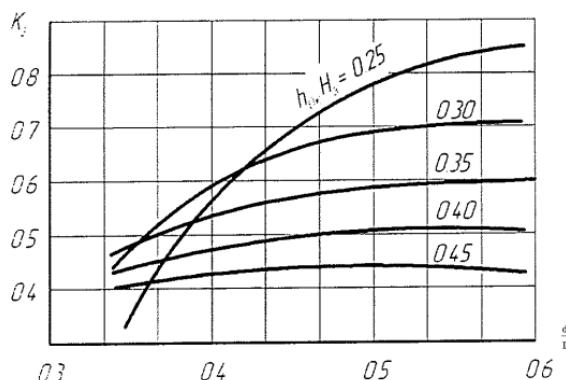


Рисунок 3 – Графические зависимости коэффициента заполняемости компенсационной полости

Выводы:

- 1) наибольшее влияние на заполнение внутреннего компенсатора оказывает соотношение диаметров заготовки и компенсационной полости;
- 2) с увеличением относительной глубины компенсационной полости коэффициент заполняемости уменьшается;
- 3) максимальная заполняемость компенсационной полости наблюдается в диапазоне изменения относительного диаметра полости от 0,5 до 0,6 при всех значениях соотношения h_x/H_3

Список литературы

1. Ребельский, А. В. Основы проектирования процессов горячей объёмной штамповки [Текст]: / А.В. Ребельский. – М.: Машиностроение, 1965. – 248с.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬХОЗТЕХНИКИ.

Дорохов Д.Д., Сусекин В.С. - студ. гр. МС-21, Мустафин Г.А. - доцент, к.т.н.,

Мустафина Т.В. - инженер

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

Долговечность быстроизнашивающихся деталей определяет рентабельность многих сельскохозяйственных машин. Незапланированные остановки машин для замены изношенных деталей, приводят к существенным потерям материалов, труда, финансовых ресурсов, нарушением ритмичности процесса производства, необходимостью в специальном ремонтном персонале. Все это является причиной больших непроизводительных затрат, которые снижают эффективность сельскохозяйственного производства. Современные тенденции интенсификации производственных процессов, увеличения скоростей обработки земли приводят к ускорению изнашивания деталей и делают проблему повышения долговечности быстроизнашиваемых узлов машин ещё более острой.

Различными отраслями промышленности и сельского хозяйства ежегодно расходуется сотни тысяч тонн металла на изготовление запасных частей и замену ими быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающих машин. При этом затрачивается большое количество труда, увеличиваются простои агрегатов для замены изношенных

деталей, снижается производительность машин и аппаратов. Поэтому повышение износостойкости и срока службы машин весьма важная задача науки и производства особенно в современных условиях, когда оборудование всех предприятий существенно изношено, а перспективы его замены в ближайшее время нет в связи с общим падением производства и отсутствием средств для изготовления и покупки новых машин и механизмов.

Повышение износостойкости и срока службы машин может быть достигнуто одним из следующих методов: рациональным конструированием, соответствующим выбором материала, термической или химико-термической обработкой, и износостойкой наплавкой.

Износостойких материалов разработано много. Главные требования к ним сводились к тому, чтобы обеспечить получение металла наибольшей твёрдости.

Зачастую износостойкость испытываемого материала ε и твёрдость Н связывают следующей зависимостью:

$$\varepsilon = BH^n,$$

где n - показатель, зависящих от соотношения твёрдости материала и абразивных частиц.

Из этой зависимости следует, что для повышения износостойкости и долговечности деталей необходимо повышать твердость их рабочих поверхностей. Так, например, рабочая поверхность долотовидного сошника пневматической сеялки «Primera DMC», работающей по технологии «No-till» (нулевая технология в растениеводстве, при которой производится посев семян в почву, которая не подвергалась никакой обработке), армируется пластинами из карбида вольфрама (рис.1).

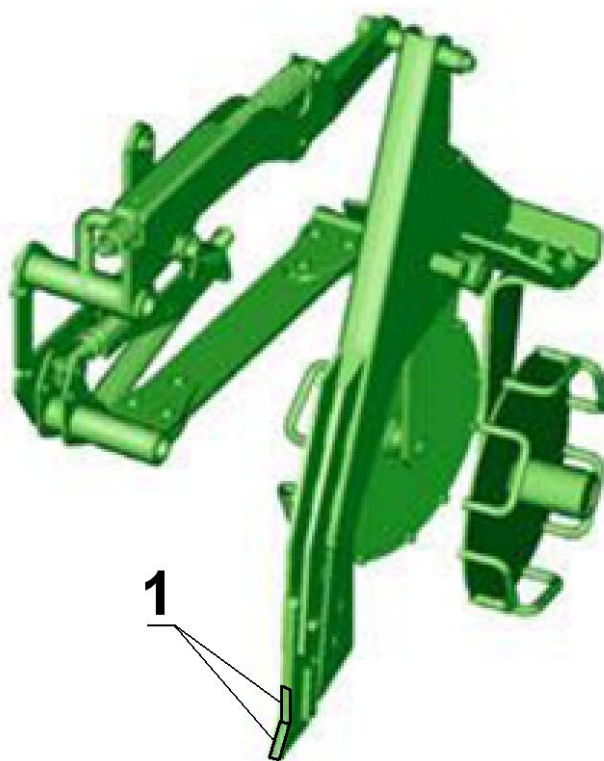


Рисунок 1 – Сошник долотовидный сеялки «Primera DMC»: 1- пластины из карбида вольфрама.

Твердость пластин из карбида вольфрама составляет по Роквеллу 87-92 единицы. Такая высокая твердость конечно обеспечивает высокую износостойкость сошнику. Однако необходимо считаться с высокой стоимостью пластин и наличием дополнительных операций по обработке площадок под пластины и крепления пластин к сошнику.

В настоящее время находят применение технологии литья, позволяющие получать отливки из достаточно дешёвых материалов, но имеющие поверхности или отдельные части с особыми свойствами. Эти технологии обеспечивают протекание совместно с литейными процессами физико-химических процессов по формированию особых свойств отдельным частям (поверхностям) отливки.

Получению отбеленного слоя на поверхности чугунных отливок. Для получения отливок с отбеленной поверхностью используют низкоуглеродистые, низкремнистые чугуны, состав которых зависит от требований, предъявляемых к глубине и твердости отбеленного слоя, а также прочностных характеристик отливки.

В отбеленной отливке из чугуна различают три зоны:

- 1) чистая глубина отбела — от поверхности до появления первых включений графита;
- 2) полезная глубина — от поверхности до слоя серого чугуна;
- 3) общая глубина — от поверхности до места исчезновения цементитных включений.

Элементы, входящие в состав чугуна, по-разному влияют на твердость, глубину отбеленного слоя и эксплуатационные свойства литых заготовок.

Твердость отбеленного слоя составляет 50-60 HRC.

Получение износостойкой поверхности литых деталей в процессе диффузионных процессов. В результате диффузии из борсодержащей обмазки на поверхности чугунных отливок массой более 1 кг образуется слой повышенной твердости (рис. 2)

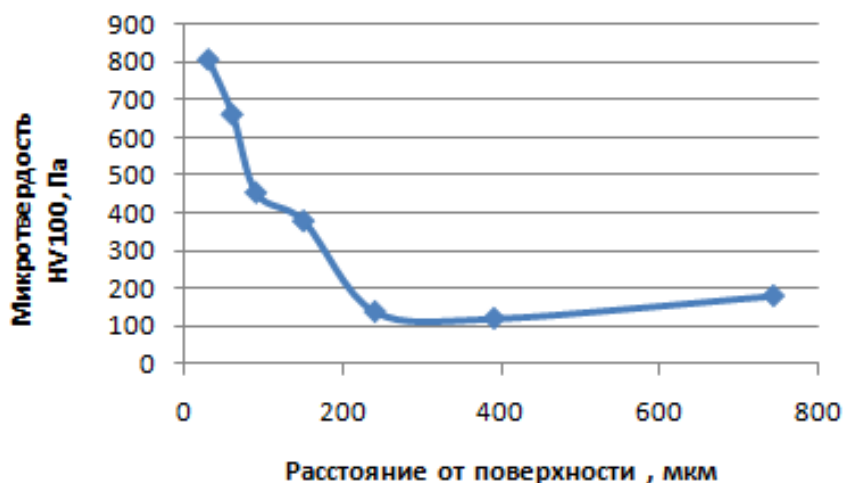


Рисунок 2 – Микротвердость борированного слоя на участке с глубиной 220 мкм

Полученная поверхностная структура представляет собой эвтектический слой (литую боридную эвтектику) состоящий из крупных кристаллов боридов железа и зон ледебуритоподобной эвтектики. Включения α -фазы и графита в ледебуритной эвтектике отсутствуют.

Образование бористых соединений при заливке чугуна при 1350⁰С происходит даже на поверхности мелких отливок при наименьшей длительности и температуре взаимодействия с обмазкой.

Бориды полученные литьём имеют более благоприятную структуру и не инициируют скалывание боридного слоя при длительной эксплуатации детали.

Увеличение температуры и времени взаимодействия способствует увеличению толщины слоя.

Получение износостойкой поверхности литых деталей в процессе пропитки. По этой технологии дисперсные износостойкие и твердые материалы обмазки за счёт пропитки включаются в состав поверхностного слоя чугунных и стальных отливок. Образуется управляемый по составу и свойствам своеобразный пригар на поверхности отливок, обладающий необходимыми свойствами.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ СТЕРЖНЕВОГО ШТАМПОВОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

Негруленко И.А. – студент, Герман С.В., Иванайская Е.А. – аспиранты,
Поксеваткин М.И. - к.т.н., профессор, Иванайский А.А. - к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

При выдавливании стержневых изделий избыток металла обычно размещают в торце стержневого элемента, формируемого в стержневой полости матрицы (рис 1, а). В результате последующей подрезки торца поковки при удалении избытка металла неизбежно перерезаются волокна металла. Тогда на торцевой поверхности рабочей части инструмента выходят волокна, перпендикулярные этой поверхности, что существенно снижает стойкость штамповочного инструмента (рис. 1, б).

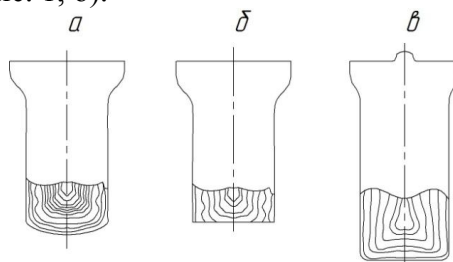


Рисунок 1 – Стержневой элемент; а – компенсация избытка металла в торец поковки; б – перерезание волокон металла при удалении избытка металла; в – поковка инструмента, полученная с использованием центрального компенсатора.

Чтобы исключить это нежелательное явление предложен двухпереходный процесс закрытой штамповки выдавливанием стержневых поволоков с использованием нагрузочного элемента, сформированного на торце утолщения в первом переходе с компенсацией избытка металла в центральной компенсатор, выполненный на торце деформирующего пуансона. В этом случае волокна в торцевой рабочей части инструмента располагаются по контуру этого элемента (рис. 1, в).

В качестве объекта оптимизации выбран двухпереходный процесс закрытой штамповки стержневых поволоков с использованием нагрузочного элемента, сформированного на торце заготовки в первом переходе (рис. 2) [1].

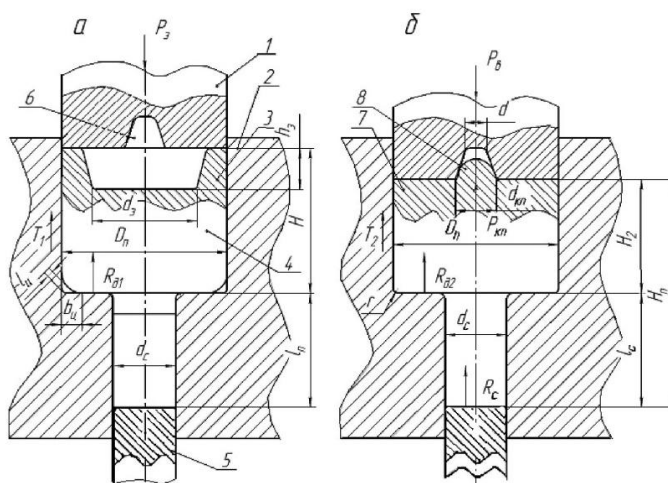


Рисунок 2- Схема штамповки стержневого штамповочного инструмента; а - исходное положение штампа; б - заключительная стадия процесса: 1 - пуансон, 2 - матрица, 3 - нагрузочный элемент, 4 - предварительный переход, 5 - выталкиватель, 6 - компенсационная полость, 7 - поковка, 8 - избыток металла

С целью рационализации процесса штамповки разработана иерархическая гибридная

модель, представленная в виде четырехмодульного алгоритма (рис. 3), включающего минимизацию силовых параметров процесса при условии заполнения полостей закрытого штампа (модуль 1), минимизацию отхода металла (модуль 2), расчет геометрических и силовых параметров компенсационной полости (КП) (модуль 3) и расчет усилия штамповки (модуль 4).

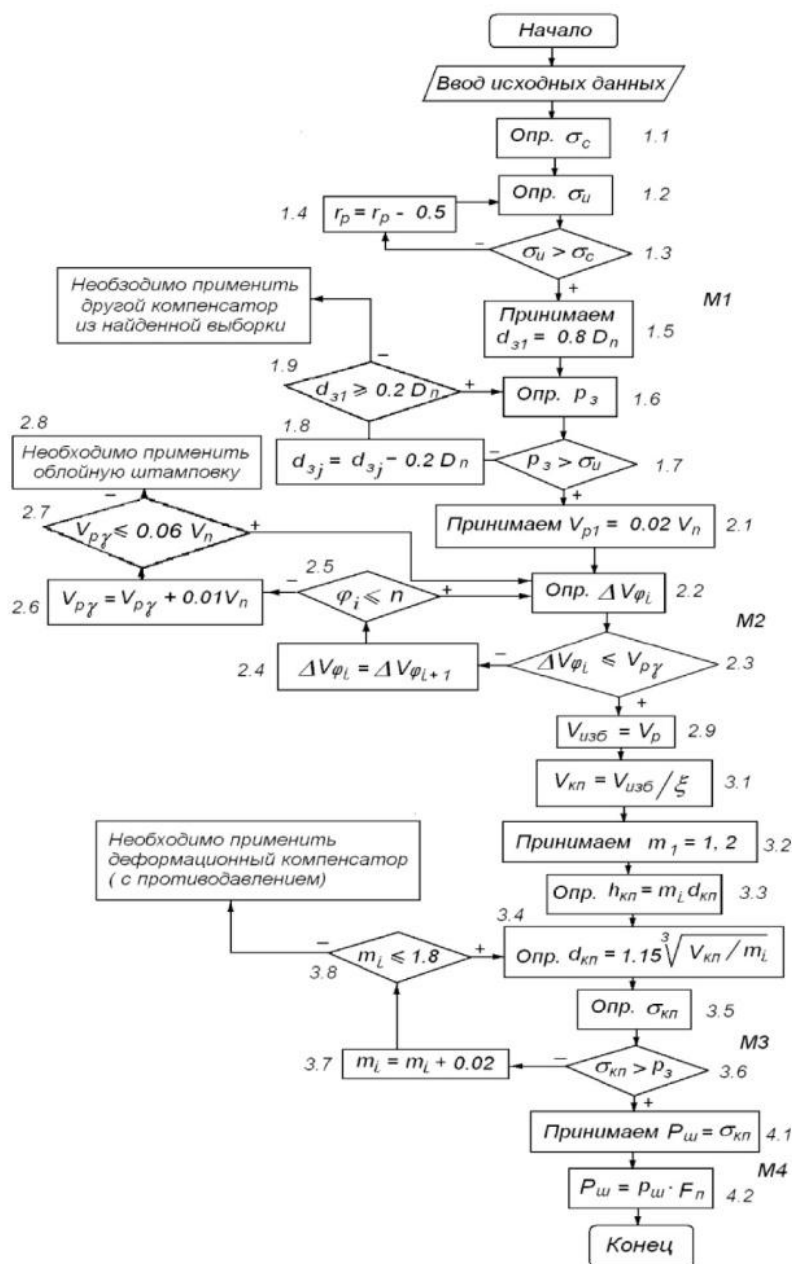


Рисунок 3 - Блок-схема алгоритма модели рационализации процесса выдавливания стержневого инструмента

В исходные данные вводят параметры поковки, заготовки и полости штампа: V_n , H_n , D_n – объем, высота и диаметр поковки; V , H и D – соответственно объем, высота и диаметр заготовки; d_c и l_c – диаметр и длина стержня (выступа) поковки; σ_b – предел прочности стали при температуре окончания штамповки; r – радиус закругления в полости матрицы; b_u – ширина угла незаполненного металлом к моменту стабилизации процесса штамповки; ξ – коэффициент заполнения компенсационной полости; $\varphi_i = 1, \dots, n$ – группы точности исходной заготовки (i – номер группы, n – количество групп); $V_p = (0.02 \div 0.06)V$ – объем отхода металла, рекомендуемый при закрытой штамповке.

В первом модуле минимизируются силовые условия процесса, обеспечивающие заполнения матричной и стержневой полостей штампа (блоки 1.1-1.5).

С учетом допущений и зависимостей приведенных в работе [2], напряжения деформации в стержневой полости можно записать в виде (блок 1.1):

$$\sigma_c = 2\sigma_{bt}(1 + \mu_c) \ln \frac{D_n}{d_c}, \quad (1)$$

где σ_{bt} – сопротивление деформации, предел прочности металла при температуре окончательной штамповки, Мпа; μ_c – показатель трения на контактной поверхности в стержневой полости.

Далее в блоке 1.2 определяют напряжения, действующие в углах матричной полости [2]:

$$\sigma_u = \sigma_s(1 + \mu_m) \ln \frac{bu}{r}, \quad (2)$$

где μ_m – показатель трения на стенках полости матрицы; $bu=0.5(D_n-D)$ – ширина углового элемента матрицы, мм (рис 2).

Далее в блоке 1.3 модуль М1 проверяют условие $\sigma_n > \sigma_c$, обеспечивающее заполнение стержневой полости. В случае невыполнения условия следует изменить радиус (r_p , $p = 1, \dots, s$ – номера радиусов, s – количество номеров закругления (блок 1.4) в полости матрицы и пересчитать значение σ_n (блок 1.2). После выполнения условия блока 1.3 переходят к расчету внутреннего диаметра ($d_{sj} = (0,2 \div 0,8)D_n$, $j=1, \dots, z$ – номера параметров, z – количество параметров) нагрузочного элемента (блок 1.5). Затем определяют напряжения деформации нагрузочного элемента (блок 1.6), обеспечивающего заполнение матричной полости штампа.

Для определения напряжения деформации (p_3) нагрузочного элемента кольцевой формы используется формула И.Я. Тарновского, полученная при малой осадке цилиндрической полой заготовки [1]:

$$p_3 = \sigma_s \left[1.08 + 0.18 \left(\frac{D_n}{d_3} - 1 \right) * a * \frac{d_3}{h_3} \right], \quad (3)$$

где d_3 и h_3 – внутренний диаметр и высота нагрузочного (кольцевого) элемента; $a=\tau/\tau_s$ – относительный параметр трения, определяемый по формуле:

$$a = \mu + \frac{1}{8} * \frac{D_n}{2h_3} * (1 - \mu_m) * \sqrt{\mu_m}, \quad (4)$$

Здесь τ – касательное напряжение на стенках матрицы; τ_s – напряжение чистого сдвига.

Затем, в блоке 1.7 проверяют условие заполнения матричной полости ($p_3 > \sigma_n$). В случае не выполнения этого условия корректируют размеры нагрузочного элемента (блоки 1.8 и 1.9). Если не один типоразмер нагрузочного элемента не удовлетворяет условию заполнения матричной полости, то необходимо применить другое компенсационное устройство из найденной выборки. После выполнения условия блока 1.7 переходят к решению модуля 2.

При минимизации объема штампуемого металла (модуль 2) в начале принимают рекомендуемый объем избытка равный 2% ($V_{py}=0,02 \div 0,06)V$, ($y=1, \dots, k$ – номер параметров отхода металла; k – количество параметров) и рассчитывают максимальное отклонение объема исходной заготовки при использовании проката обычной точности и выборе наиболее простого способа рубки заготовки.

Выполнения условия блока 2.3 добиваются за счет выбора более точного проката и способа рубки заготовок (блок 2.4 и 2.5), т.е. варьированием группы (ϕ_i) точности заготовки. Если не одна группа точности не удовлетворяет условию блока 2.3, то необходимо увеличить рекомендуемый объем избытка металла. Если рекомендуемый объем избытка металла превышает 6% от объема заготовки, то целесообразно перейти на облойную штамповку.

В блоке 2.9, в случае выполнения условия блока 2.3, объем (V_n) избытка металла принимают равным величине рекомендуемого при закрытой штамповке объема (V_p) отхода металла.

При расчете геометрических и силовых параметров компенсационной полости (КП) (блоки 3.1, 3.2, 3.3 и 3.4) высота (h_{kn}) компенсационной полости (блок 3.3) принимается равной $h_k = m_1 * d_{kn}$, $m_1 = (1,2 \div 1,8)$ – высотный параметр, шаг варьирования его равен 0,2. Если КП имеет форму усеченного конуса, то диаметр определяют по формуле:

$$d_{kn} = 1,15 * \sqrt[3]{\frac{V_{kn}}{m_1}} \quad (5)$$

В следующем блоке проверяют условие $\sigma_{\text{кл}} > p_3$. Если условие блока 3.6 не выполняется, то проводят корректировку размеров КП (блоки 3.7 и 3.8). Если высота компенсационной полости превышает 1,8 диаметра (блок 3.8), то необходимо применить деформационный компенсатор (с противодавлением). В модуле М4 определяю усилие штамповки.

Выводы

1. Формирование стержневого штампового инструмента, исключаяющего подрезание торца рабочей части инструмента и сохранения, тем самым благоприятного волокнистого строения, обеспечивает повышенную стойкость инструмента.
2. Реализация алгоритма обеспечивает рационализацию заполняемости полости закрытого штампа, что позволяет своевременно удалить избыток металла при условии минимизации расхода штампуемого металла и энергоемкости процесса.

Список литературы

1. Способ двухпереходной объемной штамповки стержневых деталей с утолщением [Текст]: Авт. Свид. СССР. №1476717 / Поксеватки М.И. и Осколков А.И. 07.04.1987.
2. Ребельский, А. В. Основы проектирования процессов горячей объемной штамповки [Текст]: / А.В. Ребельский. – М.: Машиностроение, 1965. – 248с.
3. Тарновский, И.Я. Деформация и усилия при обработке металлов давлением [Текст]: / И.Я. Тарновский, А.А. Поздеев, О.А. Гонаго. – Москва, Свердловск: изд. ГНТИМЛ, 1959. - 304 с.
4. Соколов, Н.Л. Горячая штамповка выдавливанием стальных деталей [Текст]: / Н.Л. Соколов. – М: Машиностроение, 1967. - 191 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ

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

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

Расширение масштабов и объемов переработки формовочных смесей для автоматических линий требует внедрения в литейное производство высокоэффективного смесеприготовительного оборудования, гарантирующего необходимую технологическую готовность смеси. Однако в методах создания смесеприготовительного оборудования преобладает эмпирический подход, что способствует модернизации традиционных моделей смесителей, повышение их производительности за счет увеличения размеров, а также оснащение их автоматическими системами управления.

Для описания процессов смешения и перемешивания предложено несколько типов моделей, которые можно сгруппировать следующим образом:

Статистические модели, которые представляют вид корреляционных и регрессивных соотношений между технологическими или физико-механическими свойствами смеси и всеми влияющими на них факторами. Данные модели получают в результате статистического анализа конкретной смесеприготовительной системы.

Кибернетические модели, описывают преобразование входных координат (исходные компоненты, температур и влажность оборотной смеси) в определенные выходные координата (свойства готовой смеси). Кибернетическая модель позволяет описать достижения конечного результата в действующей смесеприготовительной системе.

Модель диффузионного смешения, в основу которой положена аналогия процесса смешения с процессом диффузии в газах и жидкостях и применение с определенными допущениями закона Фика. Однако диффузионная модель смешения также требует экспериментального определения коэффициента диффузии, что может быть получено только при наличии конкретной конструкции смесителя.

Кинетическая модель, основана на предположении о том, что процесс перемешивания

протекает согласно основному закону массопередачи, при этом оценка процесса проводится по разности текущей и равновесной однородности смеси. Результатом кинетической модели процесса перемешивания является уравнение, списывающее изменение текущей однородности смеси по времени, которое также определяется экспериментальным путем.

Изложенные модели процессов смешения и перемешивания позволяют описать действующую систему смесеприготовления, при этом они не отражают физической сущности процесса, происходящего в смесителе характера взаимодействия рабочих органов с компонентами смеси. Указанные модели можно реализовать для оптимизации действующих систем, однако они не позволяют определить тенденцию совершенствования смесеприготовительного оборудования и разработать методику расчета высокоэффективных смесителей для получения формовочных смесей с минимальными энергозатратами.

В данной работе предлагается моделирование процесса перемешивания формовочных смесей определять из концепции достижения смесью требуемых технологических и физико-механических свойств. Особенностью приготовления формовочных песчано-глинистых смесей является то, что основу смеси составляет обратная смесь, которая вносит в смеситель практически все компоненты (зерновую основу и связующее), при этом связующее – глина частично утратила технологические свойства с потерей воды. В этой связи основной задачей процесса перемешивания формовочных смесей является восстановление вяжущих свойств глины и равномерное распределение освежающих добавок.

Процесс восстановления вяжущих свойств глины длительный, что связано с процессом набухания и перераспределением частиц набухшей глины по поверхности зерен песка. С этой точки зрения ускорение процесса может быть достигнуто за счет интенсивного формирования сдвиговых деформаций в частицах глины, а также сдвиг зерен песка друг относительно друга.

Реализация этого условия возможна при силовом взаимодействии рабочего органа смесителя с элементарными объемами смеси. Таким образом, рабочие органы смесителя должны формировать сдвиговые деформации в смеси с минимальными энергетическими затратами. В основу может быть положена теория предельно напряженного состояния, согласно которой в каждой точке среды максимальная разность касательного напряжения и соответствующего нормального напряжения, умноженного на тангенс угла внутреннего трения φ , равна предельному напряжению сцепления k . При этом условие $|\tau_n| - \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi = k$ выполняется в каждой точке на двух площадках, составляющих с

направлением главного нормального напряжения σ_1 , острые углы разине $\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$ при этом два семейства линий совпадающие в каждой точке с направлением этих площадок образуют линии скольжения.

Следовательно, рабочие органы смесителя должны обесточивать формирование предельно напряженного состояния в элементарных объемах смеси. При этом направление максимальной скорости деформации сдвига должно совпадать с направлением движения потока смеси в рабочем пространстве смесителя. Решение изложенной концепции процесса перемешивания можно осуществить, используя математический аппарат, применявшиеся для списания движущейся сыпучей или вязкосыпучей среды в условиях плоской деформации, с корректировкой на форму рабочего органа смесителя и скорость приложения нагрузки.

Для описания движущейся сыпучей среда в условиях плоской деформации использованы следующие уравнения:

$$X - \frac{1}{\rho_0} \cdot \left(\frac{dX_x}{dx} + \frac{dX_y}{dy} \right) = \frac{dV_x}{dt} + V_x \cdot \frac{dV_x}{dx} + V_y \cdot \frac{dV_x}{dy} \quad (1)$$

$$Y - \frac{1}{\rho_0} \cdot \left(\frac{dX_Y}{dx} + \frac{dY_Y}{dy} \right) = \frac{dV_Y}{dt} + V_X \cdot \frac{dV_Y}{dx} + V_Y \cdot \frac{dV_Y}{dy} \quad (2)$$

$$(X_X - Y_Y)^2 + 4X_Y^2 = \sin^2 \varphi \cdot (X_X + Y_Y + 2k \cdot \operatorname{ctg} \varphi)^2 \quad (3)$$

$$\frac{dX_X}{dx} + \frac{dX_Y}{dy} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{2X_Y}{X_X - Y_Y} = \frac{\left(\frac{dV_X}{dy} + \frac{dV_Y}{dx} \right) \pm \left(\frac{dV_X}{dx} - \frac{dV_Y}{dy} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\left(\frac{dV_X}{dx} - \frac{dV_Y}{dy} \right) \mp \left(\frac{dV_X}{dy} + \frac{dV_Y}{dx} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad (5)$$

Уравнение (1 и 2); представляют собой уравнения движения сыпучей среды в переменных Эйлера; уравнение (3) является условием предельного равновесия; уравнение (4) представляет собой условие сплошности для несжимаемой среда; уравнение (5) выражает условие совпадения направления максимальной скорости деформации с активным семейством линий скольжения.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКИХ ОТЛИВОК С ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОЛОСТЬЮ В СФЕРИЧЕСКОЙ ИЗЛОЖНИЦЕ ПРИ ЕЕ КАЧЕНИИ ПО ДВУМ ОРТОГОНАЛЬНЫМ ПЛОСКОСТЯМ

Кириутин А.А. – студент, Широков Е.В. – к.т.н., доцент

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

Получение мелких отливок с внутренней изолированной полостью предлагается решить в условиях сложного движения сферической изложницы, когда изложница с расплавом катится по двум взаимноперпендикулярным беговым поверхностям.

Движение изложницы по такой технологии складывается из поступательного движения по круговой траектории и вращательного движения вокруг оси проходящей через геометрический центр изложницы под углом 45 градусов к обеим беговым поверхностям и параллельно, так называемой, мгновенной оси вращения, которая в свою очередь проходит через точки соприкосновения изложницы с беговыми поверхностями. При этом внутренняя поверхность отливки формируется в виде параболоида вращения. Таким образом, в случившемся движении изложницы получить отливку с изолированной полостью не представляется возможным.

Для формирования изолированной полости в технологии сложного движения изложницы была изменена конфигурация траектории движения изложницы. Круговую траекторию заменили на специально заданную траекторию состоящую из двух спаренных круговых траекторий.

Движение сферической изложницы в условиях действия циклически меняющегося центробежного поля. Конструктивные особенности установки сложного движения сферической изложницы по заданной траектории.

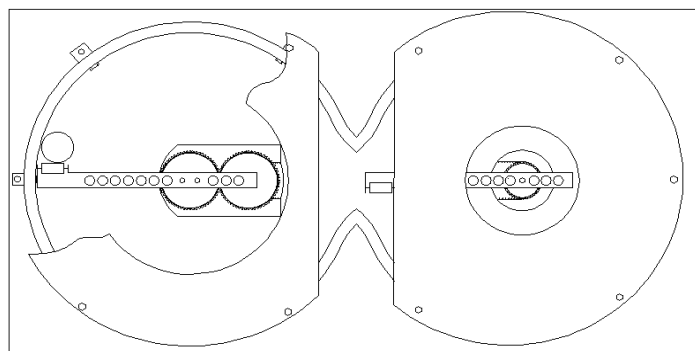


Рисунок 2 – Лабораторная установка

Реализация технологии сложного движения по заданной траектории осуществляется на лабораторной установке (рисунок 2), основными элементами которой являются: привод, рабочее пространство, в котором происходит движение изложницы и два вращающихся толкателя, обеспечивающих её движение.

Привод лабораторной установки

Источником движения в лабораторной установке служит мотор-редуктор со скоростью вращения вала на выходе из редуктора 60 об/мин. На валу редуктора установлена ведущая звёздочка цепной передачи. Цепная передача в приводе используется для обеспечения передачи вращения на необходимое расстояние между вращающимися валами. Ведомый вал вращается с такой же скоростью, как и ведущий вал редуктора. Для этого звёздочки цепной передачи выполнены с одинаковыми размерами. Кроме того, в приводе используется зубчатая передача, состоящая из двух одинаковых шестерёнок, для обеспечения вращения толкателей в разные стороны. Поэтому цепная передача заканчивается на промежуточном валу, а вращение на ведомый вал передаётся через зубчатую передачу. Для устранения провисания цепи, которая имеет горизонтальное расположение, в приводе предусматривается дополнительное поддерживающее устройство в виде вращающегося катка.

Рабочее пространство установки

Рабочее пространство установки, состоящее из двух спаренных кругообразных отделений, смонтировано на опорной раме с двумя взаимноперпендикулярными рабочими беговыми поверхностями: горизонтальной и вертикальной. Высота вертикальной беговой поверхности выполняется в соответствии с габаритным размером изложницы, но не более трёх диаметров сферической изложницы. Сопрягаются оба рабочих отделения технологическим приёмом, через который происходит перемещение изложницы из одного отделения в другое. Ширина проёма подбирается экспериментально, но не менее трёх диаметров сферической изложницы. Диаметр круговых отделений рабочего пространства определяется в зависимости от соотношения угловых скоростей выходного вала редуктора и сферической изложницы. Сверху рабочее пространство закрывается крышкой, которая крепится болтами к вертикальной беговой поверхности.

Толкатели

Конфигурация рабочего пространства установки и специфика технологии обеспечения непрерывного движения изложницы по заданной траектории определяют наличие двух толкателей. Толкатели выполнены из стали обыкновенного качества длиной достаточной для проведения толкающего воздействия на сферическую изложницу. Для уменьшения трения толкателя об изложницу на периферийной части толкателя предусмотрен набор арикоподшипников, которым и осуществляется толкание изложницы.

Надёжная и длительная работа установки в целом и толкателей в частности требует выполнения двух условий:

- вращение толкателей должно происходить в противоположные стороны;
- расположение толкателей в каждом из отделений рабочего пространства должно быть

выполнено в одном направлении по одной линии.

Работа лабораторной установки

Работа установки начинается с размещения сферической изложницы в любую из двух частей её рабочего пространства и включения привода в заданном режиме. Под воздействием усилия первого толкателя изложница начинает двигаться. Её движение характеризуется как сложное движение состоящее одновременно из поступательного и вращательного движений. Скорость поступательного движения изложницы зависит от угловой скорости толкателя ($\omega_{\text{толк}}$), и его длины ($l_{\text{толк}}$), а определяется по формуле:

$$v_{\text{изл}} = \omega_{\text{толк}} * l_{\text{толк}} \quad (1)$$

В свою очередь, угловая скорость изложницы определяется через скорость её поступательного движения ($v_{\text{изл}}$) и через величину наружного диаметра изложницы ($d_{\text{изл}}$)

$$\omega_{\text{изл}} = 2 v_{\text{изл}} / d_{\text{изл}} \quad (2)$$

Мощность двигателя позволяет вращать стальные изложницы массой до 3,5 кг. с постоянной угловой скоростью. При этом угловая скорость толкателя составляет $n_{\text{толк}} = 60$ об/мин (используется соответствующий мотор-редуктор). Когда изложница в своём движении попадает в зону сопряжения обеих частей (отделений) рабочего пространства установки, она под действием центробежной силы перемещается из одного отделения в другое отделение через проём. Движение изложницы по инерции продолжается до тех пор, пока её не догонит второй толкатель. Под действием второго толкателя движение изложницы происходит аналогично тому, как это происходит под действием первого толкателя. Движение изложницы повторяется и продолжается в течение необходимого (достаточно длительного) периода времени.

Неконтролируемое движение изложницы

При таком характере движения изложница катится по специально заданной траектории состоящей из двух спаренных круговых траекторий. При перемещении через проём из одного отделения рабочего пространства в другое меняется характер фрикционного зацепления изложницы с обеими беговыми поверхностями, что позволяет повернуть ось вращения изложницы на 90 градусов. Поворот оси вращения разрушает прежнюю сформировавшуюся внутреннюю поверхность в виде параболоида вращения и формирует новую внутреннюю поверхность такой же параболической геометрии, но в другом направлении. Изменение внутренней поверхности происходит каждый раз при изменении оси вращения. Формирование отливки в этих условиях сопровождается процессом затвердевания расплава находящегося внутри изложницы. Затвердевание имеет направленный характер и начинается с периферийной части изложницы к её центру. Наличие одновременно протекающих процессов формирования внутренней поверхности с периодически изменяющейся параболоидной конфигурацией и затвердевания, предполагает получение поверхности в виде изолированной полости.

Однако, сразу после перемещения изложницы из одного отделения рабочего пространства в другое она, испытывая достаточно большую силу сопротивления качению (особенно при качении по вертикальной беговой поверхности с существенной кривизной), начинает резко терять обороты и жидкий расплав внутри изложницы начинает «обваливаться», нарушая замкнутость внутренней поверхности. Такое неконтролируемое движение изложницы продолжается до половины пути круговой траектории в каждом отделении рабочего пространства установки, пока её не подхватит следующий толкатель.

Поэтому, предваряя процесс реального получения центробежных отливок с изолированной внутренней полостью, требуется определить величину силы трения, которое испытывает сферическая изложница при одновременном качении по двум взаимноперпендикулярным поверхностям. Кроме того, необходимо модернизировать механизм, осуществляющий принудительный характер движения изложницы, который должен устранить неконтролируемое движение изложницы.

ПРИМЕНЕНИЕ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ФОРМОВОЧНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ РЕЧНОГО ПЕСКА С ДОБАВКАМИ НАНОДИСПЕРСНОГО ПИРОУГЛЕРОДА

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

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

Основной заготовительной базой для многих отраслей машиностроения является литейное производство, которое в наши дни переживает много трудностей. В литейном производстве 70...80% отливок получают в разовые формы из песчано-глинистых смесей. В силу того, что повышаются цены на материалы и энергоносители, встал вопрос о нахождении более дешевого материала для формовочных смесей. Именно в этот момент и появилась предложение о замене карьерного песка на речной в сочетании с нанодисперсным пироуглеродом, который выступает в качестве антипригарной добавки.

В настоящее время заводы, находящиеся на территории города Барнаула и всего Алтайского края и имеющие литейные цеха, вынуждены использовать карьерные пески, которые привозятся с Урала. Следствием этого служит то, что заводы затрачивают огромные материальные средства.

Алтайский край богат запасами речного песка, который по своим физико-механическим и технологическим свойствам практически не уступает карьерному. При проведении ряда исследований было отмечено, что такие показатели как прочность на сжатие в сыром состоянии, газопроницаемость и влажность образцов из формовочной смеси на основе предлагаемого песка вполне удовлетворяют требованиям, которые необходимы для получения качественной отливки. Образцы из песчано-глинистой смеси на основе речного песка также были опробованы непосредственно на высоко- и низкотемпературных сплавах: на стали и алюминии.

При проведении экспериментов существовала гипотеза, что речной песок даст возможность образованию пригара. Благодаря тому, что в смесь был введен нанодисперсный пироуглерод, который не избавил отливку от появления пригара, но, следует отметить, что он был легко отделяемым. Пироуглерод является более экологически чистым продуктом, чем его аналоги. В процессе заливки в рабочее пространство выделяется гораздо меньше вредных веществ, чем при наличии в смеси, к примеру, такой антипригарной добавки как мазут или молотый уголь.

Натурное опробование на специально разработанной технологической пробе по определению влияния состава формовочной смеси на формирование шероховатости поверхности и образование пригара на отливках из низко- и высокотемпературных сплавах, а также влияние металлостатического напора и массы заливаемого металла на вышеуказанные параметры проводились на образцах из формовочной смеси на основе речного песка. Результаты подтвердили гипотезу о возможной замене карьерного песка на речной.

На основе выше изложенного, можно сделать вывод, что использование речного песка и нанодисперсного пироуглерода позволит не только снизить затраты на исходные формовочные материалы, но и получать отливки высокого качества, что очень важно не только для литейного производства, но и всего машиностроения в целом.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК

Назаров С.В., Самокаев А.А. – студенты, Марширов И.В. – к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Разнообразие предлагаемых информационных продуктов охватывает все этапы процесса изготовления отливок: организационный, конструкторско-проектировочный, опытно-технологический, производственный. При этом особый интерес представляет опыт по внедрению сквозной CAD-CAE-CAM технологии для проектирования и изготовления отливки и ее модельной оснастки. Суть этого подхода заключается в том, что технолог работает с компьютерной моделью отливки – на её основе происходит построение элементов литейной технологии, её анализ, моделирование всех процессов происходящих при заливке и кристаллизации, проектирование элементов оснастки и, наконец, создание управляющих программ для обработки на станках с ЧПУ. Это значительно сокращает производственный цикл. А объемные модели еще находят применение и на этапах, следующих за производством. С их помощью удобно разрабатывать интерактивную техническую и эксплуатационную документацию, маркетинговые материалы и презентации. Таким образом, на базе объемной модели возможна организация сквозной технологии проектирования, что обуславливает настоящую техническую революцию в работе инженеров. Современные компьютерные системы повышают эффективность проектирования в разы. С их помощью предприятие может создать цифровой прототип изделия и тем самым сократить количество ошибок, уменьшить число физических опытных образцов и затраты на производство, ускорить выпуск изделий на рынок [1-3].

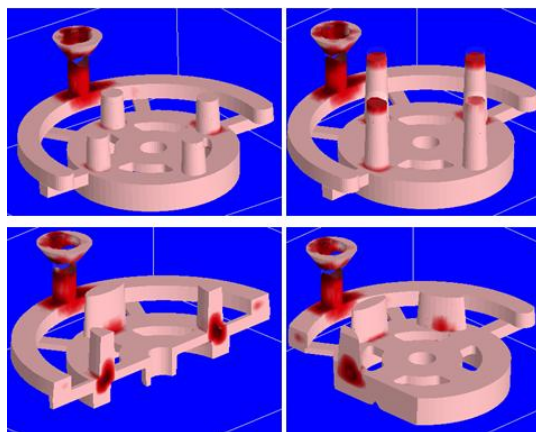


Рисунок 1 – Варианты расположения
прибылей

В представленной работе приведены результаты процесса разработки литейной технологии для отливки «Шкив». Данная отливка изготавливается из углеродистой стали 35Л литьем в песчано-глинистые формы. Для построения геометрической модели отливки использована CAD-система SolidWorks. Моделирование литейных процессов выполнялось посредством применения CAE-системы «LVMFlowCV» (Разработчик – ЗАО НПО МКМ, г. Ижевск).

Система LVMFlowCV удобна и достаточно проста в эксплуатации. Ее интерфейс полностью лежит в рамках стандарта интерфейса Windows. Терминология меню и диалоговые окна привычны и понятны для специалиста, работающего в литейном производстве. Меню системы продублировано панелью инструментов с иконками, довольно точно отражающими суть инструмента и позволяющими сократить число операций при работе с системой.

Применение LVMFlowCV позволяет оптимизировать режимы заливки сплава и затвердевания отливки, а также параметры литниково-питающей системы.

Результаты моделирования можно сохранять автоматически для дальнейшего просмотра

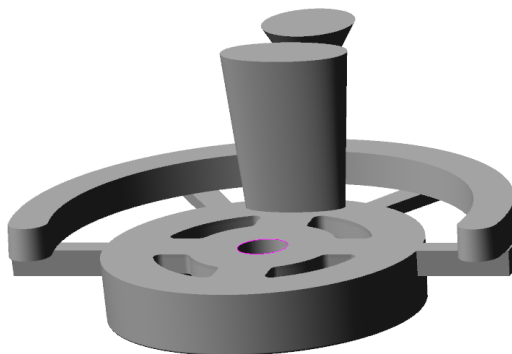


Рисунок 2 – Принятый вариант конфигурации и расположения прибыли

и создания архива технологических решений. На каждую отливку заводится «паспорт», в который записываются все параметры каждого моделирования. Результаты расчета функций можно сохранять в 2D и 3D видах.

В LVMFlowCV имеется три расчетных модуля:

- Затвердевание;
- Заливка;
- Заливка и Затвердевание

В модуле «Затвердевание» форма изначально считается мгновенно заполненной расплавом и моделируется процесс затвердевания сплава. В основе модели лежит неравновесная теория кристаллизации многокомпонентного сплава.

В модуле «Заливка» моделируется заполнение формы расплавом, которое рассматривается как течение вязкой жидкости с учетом процессов теплопередачи. Течение описывается уравнениями Навье-Стокса. Для изучения движения в расплаве посторонних (шлаковых) частиц в пакете предусмотрена возможность моделирования движения шарообразных частиц заданного радиуса и плотности. Одновременное моделирование процессов заполнения формы расплавом и его затвердевание осуществляется в модуле «Заливка и Затвердевание».

В каждом отдельном модуле процессы тепломассопереноса описываются замкнутой динамической системой уравнений, основанных на законах сохранения энергии, импульса, массы, уравнений состояния многокомпонентных сплавов, которые решаются на прямоугольной сетке методом Control Volume (CV) с автоматическим выбором шага интегрирования по времени.

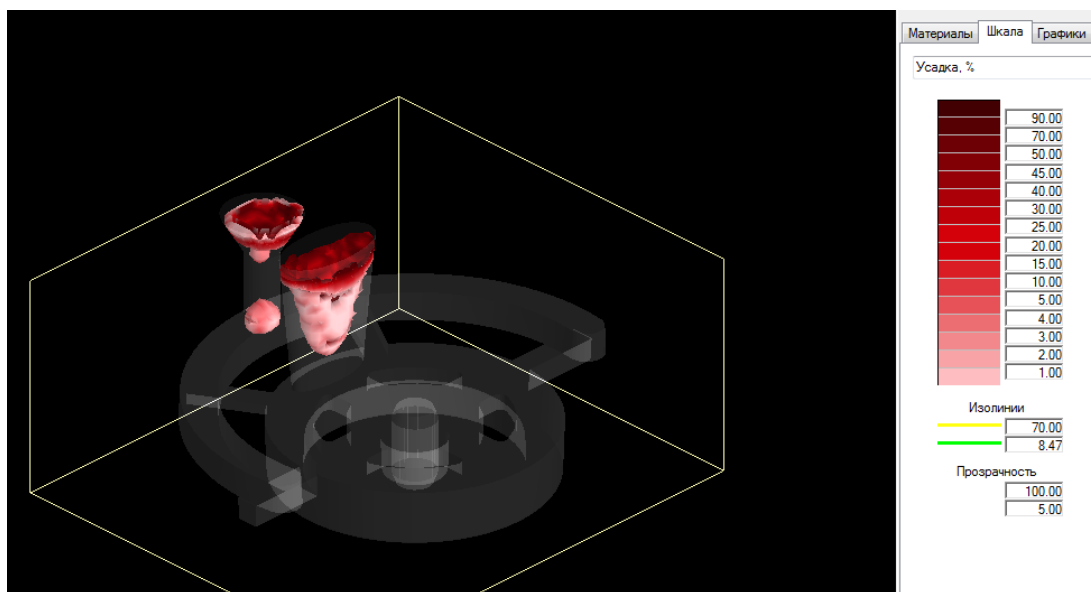


Рисунок 3 – Результат моделирования усадочных процессов

На первом этапе исследования были рассмотрены различные варианты расположения прибылей. Однако проведенное компьютерное моделирование позволило выявить наличие дефектов усадочного происхождения непосредственно в отливках (рис. 1).

Дальнейшее рассмотрение возможных вариантов расположения прибылей и проведение необходимых этапов компьютерного моделирования процессов заполнения формы расплавом и его затвердевания позволило скорректировать параметры литниково-питающей системы и разработать технологию получения отливки «шквив» без дефектов усадочного происхождения (рис 2). Результаты моделирования усадочных процессов представлены на рисунке 3.

Список литературы

1. Суслов, А.Г. Научные технологии в машиностроении [Текст] / А.Г. Суслов, Б.М. Базров, В.Ф. Безязычный и др.; под общ. ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, – 2012. – 528 с.
2. Марширов, В.В. Моделирование температурных полей при формировании биметаллических отливок [Текст] / В.В. Марширов, И.В. Марширов // Литейное производство. – 2015. – № 8. – С. 33–35.
3. Марширов, В.В. Численное on-line моделирование процесса затвердевания отливок [Текст] / В.В. Марширов, Л.Е. Марширова // Литейное производство. – 2015. – № 9. – С. 31–34.

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

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

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

Получение отливок в разовых формах из единых песчано-глинистых смесей (ЕПГС) является наиболее распространенным технологическим процессом и в обозримом будущем останется доминирующим. Для получения отливок в литейных цехах России ежегодно перерабатывается более 140 млн. тонн смесей, что требует значительного количества свежих материалов и энергетических затрат.

Для освежения смесей ежегодно используется около 20 млн. тонн кварцевого песка, 450 тыс. тонн молотого угля и 2 млн. тонн глинистого связующего.

Отсутствие обоснованных представлений о механизме формирования комплекса свойств ЕПГС создало условия нерационального выбора и зачастую неэффективного использования потенциальных возможностей исходных компонентов смеси и смесеприготовительного оборудования.

Установлено, что реальная ЕПГС является сложной многокомпонентной физико-механической системой, основной составляющей которой является оборотная смесь (90...98 %), прошедшая много производственных циклов, в результате чего состояние и свойства исходных компонентов претерпели существенные изменения, и оборотная смесь представляет собой новое качественное состояние формовочного материала.

Дезагрегация зерен крупных фракций, восстановление и развитие вяжущей способности адгезивной оборочки зерновой основы, вносимой оборотной смесью, является основной задачей процесса смесеприготовления ЕПГС по формированию комплекса свойств.

Для одновременного развития всех процессов механизма формирования свойств ЕПГС, связанных с образованием адгезивной оболочки и адгезивного субстрата, необходимо создание в слоях смеси деформации сдвига и пластичного течения, обеспечивающих фрикционное движение относительно друг друга частиц смеси в циклическом режиме "нагрузка - отдых". Происходящая при сдвиге аморфизация поверхностных слоев кварцевого песка и других силикатных частиц существенно ускоряет процессы их твердофазного и гетерофазного взаимодействия с другими веществами. Частицы глинистого связующего, располагаясь между зёрнами песка, и под их действием как рабочих тел подвергаются измельчению и механоактивации. Мелкие частицы из-за своей анизометричности и электрического заряда поверхности 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.

В состав ЕПГС в качестве специальных добавок входят углеродосодержащие материалы (УСМ). Традиционные УСМ (молотый уголь, нефтепродукты и т.п.) при гермодеструкции в слоях литейной формы образуют не только пироуглерод (8...12 %), но и побочные продукты: золу, сернистые соединения, кокс и широкий спектр углеводородов, которые конденсируются на поверхности частиц адгезивной оболочки.

Отложение продуктов термического разложения УСМ в смеси способствует не только агрегатированию частиц и зерен, но и накоплению в оборотной смеси экологически вредных углеводородов (бензола, толуола, ксилола, фенола, крезола и ряда полициклических ароматических соединений с высокой температурой плавления и кипения). Кроме того, продукты разложения УСМ, образуя гидрофобную пленку, экранируют силикатную поверхность частиц, в результате чего при повторном использовании не развиваются процессы регидратации, не восстанавливаются вяжущие свойства адгезивного субстрата и адгезивной оболочки.

В целях устранения негативного влияния традиционных УСМ выдвинута и реализована

концепция рецептурно-технологической оптимизации свойств ЕПГС добавками готового пироуглерода, получаемого за пределами литейной формы и вводимого в формовочную смесь непосредственно на стадии ее приготовления. Использование в составе ПГС антипригарной добавки с заранее известными и стабильными свойствами создает главное условие управления механизмом формирования свойств ЕПГС на стадии ее приготовления, то есть на стадии образования активной адгезивной оболочки и адгезивного субстрата.

ПТО ДЛЯ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ С ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Собачкина Л.Д. - аспирант, Бутыгин В.Б. - к.т.н., профессор, Логинова М.В. - к.т.н., с.н.с.
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Предварительная термическая обработка (ПТО) для быстрорежущих сталей с карбидным упрочнением различна в зависимости от целей, которые при этом ставятся [1, 2, 3, 4 и др.]. В частности: высокий отпуск, вместо отжига для снижения твёрдости; обработка перед холодной деформацией; обработка перед резанием для повышения чистоты обрабатываемой поверхности, снятия напряжений, создаваемых резанием и т. д. Нами ставилась задача исследовать влияние ПТО на механические свойства быстрорежущих сталей с интерметаллидным упрочнением. Для исследования была взята сталь ВЗМ12К23 [5].

Исследуемые образцы термообрабатывались по разработанному и стандартному режиму. Предварительная термообработка производилась путем закалки с температуры 850°C и отпуска в течение 1 часа при 560°C. После чего производилась закалка по стандартному режиму ВЗМ12К23 ($T_z=1200-1240^\circ\text{C}$, $T_{\text{отп}}=590-600^\circ\text{C}$, 2 часа).

Далее следовал комплекс механических испытаний. Измерение твёрдости производили по методу Роквелла алмазным конусом при нагрузке 1,47 кН. Испытания на ударный изгиб проводились по ГОСТ 9454-78, используя копер марки ПСВО-30, с максимальной нагрузкой удара 150,0 Дж на образцах 10×10×55 мм с концентратором напряжения U (тип 1 ГОСТ 9454-78). Температура испытания комнатная. Для определения действительного размера зерна производили травление. Для рассмотрения использовали оптический микроскоп МИМ-7. Износостойкость определяли в условиях сухого трения на машине трения СМЦ-2 по схеме "диск-колодка".

Представленные металлографические исследования шлифов окончательной закалочной структуры (рис.1, а) свидетельствуют о наличии зерна балла 10 - 11, что говорит о достаточно хорошем наличии мелкозернистых структур после закалки 850°C, отпуска 560°C и закалки 1210°C, отпуска 600°C (рис.1, б). Это является показателем эффективности данного вида термической обработки.

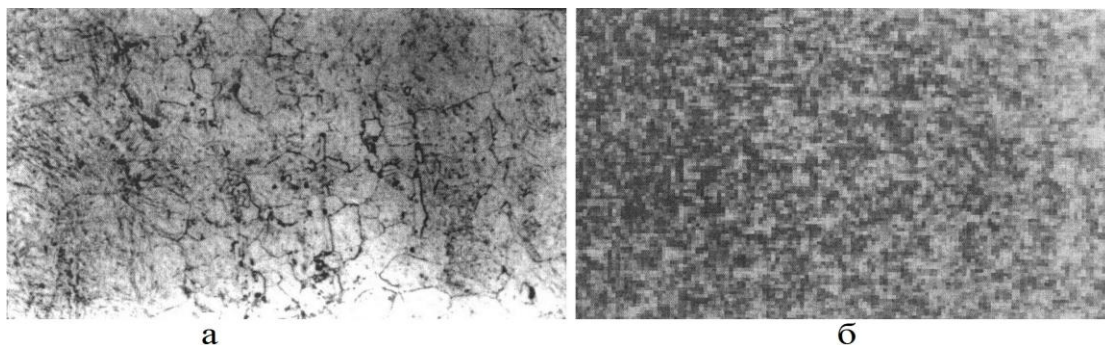


Рисунок1 - Микроструктура стали ВЗМ12К23 на различных этапах ТО, с использованием ПТО (а - закалка 850°C, отпуск 560°C (1 час), закалка 1210°C), (б - закалка 850°C, отпуск 560°C (1 час), закалка 1210°C, отпуск 600°C)

После проведения комплекса механических испытаний, с учётом данных металлографических исследований, а также испытаний на трение, осуществлялся выбор режима ТО, обеспечивающего наиболее высокие показатели твёрдости и ударной вязкости (Табл.1)

Таблица1 - Твёрдость и вязкость стали ВЗМ12К23 после различных режимов ТО

1	Вид режима ТО	Твёрдость, HRC	Ударная вязкость, кДж/м ²
2	Стандартный	67	98 - 117,6
3	С ПТО	69	117,6 - 147

Приведённые данные испытаний на машине трения СМЦ-2 говорят об увеличении износостойкости стали ВЗМ12К23, термообработанной с ПТО в 1,2-1,5 раза (рис. 2), что обеспечивает повышение износостойкости инструмента в 1,3-1,35 раза.

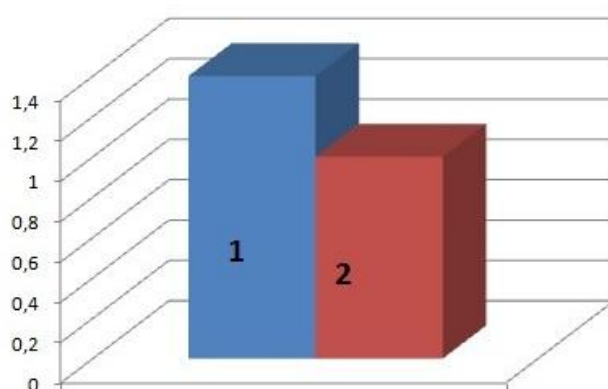


Рисунок2 - Сравнительный анализ после цикла испытаний при нагрузке 490 Н образцов из стали ВЗМ12К23 (1 - без ПТО) (2 - с ПТО)

Улучшение механических свойств стали ВЗМ12К23 объясняется тем, что с использованием ПТО происходит реализация магнитострикционного эффекта, обуславливающего перекрытие микродефектов и обеспечивающего большую ударную вязкость структурам отпуса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. - М.: Металлургия, 1975. – 584 с.
2. Демидов А.С. Повышение эксплуатационных характеристик сборных протяжек совершенствованием конструкции и технологии изготовления: Автореф... дис. канд. техн. наук. — Рубцовск : РИО Рубцовского индустриального института, 2003. — 23 с.
3. А. с.1211310 СССР. Способ термической обработки изделий из быстрорежущей стали / Г.А. Околович, В.Б. Бутыгин, С.В. Радченко, И.М. Криулин, В.М. Головачев // Бюл. — 1986. — № 6. — С. 127.
4. Арутюнян С.Б. Исследование влияния предварительной термической обработки на структуру и свойства инструментальных сталей: Автореф... дис. канд. техн. наук. — Москва : ПМП ВНИЭСХ, 1972. — 28 с.
5. Бутыгин В.Б. Исследование инструментальных сталей и сплавов высокой теплостойкости с интерметаллидным упрочнением: Автореф... дис. канд. техн. наук. — Москва : ХЭЗУ Миннефтепрома, 1975. — 26 с.

ИЗМЕРЕНИЯ ИНДУКЦИИ В РАБОЧЕМ ОБЪЕМЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПЕЧИ ЭМУ-5,7-60М МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА-ВОЛЬТМЕТРА

Баяндин Е. С., Зиновьев А. С. – студенты, Левшин Г. Е. – д.т.н., проф.

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

Электромагнитные печи с горизонтальным магнитным потоком, создаваемым изогнутым магнитопроводом U-, O- или C-образной формы, предложены в 2013 г. Такой магнитопровод позволяет увеличить значение рабочей индукции B_e между его полюсами в рабочем объеме печи [1 – 3]. Эти печи имеют ряд преимуществ по сравнению с известными индукционными индукторными печами, создающими вертикальный магнитный поток [4 – 6]. Однако сведения о величине рабочей индукции B_e в доступной литературе не обнаружены. Поэтому измеряли ее в рабочем объеме печи ЭМУ-5,7-60М индукционным методом амперметра-вольтметра, имеющим погрешность до 5 – 8 % [7]. Метод достаточно прост и дешев в осуществлении, т. к. не требует дорогих и дефицитных приборов, а измерительная катушка выдерживает повышенную температуру и механические воздействия (в отличие от датчика Холла милитесламетром Ш1-15У).

Для этого изготовили новую переносную ИК2 из $w=60$ витков провода ПЭВ медного эмалированного $\varnothing 1,2$ мм. Они намотаны на электроизолированный двумя слоями ватмана деревянный брусок. Размеры ИК2 $310 \times 90 \times 55$ мм, а измерительная площадь сечения $S_{\text{ЭК}} = 0,31 \times 0,09 = 0,028$ м². Сначала ее укладывали посередине между полюсами на текстолитовой подставке (уровень $h=0$ мм), закрывающей силовую электрическую катушку U-печи (рис. 1, а, б). Ее центр при этом находился на уровне $h=45$ мм. Затем под ИК2 укладывали поочередно деревянные пластины толщиной 20 и 8 мм и проводили измерения при напряжении в сети $U_{\text{сети}} = 390 - 400$ В по мультиметру мод. DT-838 и частоте $f=50$ Гц (без применения конденсаторной батареи). При этом ее низ постепенно подняли на высоту 128 мм, а центр – на 173 мм (рис. 1, а). Потом уложили ИК2 на левый полюс параллельно первой ИК1 (рис. 1, в). Измерения $U_{\text{ИК2}}$ проводили тестером ТЛ-4М (на диапазоне 100 В) при $I_{\text{ЭК}} = 145 - 150$ А, который измеряли амперметром прямого включения мод. Э30 (150 А).



Рис. 1. Схемы и фото расположения измерительной катушки ИК2: а, б – между полюсами печи и выше полюсов; в – на левом полюсе; 1 – ИК2, 2 – ИК1, 3 – полюс магнитопровода

При подъеме ИК2 ЭДС $U_{\text{ИК2}}$ сначала практически не изменялась (h до 40 мм), а затем убывает до 30 В. При расположении ИК2 на полюсе $U_{\text{ИК2}} \approx 26$ В. Измерения повторили, убирая пластины сверху вниз. Результаты помещены в табл. 1 и отражены графиками на рис. 2 и 3. Они показывают постепенное

уменьшение индуцированной ЭДС при подъеме низа ИК2 на 128 мм (до верха полюса), а ее центра на 173 мм (выше верха полюса) с 67 до 30 В (в 2,2 раза).

Таблица 1

№ п/п	Высота h расположения ИК2 над уровнем 0, мм		U _{ик2} , В	B _{ег} , Тл		I _{эк} , А
	низ ИК2	центр ИК2		ИК2	пересчет	
1	0	45	65/66	0,194	0,112	145
2	8	53	66/66	0,196	0,113	148
3	20	65	66/66	0,196	0,113	148
4	28	73	65/66	0,194	0,112	148
5	40	85	65/65	0,193	0,111	149
6	48	93	63/63	0,187	0,108	149
7	60	105	60/61	0,180	0,104	149
8	68	113	57/58	0,171	0,099	149
9	80	123	54/54	0,160	0,092	149
10	88	133	49/50	0,147	0,085	149
11	100	145	45/44	0,132	0,076	149
12	108	153	40/40	0,119	0,069	149
13	120	165	35/35	0,104	0,060	149
14	128	173	30/30	0,089	0,052	149
15	На левом полюсе		26/26	0,077	0,045	150
16	сверху		25,5/25,5	0,075	0,043	150

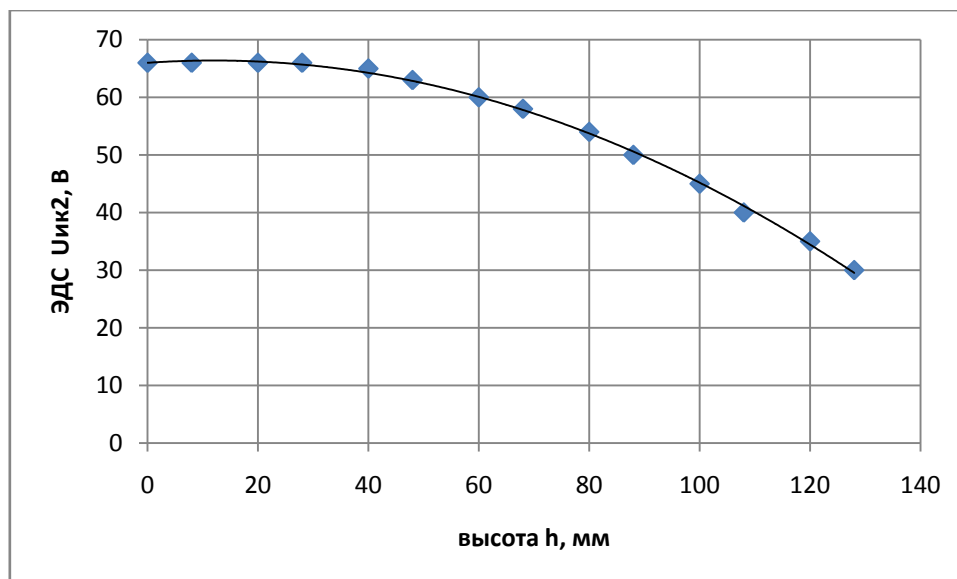


Рис. 2. Зависимость ЭДС ИК2 от высоты подъема низа ИК2 в рабочем объеме печи

Уравнение аппроксимации графика $U_{ик2} = - 0,0027h^2 + 0,0663h + 66$ с достоверностью $R^2 = 0,9985$

Сначала посчитали горизонтальную составляющую вектора индукции $B_{ег}$ рабочем объеме печи по формуле [7].

$$B_{ег} = \frac{U_{ик2}}{K_c \omega \cdot S_{эк} \cdot f} = \frac{U_{ик2}}{4 \cdot 50 \cdot 60 \cdot S_{эк}} = \frac{66}{12000 \cdot 0,028} = \frac{66}{336} = 0,194 \text{ Тл и т. д. } B_{ег} = \frac{30}{336} = 0,089 \text{ Тл.}$$

Здесь $K_c=4$ - коэффициент, характеризующий форму синусоиды ЭДС.

Результаты расчета величины индукции $B_{ег}$ поместили в табл. 1.

Однако по косвенным признакам и дополнительным измерениям милитесламетром Ш1-15У ее величина заметно завышена. Для устранения этого завышения и создания идентичности

измерений с Ш1-15У предложена измененная (адаптированная) путем введения эмпирического коэффициента 1,75 формула для расчета индукции $B_{ег}$

$$B_{ег} = U_{ик2} / (1,75 \cdot f \cdot K_c \cdot S_{эк}).$$

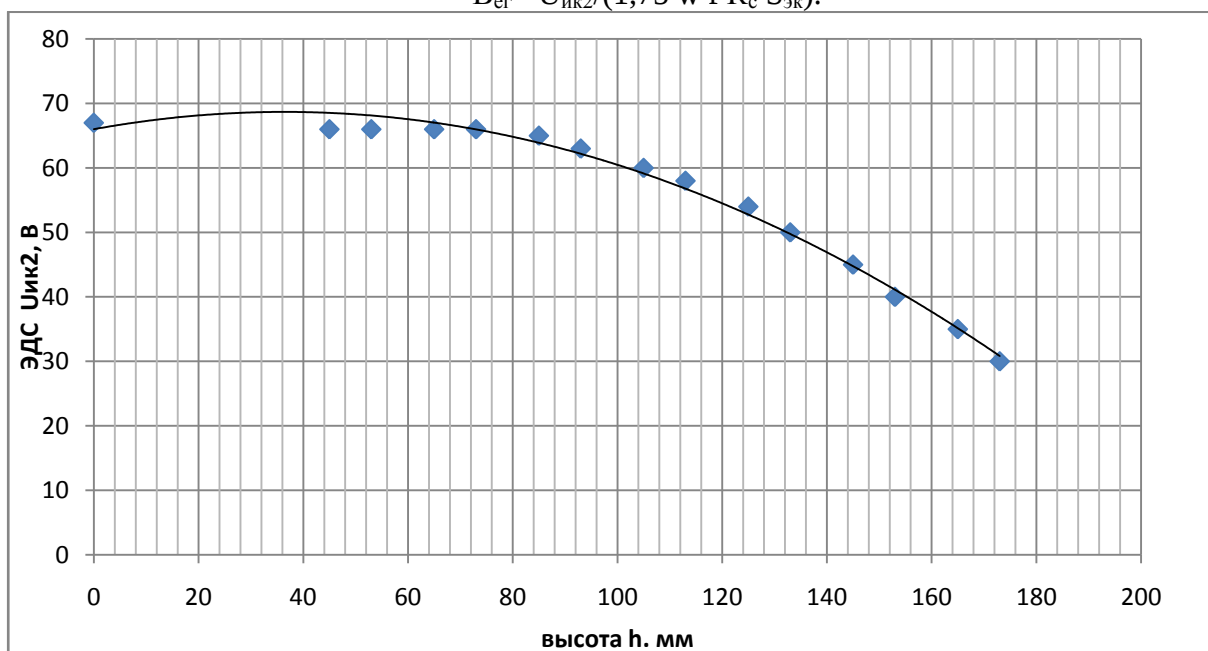


Рис. 3. Зависимость ЭДС ИК2 от высоты h подъема центра ИК2 в рабочем объеме

Уравнение аппроксимации графика $U_{ик2} = -0,002h^2 + 0,1476h + 66$ с достоверностью $R^2 = 0,9906$.

Результаты пересчета величины индукции $B_{ег}$ поместили в табл. 1.

Анализ полученных данных показывает.

1. Измерение ЭДС $U_{ик2}$ методом амперметра-вольтметра с помощью измерительной катушки ИК2 позволяет оценить величину горизонтальной составляющей вектора индукции $B_{ег}$ между полюсами магнитопровода путем расчета по предложенной (адаптированной) формуле.

2. Метод амперметра-вольтметра можно рекомендовать для оценки индукции $B_{ег}$ как рабочего параметра индукционных печей.

Список литературы

1. Пат. 2539490 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с U-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком / Левшин Г. Е., Попов Н. А. Патентообладатель АлтГТУ. – заявл. 12.03.2013; опубл. 20.01.2015.
2. Пат. 2536311 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная тигельная плавильная печь с C-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком / Левшин Г. Е., Сергеев С. Ю. Патентообладатель АлтГТУ. – заявл. 12.03.2013; опубл. 20.12.2014.
3. Пат. 2539237 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная тигельная плавильная печь с горизонтальным магнитопроводом и магнитным потоком / Левшин Г. Е., Вагайцев О. П. Патентообладатель АлтГТУ. – заявл. 12.03.2013; опубл. 20.12.2014.
4. Левшин, Г. Е.. Развитие индукционной тигельной плавки в печах промышленной частоты. / Г.Е. Левшин, Д.С. Кульдяйкин, А.В. Левагин Актуальные проблемы в машиностроении. Матер. 1 международн. научно-практич. конф. – Новосибирск, 2014. – С. 33-32.
5. Левшин, Г. Е. [Исследование электромагнитной индукционной печи](#) с U-образным магнитопроводом / Г.Е. Левшин Актуальные проблемы в машиностроении. - 2015. [№ 2](#). - С. 263 – 269.
6. Левшин, Г. Е. Сравнение индукционных печей с вертикальным и горизонтальным электромагнитным потоком / [Металлургия машиностроения](#)». - 2015. [№ 5](#). - С. 2 – 6.
7. Кифер, И. И. Испытания ферромагнитных материалов. – М.: Энергия, 1969. – 360 с.

ИЗМЕРЕНИЯ ИНДУКЦИИ В МАГНИТОПРОВОДЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПЕЧИ ЭМУ-5,7-60М МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА-ВОЛЬТМЕТРА

Баяндин Е. С., Зиновьев А. С. – студенты, Левшин Г. Е. – д.т.н., проф.

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

В 2013 г. предложены электромагнитные печи с горизонтальным магнитным потоком, создаваемым изогнутым магнитопроводом U-, O- или C-образной формы, который позволяет увеличить значение рабочей индукции в тигле печи [1 – 3]. Эти печи имеют ряд преимуществ по сравнению с известными индукционными индукторными печами, создающими вертикальный магнитный поток [4 – 6]. Одним из основных рабочих параметров электромагнитной печи является индукция B_i переменного магнитного поля частотой $f=50$ Гц в ее магнитопроводе, создаваемого электрической катушкой (ЭК). Однако сведения о ее величине в доступной литературе не обнаружены. Поэтому измеряли ее в печи ЭМУ-5,7-60М индукционным методом амперметра-вольтметра, имеющим погрешность до 5 – 8 % [7].

Для этого изолировали левый вертикальный магнитопровод печи одним слоем ватмана высотой 125 мм и толщиной 0,2 мм и по углам дополнительно скотчем толщиной 0,05 мм. Поверх изоляции намотали измерительную катушку ИК1 из $w=60$ витков в один слой медного провода марки ПЭВ-2 в эмалевой изоляции (рис. 1). Ее площадь поперечного сечения $S_{ЭК} = 0,02945$ м². Выводы катушки закрепили скотчем к изоляционному слою. Число витков измерительной катушки (ИК1) выбрали равным числу витков силовой катушки печи.

Печь подсоединили к автотрансформатору РНО-250-10 через амперметр прямого включения мод. Э30 со шкалой 0 – 150 А (кл. точности 1,5). Напряжение нагрузки измеряли электронным мультиметром мод. DT-838 непосредственно на клеммах автотрансформатора.

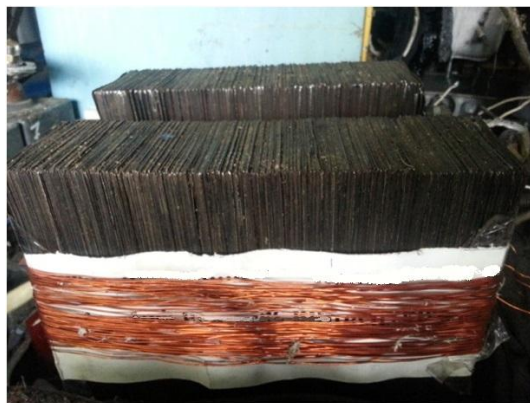
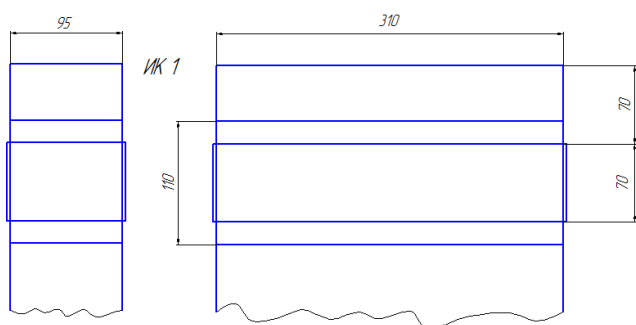


Рис. 1. Схема и фото измерительной катушки ИК1

К выводам ИК1 присоединили зажимами АВОметр мод. ТЛ-4М для измерения индуцированного в ее витках напряжения. Медленным поворотом ручки автотрансформатора добивались показаний индуцированного напряжения $U_{ИК1} = 1, 2, 3$ В и т. д. на одном из диапазонов ТЛ-4М. При этом фиксировали показания амперметра Э30 и мультиметра. При достижении напряжения 250 В печь переключили непосредственно к промышленной сети 380 В.

По полученным данным вычислили вертикальную составляющую индукции B_{iv} в левом полюсе магнитопровода по формуле [7]

$$B_{iv} = \frac{U_{ИК1}}{w \cdot S_{ЭК} \cdot K_c \cdot f} = \frac{U_{ИК1}}{450 \cdot 60 \cdot S_{ЭК}} = \frac{0,6}{12000 \cdot 0,02945} = \frac{0,6}{353,4} = 0,001697 \text{ Тл и т. д.}$$

Здесь $K_c=4$ - коэффициент, характеризующий форму синусоиды ЭДС.

Однако по косвенным признакам и дополнительным измерениям милитесламетром Ш1-15У выяснилось, что ее величина заметно завышена. Для устранения этого завышения и создания идентичности измерений с Ш1-15У предложена измененная (адаптированная) путем введения эмпирического коэффициента 1,75 формула для расчета индукции B_i

$$B_i = U_{ИК2} / (1,75 \cdot w \cdot f \cdot K_c \cdot S_{ЭК}).$$

Вычислили также напряженность $H_{\text{ЭК}}$ и индукцию $B_{\text{ЭК}}$ МП в воздухе центра силовой ЭК: $H_{\text{ЭК}} = I_{\text{ЭК}} w_{\text{ЭК}} / h_{\text{ЭК}} = 0,5 \times 60 / 0,08 = 375 \text{ А/м}$ и т. д. $B_{\text{ЭК}} = \mu_0 H_{\text{ЭК}} = 1,256 \times 10^{-6} \times 375 = 0,000471 \text{ Тл}$ и т. д. Это позволило установить графическую зависимость $B_{\text{IV}} = f(H_{\text{ЭК}})$, размещенную на рис. 2.

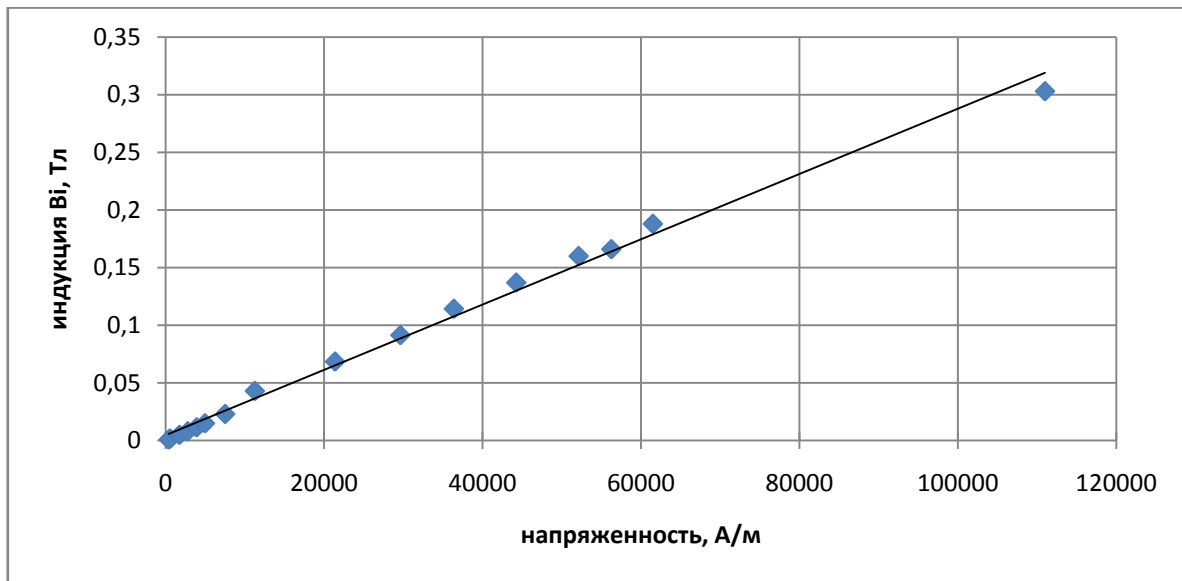


Рис. 2. Зависимость вертикальной составляющей вектора индукции B_{IV} в магнитопроводе от напряженности $H_{\text{ЭК}}$ поля в силовой катушке

График аппроксимировали уравнением: $B = 3E-06H$ с достоверностью $R^2 = 0,9925$. Кроме того, оценили величину относительной магнитной проницаемости $\mu_t = B_{\text{IV}} / B_{\text{ЭК}}$ магнитопровода (тела) U-образной конфигурации по формуле $\mu_t = B_{\text{IV}} / B_{\text{ЭК}} = 0,0016 / 0,000706 = 2,27$ и т. д. Она достигает максимального значения $\mu_t \approx 3,01$ при $H_{\text{ЭК}} \approx 11250 \text{ А/м}$.

Анализ полученных данных показывает.

1. При увеличении электрического напряжения $U_{\text{ЭК}}$ до 380 (400) В ток $I_{\text{ЭК}}$ в силовой ЭК возрастает до 148 А, повышая напряженность $H_{\text{ЭК}}$ и индукцию $B_{\text{ЭК}}$ МП, создаваемого ЭК в воздухе, до 111000 А/м и 0,14 Тл, соответственно. Это приводит к практически прямо пропорциональному увеличению индуцированной измерительной катушкой ИК1 ЭДС $U_{\text{ИК1}}$ до 186 В и, соответственно, индукции B_{IV} в магнитопроводе левого полюса до 0,303 Тл (график $B_{\text{IV}} = f(H_{\text{ЭК}})$ на рис. 2). В теории магнитных цепей и измерений этот график представляет кривую намагничивания тела U-образной формы [7]. Величина индукции $B_{\text{IV}} = 0,303 \text{ Тл}$ значительно меньше индукции насыщения трансформаторной стали ($B_{\text{и}} = 2,1 - 2,2 \text{ Тл}$). Это свидетельствует о том, что при дальнейшем увеличении электрического напряжения $U_{\text{ЭК}}$ можно ~ 7 раз повысить ток $I_{\text{ЭК}}$ (до $\sim 1036 \text{ А}$) и, следовательно, напряженность $H_{\text{ЭК}}$ (до $\sim 777000 \text{ А/м}$) и индукцию $B_{\text{ЭК}}$ (до $\sim 0,96 \text{ Тл}$) МП. В результате эквивалентно возрастет эффективность нагрева шихты и расплава.

2. При одинаковом числе витков ($w_{\text{ЭК}} = w_{\text{ИК1}} = 60$ шт.) силовой и измерительной катушек и их отношении, равном 1, напряжение $U_{\text{ИК1}} = 186 \text{ В}$ меньше силового $U_{\text{ЭК}} = 380 \text{ В}$ в 2,04 раза (или $U_{\text{ИК1}} = 0,489 U_{\text{ЭК}}$). Это объясняется тем, что магнитопровод и воздушный зазор $l_{\text{раб}} = 90 \text{ мм}$ между полюсами магнитопровода «рассеяли» $[(380 - 186) : 380] 100 \% = 51 \%$ напряжения (вместо ~ 0). При отсутствии этого зазора (в замкнутой магнитной цепи) эти напряжения должны быть равны, как это наблюдается в однофазном трансформаторе, когда коэффициент трансформации $K_{\text{тр}} = 1$. В нашем случае $K_{\text{тр}} = 2,04$, а степень рассеяния 51 %. Следовательно, магнитопровод полезно поглотил только 49 % напряжения (или энергии). Тогда степень полезного поглощения 0,49. По мере накопления опытных данных возможно появление дополнительных доводов в пользу отношения $w_{\text{ЭК}} / w_{\text{ИК1}} = 1$.

3. В незамкнутой магнитной цепи, имеющей воздушный зазор, появляется коэффициент размагничивания N_p , характеризующий влияние зазора на намагниченность J и внутреннюю

индукцию B_i в материале магнитопровода по сравнению с замкнутой цепью (без зазора), для которой $N_p=0$. В нашем случае коэффициент размагничивания $N_p>0<1$.

4. Отношение внутренней индукции B_i в материале магнитопровода к напряженности $H_{эк}$ МП, создаваемого ЭК, позволяет оценить величину относительной магнитной проницаемости $\mu_t=B_i/H_{эк}$ тела U-образной формы. Зависимость $\mu_t=f(H_{эк})$ является типичной с характерным максимумом при $H_{эк}\approx 11250$ А/м, равном 3,05.

5. Величина относительной магнитной проницаемости μ_t тела U-образной формы меньше относительной магнитной проницаемости μ_i материала магнитопровода и может быть оценена из формулы $\mu_t=\mu_i/[1+N_p(\mu_i-1)]$, где имеется два неизвестных числа μ_i и N_p [7]. Для их нахождения применили метод итераций (последовательных приближений), который привел к величинам $N_p=0,165$, $\mu_t=3,01$ и $\mu_i=5$. Такая величина μ_t только в $5/3,01=1,666$ раза меньше $\mu_i=5$. Это дополнительно свидетельствует о малой намагниченности магнитопровода при 380 В.

6. Однако Кифер И. И. [7] отмечает: «Введение в расчеты коэффициента размагничивания N_p (аналогично измерению в постоянных магнитных полях) в случаях незамкнутой магнитной цепи лишено практического смысла из-за: 1) экранирующего действия вихревых токов (влияние полюсов на краях образца меньше, чем в постоянных полях); 2) несовпадения по фазе кривых напряженности магнитного поля и намагниченности нельзя говорить о пропорциональности размагничивающего поля и намагниченности. Поэтому все результаты измерений относятся только к данным материалу, форме и размерам магнитопровода (в т. ч. к толщине его пластин), пределам изменения напряженности поля и частоты».

7. Индукция $B_{эк}$ поля, создаваемого ЭК, более информативная и удобная величина по сравнению с напряженностью $H_{эк}$, т. к. ее необходимо сопоставлять с измеренной средней величиной индукции B_{iv} в материале магнитопровода. Отношение $B_{iv}/B_{эк}$ также дает оценку величины относительной магнитной проницаемости μ_t тела U-образной формы. Поэтому в дальнейшем целесообразно пользоваться индукцией $B_{эк}$.

8. Метод амперметра-вольтметра достаточно прост и дешев в осуществлении, т. к. не требует дорогих и дефицитных приборов, а измерительная катушка выдерживает повышенную температуру и механические воздействия (в отличие от датчика Холла милитесламетром Ш1-15У). Поэтому его можно рекомендовать для оценки индукции B_i как рабочего параметра индукционных печей при плавке.

Список литературы

1. Пат. 2539490 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная индукционная тигельная плавильная печь с U-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком / Левшин Г. Е., Попов Н. А. Патентообладатель АлтГТУ. – заявл. 12.03.2013; опубл. 20.01.2015.
2. Пат. 2536311 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная тигельная плавильная печь с S-образным магнитопроводом и горизонтальным магнитным потоком / Левшин Г. Е., Сергеев С. Ю. Патентообладатель АлтГТУ. – заявл. 12.03.2013; опубл. 20.12.2014.
3. Пат. РФ 2539237 РФ, МПК F27B14/06. Электромагнитная тигельная плавильная печь с горизонтальным магнитопроводом и магнитным потоком/ Левшин Г. Е., Вагайцев О. П. Патентообладатель АлтГТУ. – заявл. 12.03.2013; опубл. 20.12.2014.
4. Левшин Г. Е., Кульдяйкин Д. С., Левагин А. В. Развитие индукционной тигельной плавки в печах промышленной частоты. /Актуальные проблемы в машиностроении. Матер. 1 международн. научно-практич. конф. – Новосибирск, 2014. – С. 33-32.
5. Левшин Г. Е. [Исследование электромагнитной индукционной печи](#) с U-образным магнитопроводом /Актуальные проблемы в машиностроении. 2015. [№ 2](#). С. 263 – 269.
6. Левшин Г. Е. Сравнение индукционных печей с вертикальным и горизонтальным электромагнитным потоком /[Металлургия машиностроения](#)». 2015. [№ 5](#). С. 2 – 6.
7. Кифер И. И. Испытания ферромагнитных материалов. – М.: Энергия, 1969. – 360 с.