

Р. А. Афзалов, Н. Н. Сафронов, Р. И. Ахметсагиров,
Л. Н. Дрогайлова

РЕЦИКЛИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ОТХОДОВ МАШИНОСТРОЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТЫХ ШТАМПОВ

Ключевые слова: штампы, кованные кубики, электротермический плавильный агрегат, термопара, индукционный сталеплавильная печь, формовочная смесь, модификатор-ферроцерий, термообработка, отжиг, дисперсный отход.

Результаты проведенных исследований структуры и свойств материала вставок, отлитых из расплава, приготовленного по альтернативному варианту из дисперсных отходов машиностроения, свидетельствуют о лучшем их качестве по сравнению с базовым вариантом приготовления расплава. Это обусловлено особенностями исходных материалов и благоприятными условиями синтеза штамповой стали в специализированном электротермическом плавильном агрегате, которые исключают наличие газовых и неметаллических включений в металле отливки.

Keywords: stamps, forged blocks, electrothermal melting unit, thermocouple, induction furnace, molding sand, modifier ferrocerium, heat treating, annealing, particulate waste.

The results of studies on the structure and properties of the material inserts, molded from the melt, prepared by an alternative embodiment of the dispersed waste engineering, show them the best as compared to the base case preparation melt. This is how the raw materials and favorable conditions of synthesis of die steel for specialized electrothermal melting aggregate, which exclude the presence of gas and non-metallic inclusions in metal casting.

Введение

Штампы горячего объёмного деформирования работают в тяжёлых условиях, обусловленных воздействием динамических и статических нагрузок при повышенных температурах инструмента 523-623 К. Температурный режим работы штампа играет важную роль и во многом определяет его долговечность. Поэтому перед началом работы штамп нагревают газовыми горелками с избыточным количеством газа для придания восстановительных свойств пламени. За температурой штампа в процессе его работы установлен строгий контроль, осуществляемый с помощью термопар поверхностного измерения. Особенно ответственным в отношении стойкости штампа является начальный период его работы, во время которого первые 100-200 поковок во избежание поломки штампа получают из заготовок, нагретых до температур, соответствующих верхнему пределу интервала.

Из двух альтернативных вариантов изготовления штампов, а именно: методом литья и из кованных кубиков в ОАО «КАМАЗ-металлургия» предпочтение отдают первому способу. Выводы по сравнительной характеристике штампованных и литых деталей приведены в работе [1].

Цель работы – получить расплав по альтернативному варианту изготовления штампов, а именно методом литья.

Методика проведения

Нами проведено исследование по сравнению свойств отливок вставки штампа для получения поковки - вилки карданного вала автомобиля «КАМАЗ». В процессе работы вставка деформирует заготовку из стали 45, нагретой в диапазоне 1423+973 К. Отливки вставки получали из расплавов, приготовленных по базовому

технологическому варианту ОАО «КАМАЗ-металлургия» и опытному из дисперсных отходов заводов ОАО «КАМАЗ» путём прямого синтеза в специализированном электротермическом плавильном агрегате [2]. Отливка вставки имеет массу 85 кг и изготавливается из стали 3Х5МФНСП. Она должна иметь малый припуск на зеркало и ручей - 0,3 мм. Раковины на ручье и зеркале не допускаются. Шероховатость поверхности, характеризующаяся показателем R_a , должна укладываться в пределах 6,3-3,2 мкм. Отливка отжигается с обеспечением твёрдости HB не выше 241.

Для обеспечения высоких требований, предъявляемых к стальной отливке из легированной стали по точности размеров и шероховатости поверхности, последний получается путём литья в разовые формы, изготовленные из высокоогнеупорных зернистых материалов с применением термореактивных синтетических связующих. В качестве наполнителя формовочной смеси используется цирконовый зернистый концентрат (КЦЗ-1 ОСТ48-82-74) с размером частиц 100+160 мкм округлой формы. По зерновому составу он соответствует группе 016 по ГОСТ2138-56 «Пески формовочные». Цирконовый концентрат обладает высокой термостойкостью, обусловленной повышенной температурой начала плавления (2121 К); низким линейным коэффициентом теплового расширения, который при температуре 1473 К равен $14 \cdot 10^{-6}$; отсутствием полиморфных превращений.

В качестве связующего, расход которого составляет 2,5-3,2 % (массовая доля) по отношению к наполнителю, используется термореактивная фенолформальдегидная смола СФП-О11Л ОСТ6-05-441-78 (пудрбакелит). В состав формовочной смеси входит также смачиватель в количестве 0,2 % (массовая доля) по отношению к наполнителю, который предназначен для уменьшения разделения

основных компонентов и пылеобразования. В качестве смачивателя используется керосин ГОСТ 18499-73.

Качество термореактивной формовочной смеси оценивается путём испытания образцов в отверждённом состоянии. Показатели качества должны укладываться в следующие пределы: предел прочности при изгибе - 55-85 кгс/см², газопроницаемость - 50-60 ед., газотворность 1 г смеси - 10 см³.

Приготовление расплава штамповой стали по базовому варианту осуществляют в индукционной сталеплавильной печи ИСТ-1/0,5 ёмкостью 1 т жидкого металла с кислой кварцевой футеровкой. Индуктор печи питается от преобразователя ОПЧ-500-1,0 мощностью 500 кВт переменным электрическим током с частотой 1090 Гц.

В процессе плавки следят за тем, чтобы не образовывались «мосты». После полного расплавления шихты снимают шлак и наводят новый из стекольного боя или сухого кварцевого песка. Доводят температуру расплава до 1843-1873 К и вводят феррованадий, ферромарганец и ферросилиций. После расплавления введённых материалов и усреднения состава жидкого металла по объёму (это происходит в течение 3-5 минут) сгущают шлак битым стеклом и тщательно его удаляют. Перед выпуском металла из печи берут пробу для экспресс-анализа химического состава стали. Получение данных указанного анализа служит основанием для принятия решения: либо скорректировать химический состав присадкой необходимых материалов, либо приступить к выпуску стали, предварительно доведя её температуру до 1873-1893 К. Выпуск стали осуществляется в разливочный ковш ёмкостью 0,5 т, предварительно подогретый до 1073-1173 К. Ковш футеруется смесью, состоящей из кварцевого песка 1К02, 2К02 (ГОСТ 2138-84), огнеупорной глины (ГОСТ 3226-77) и воды в следующем массовом соотношении 72:20:8. Перед выпуском на дно ковша подают алюминий для раскисления стали. После заполнения ковша металлом на 1/3 высоты вводят модификатор - ферроцерий.

Ковш, заполненный жидким металлом и удалённым с его зеркала шлаком, доставляется на участок заливки. Литейные формы заливают при температуре жидкой стали 1833-1853 К. В процессе заливки литниковая чаша должна быть полностью заполнена. Прерывание струи металла не допускается. После окончания заливки формы на прибыль насыпают экзотермическую смесь или древесный уголь. Далее проводят предварительную термообработку.

В работе проводился сравнительный анализ качества отливок вставки штампа для получения поковок вилки карданного вала. Отливки выполнялись из стали 3Х5МФНСП, расплав которой приготавливался по базовому варианту и альтернативному из дисперсных отходов машиностроения методом прямого синтеза в специализированном электротермическом

плавильном агрегате. В ОАО «КАМАЗ-металлургия» требования к химическому составу указанной марки стали следующие, % (массовая доля): С - 0,20-0,30; Мп - 0,80-1,00; Si - 0,80-1,00; Cr - 4,50-5,00; Мо - 1,20-1,50; V - 0,20-0,40; Ni - 1,10-1,20.

По базовому варианту расплав стали приготавливался из шихты, компоненты которой в завалке состояли из гранулированного никеля НЗ (2 кг), ферромolibдена ФМо55 (5 кг), феррохром ФХ65 (12 кг), возврат отработанных штампов (900 кг), стальная высечка 08КП (100 кг). После расплавления шихты снимали шлак и наводили новый из боя стекла. Доведя температуру металла до 1853 К, загрузили в ванну феррованадий ФВ40 (2 кг), ферромарганец ФМн78 (6 кг), ферросилиций ФС75 (3 кг). Спустя 5 минут после ввода добавок, отбирали пробу на химический состав металла при его температуре 1873 К. Результаты анализа показали следующие содержания элементов, % (массовая доля): С - 0,28; Мп - 0,97; Si - 0,90; Cr - 4,72; Мо - 1,35; V - 0,36; Ni - 1,08. Указанный состав жидкого металла удовлетворяет требованиям. Поэтому приступали к заключительным операциям, связанным с выпуском металла, то есть доводили температуру жидкого металла до 1923 К и выпускали в ковш ёмкостью 0,5 т, в который предварительно для раскисления было загружено 1 кг алюминия. По мере наполнения ковша на 1/3 его высоты вводили модификатор в виде ферроцерия МЦ40 в количестве 1,5 кг. Дальнейшие операции проводили в соответствии с принятой в ОАО «КАМАЗ-металлургия» технологией, описанной выше.

Из приготовленного по базовому варианту расплава стали отлили 7 вставок штампа для изготовления поковки вилки карданного вала. Одна из этих вставок была использована для исследования свойств металла.

Результаты

На рис. 1 представлена макроструктура отливки вставки штампа после предварительной термообработки. Она характеризуется наличием пористости и выраженным столбчато-дендритным строением.

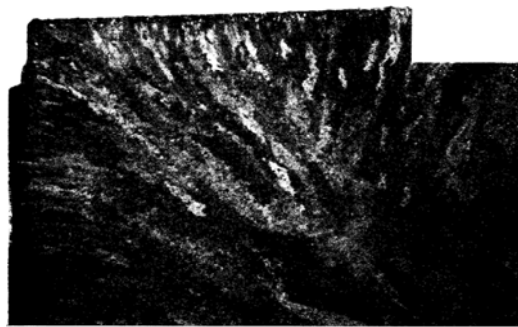


Рис. 1 - Макроструктура отливки вставки штампа для получения поковок вилки карданного вала (базовый вариант приготовления расплава)

На рис. 2 представлена микроструктура металла вставки после окончательной

термообработки. Она представлена бейнитом (троостомартенситом) с карбидной сеткой. На многих участках шлифа просматриваются неметаллические включения.

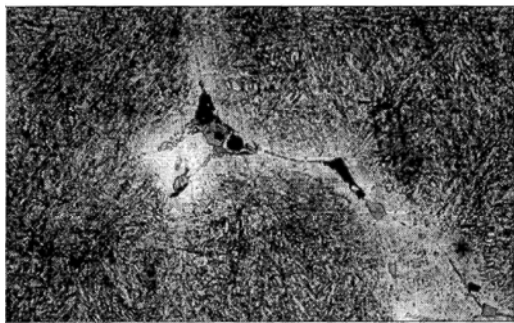


Рис. 2 - Микроструктура (X 200) металла вставки штампа для получения поковок вилки карданного вала (базовый вариант получения расплава)

Исследования механических свойств металла вставки показали следующие результаты: твёрдость HRC 46, ударная вязкость a_{K293} и a_{K573} 0,24 и 0,36 МДж/м² соответственно. 6 литых вставок были переданы в кузнечнопрессовое производство (КПП - 1) кузнечного завода, где были установлены на прессе для изготовления поковок вилки карданного вала автомобиля «КАМАЗ». Результаты работы показали, что среднее значение эксплуатационной стойкости этих 6 вставок штампа, оцениваемой по количеству изготовленных поковок вилки карданного вала, была равна 4189 поковок (4253, 4165, 4192, 4181, 4171, 4169, дисперсия воспроизводимости $S^2=1094$, доверительный интервал ± 33).

Для приготовления расплава стали по альтернативному варианту использовали гранульную композицию, состоящую из следующих дисперсных отходов заводов ОАО «КАМАЗ»: кузнечная окалина; бигхаузная пыль, дисперсный хром - продукт очистки технологической оснастки ванн электролитического хромирования поршневых колец; молибденовый шлам; отработанный катализатор КЗА-ЗА, используемый в установках для получения эндогаза, который состоит из шамотной основы и следующих оксидов: NiO (10-12 %), Fe_2O_3 (2 %), ZrO_2 (0,8 %), SO_3 (0,1 %).

Присутствие каждого перечисленного компонента в смеси между собой обусловлено поставкой того или иного элемента для синтеза расплава стали в специализированном электротермическом плавильном агрегате. Поставщиком основы стали (Fe) является кузнечная окалина и бигхаузная пыль. Остальные дисперсные отходы в порядке их упоминания выше являются соответствующими источниками следующих легирующих элементов: Cr, Mo, Ni.

Смесь дисперсных отходов для формирования гранульной композиции составлялась на основе кузнечной окалины и бигхаузной пыли в соотношении между собой 4:1. К их массе добавлялись хромовые отходы (3,7 %), мо-

либденовый шлам (1,5 %) и отработанный катализатор (10 %). Для упрочнения гранульных композиций, а также придания им необходимой основности добавлялась порошкообразная известь в количестве 16,5 % к массе смеси кузнечной окалины и бигхаузной пыли. После перемешивания указанных компонентов и увлажнения смеси (30 %) формовались гранулы, которые в процессе сушки упрочнялись. Далее они загружались в противоточный реактор специализированного электротермического плавильного агрегата.

Организация технологического процесса приготовления расплава стали из описанной выше гранульной композиции путём прямого синтеза была построена таким образом, что металлизация железа, никеля и молибдена осуществлялась в противоточном реакторе газовым восстановителем, в качестве которого использовался эндогаз в количестве $150 \frac{м^3}{мин}$.

Температура в противоточном реакторе поддерживалась на уровне 1173 К. Работа противоточного реактора позволяет выдавать гранульную композицию в плавильную ванну с остаточным относительным количеством связанного с металлизирруемыми элементами кислорода на уровне 0,05.

Организованный таким образом технологический процесс синтеза расплава штамповой стали привёл к производительности пилотной установки, равной порядка 55 кг/час. По мере накопления в плавильной ванне металлической фазы производился выпуск стали в разливочный ковш ёмкостью 150 кг, на дно которого были поданы 1,1 кг феррованадия, 0,3 кг алюминия в качестве раскислителя и 0,45 кг ферроцерия в качестве модификатора. Средний химический состав стали в пробах, взятых с каждого разливочного ковша; характеризовался следующими данными, % (массовая доля): C - 0,29; Mn - 0,88; Si 0,93; Cr - 4,65; Mo - 1,31; V - 0,27; Ni - 1,11. Далее производилась заливка литейных форм с соблюдением технологических параметров, принятых в базовом варианте. Количество жидкой стали в ковше было равно металлоёмкости литейной формы. Всего было получено 7 отливок вставки штампа. После термической и механической обработки одна из отливок была использована для исследования структуры и свойств металла, а остальные шесть были направлены в производство для получения поковок вилки карданного вала.

На рис. 3 приведена макроструктура отливки вставки штампа для получения поковок вилки карданного вала после предварительной термической обработки.

Данная макроструктура характеризуется плотным строением, отсутствием неметаллических фаз, междендритной пористости и дендритной направленности. На рис. 4 представлена микроструктура металла после окончательной термообработки вставки. Она представлена бейнитом (троостомартенситом) с мелкими включениями вторичных карбидов.

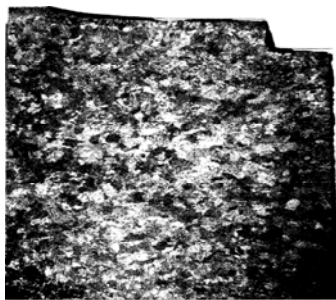


Рис. 3 - Макроструктура отливки вставки штампа для получения поковок вилки карданного вала (альтернативный вариант приготовления расплава)



Рис. 4 - Микроструктура (X500) металла вставки штампа для получения поковок вилки карданного вала (альтернативный вариант приготовления расплава)

Обсуждение результатов

Испытания механических свойств материала вставки после окончательной термической обработки показали, что твёрдость равна HRC 48, ударная вязкость a_{n293} и a_{n573} равны соответственно 0,38 и 0,61 МДж/м². Излом образцов на ударную вязкость имел мелкокристаллическое строение. Результаты проведенных исследований структуры и свойств материала вставок, отлитых из расплава, приготовленного по альтернативному варианту из дисперсных отходов машиностроения, свидетельствуют о лучшем их качестве по сравнению с базовым вариантом приготовления расплава. Это обусловлено особенностями исходных материалов и благоприятными условиями синтеза штамповой стали в специализированном электротермическом плавильном агрегате, которые исключают наличие газовых и неметаллических включений в металле отливки. Дисперсия воспроизводимости составила $S^2=1759$, доверительный интервал ± 42 . Полученная разница в эксплуатационной стойкости литых вставок штампа, изготовленных из расплавов разных вариантов приготовления, исследовалась на статистическую достоверность [3]. Прежде всего,

проверялась гипотеза о равенстве дисперсий. Для этого вычисляли критерий Фишера $F = S_1^2 / S_2^2 = 1759 / 1094 = 1,61$ ($S_1^2 > S_2^2$). По таблице критических точек распределения Фишера при $\kappa_1 = \kappa_2 = n - 1 = 5$ находим $F_{0,05} = 5,05$. Так как $1,61 < 5,05$ гипотеза о равенстве дисперсий принимается.

Далее проверим гипотезу о том, что эксплуатационная стойкость литой вставки штампа, изготовленная из расплава альтернативного варианта приготовления, выше, чем базового. Для этого вычислим критерий Стьюдента:

$$t = \frac{\bar{X}^{(1)} - \bar{X}^{(2)}}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{6756 - 4189}{38 \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}} = 116,47, \quad (1)$$

где

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{(6 - 1)1759 + (6 - 1)1094}{6 + 6 - 2} = 1427$$

- общая дисперсия.

По таблице критических точек распределения Стьюдента при $\kappa = n_1 + n_2 - 2 = 10$ найдём $t_{0,05} = 2,23$. Так как $t \gg t_{0,05}$, то проверяемая гипотеза верна.

Выводы

Таким образом, литые вставки штампа, полученные из расплава, приготовленного по альтернативному варианту в сравнении с базовым, имеют более высокую эксплуатационную стойкость (на 60%) в силу меньшей загрязнённости неметаллическими и газовыми включениями металла.

Литература

1. Бибиков А.М. Сравнение конструкционной прочности штампованных и литых деталей // Литейное производство. - 2009. - № 11. - С. 15 - 18.
2. Сафронов Н.Н., Воронин Е.М. Прямое синтезирование железоуглеродистых литейных сплавов // Литейное производство. - 1999. - № 6. - С. 19 - 20.
3. Колемаев В.А., Калинина В.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник / Под ред. В.А. Колемаева. - М.: ИНФРА - М, 1999. - 302 с.
4. Сорокин А.Г., Горбачевский Н.И., Мифтахова Л.Х. Методы моделирования электромагнитных и тепловых полей системы индукционного нагрева для технологических комплексов производства пластмассы // Вестник Казан. технол. ун-та, 2014, Т.17, №.1 - С.111-114.
5. Козловский В.Н., Горбачевский Н.И., Сорокин А.Г., Кислинский В.Б., Мифтахова Л.Х. Аналитический комплекс прогнозирования надежности электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой // Вестник Казан. технол. ун-та, 2014, Т.17, №3 - С.227-230.

© Р. А. Афзалов – асп. КНИТУ им.А.Н.Туполева, af-rus@mail.ru; Н. Н. Сафронов – д.т.н., проф. каф. «Электроэнергетики и электротехники» ФГАОУ ВПО КФУ г. Наб.Челны, Р. И. Ахметсагиров – начальник магистратуры, к.т.н., доц. той же кафедры, Л. Н. Дрогайлова – ст. препод. той же кафедры.

© R. A. Afzalov – undergraduate KNRTU (KAI), af-rus@mail.ru; N. N. Safronov - professor, KFU; R. I. Ahmetsagirov - the chief of the magistracy KF; L. N. Drogaylova senior Lecturer KFU.