



The technological scheme of the new tool steel 5XVMFS smelting by means of electroslag casting method with the use of different combinations of steel scrap of R6M5 and CH5 steels and dressing the chemical composition directly in the bowl and also filling into metal bowl is developed.

В. Н. ФЕДУЛОВ, БНТУ, И. О. САЗОНЕНКО, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74

СОСТАВ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ 5ХВМФС ПОВЫШЕННОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И СХЕМА ЕЕ ВЫПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРАЗДЕЛЕННОГО ЛОМА СТАЛЕЙ Р6М5 И 45

В зависимости от свойств обрабатываемого материала и температуры деформации к материалу штампового инструмента предъявляются следующие требования: жаропрочность, твердость, сопротивление истиранию и теплостойкость, а также сохранение высокой вязкости при разогреве, устойчивость структуры при циклически изменяющейся температуре, хорошая обрабатываемость и изотропия свойств [1, 2]. В зависимости от конструктивных особенностей и условий работы инструмента требуются различные сочетания свойств инструментальной стали: прочности (предела текучести), теплостойкости, вязкости, стойкости против разгара и др., уровень которых определяется прежде всего химическим составом металла, технологией его металлургического производства и режимами термической обработки. Резервы металлургической технологии для качества теплостойких штамповых сталей выявлены недостаточно полно. Например, применение литых заготовок электрошлакового переплава (ЭШП) характеризуется повышением свойств стали в 1,5–2,0 раза по сравнению со стандартными методами получения [3, 4].

Целью статьи является представление нового состава инструментальной стали 5ХВМФС повышенной износостойкости и разработка схемы ее выплавки методом электрошлакового литья (ЭШЛ) с использованием неразделенного лома сталей Р6М5 и 45.

Значительное количество лома, по данным РУП «Могилеввторчермет», имеется на складе в виде изношенного режущего инструмента типа концевых фрез, сверл и т. п., в котором в качестве режущей части используется сталь Р6М5, в качестве хвостовой части (державки) – сталь 45 (соотноше-

ния их в разных инструментах различно). В настоящее время нами был разработан новый состав стали повышенной износостойкости для штампов горячего формообразования: 5ХВМФС [5]. Химический состав стали следующий: углерод – 0,42–0,57 мас.%, марганец – 0,5–0,8, хром – 0,85–1,35, вольфрам – 0,95–1,38, молибден – 0,65–1,15, ванадий – 0,3–0,5, кремний – 1,2–2,0, железо – остальное. Считается, что содержащиеся в стали вольфрам, молибден, ванадий и хром влияют прежде всего на жаропрочность, сопротивление износу, определяющему в первую очередь степень потери формы инструментом, и устойчивость к отпуску. Содержание углерода повышает твердость материала и влияет на образование карбидов, снижающих износ инструмента истиранием. С повышением высокотемпературной твердости материала штампа сопротивление истиранию увеличивается. Кремний повышает невосприимчивость к горячему трещинообразованию [2, 6]. Выплавка заготовок для инструмента электрошлаковым литьем с заливкой в водоохлаждаемые металлические и другие формы (кристаллизаторы) имеет свои преимущества [6–9]. Во-первых, этот процесс, мало изменяя содержание газов в стали, уменьшает концентрацию серы и фосфора и способствует снижению карбидов и более равномерному их распределению из-за большой скорости охлаждения. Кроме того, за счет изменения условий охлаждения уменьшаются пористость и рыхлость стальной заготовки. Все это должно способствовать повышению пластичности и вязкости в состоянии высокой твердости, что приведет к дополнительному повышению стойкости инструмента. Во-вторых, используется в качестве электрода лом до-

рогостоящих легированных сталей. Введенные хром, молибден, вольфрам и ванадий при ЭШЛ практически не выгорают, поэтому дорогостоящий металлолом стали Р6М5 достаточно ввести один раз и затем постоянно использовать [4].

Методическая часть заключалась в том, что выплавка новой стали 5ХВМФС производилась электрошлаковым литьем с использованием неразделенного лома и заливкой в водоохлаждаемый кристаллизатор. После выплавки экспериментальных образцов производили их отжиг, механическую обработку, определяли химический состав, термическое упрочнение и исследовали механические свойства. Химический состав сталей определяли на спектрометре QSN-750 по известным методикам. Твердость определяли по ГОСТ 9013, а ударную вязкость – по ГОСТ 9454.

Технологический процесс плавления методом ЭШЛ должен включать в себя следующие операции.

1. Удаление окалины с лома посредством лубой механической операции.
2. Подбор состава лома для проведения плавления и его сварка в электрод.
3. Транспортировка электрода к установке 77.00a00.000 краном консольным.
4. Установка и закрепление электрода в электродержателе с обеспечением необходимого зазора между расходоуемым и подовым электродами.
5. Засыпка специального флюса в тигель.
6. Подготовка установки для работы и включение водяного охлаждения.
7. Производство старта плавки, поддерживая ток в пределах 1000А, до образования стабильной шлаковой ванны.
8. Переход на рабочий ток 3000–3200А.
9. Полное расплавление электрода с проведением запланированных периодических раскислений расплава силикокальцием и добавление недостающих компонентов во время плавки.
10. Подготовка кристаллизатора к заливке.
11. Проведение заливки расплава стали в кристаллизаторы.
12. Охлаждение отливки в кристаллизаторе в течение 15 мин и ее извлечение из кристаллизатора.
13. Проведение отжига отливок по известной технологии.
14. Проведение обточки литой заготовки до необходимого диаметра и разрезка заготовок в размер по длине.

Новым в процессе проведения плавки являлось использование в качестве электрода неразделенного лома сталей Р6М5 и 45 в виде концевых фрез с различным сочетанием в них упомянутых составляющих: от 15 до 20% содержание стали Р6М5, так-

же производилось доведение состава стали по основным компонентам легированием непосредственно в тигле во время проведения плавки в количествах, рассчитанных по составу шихты непосредственно перед проведением плавки.

Отработку технологического процесса ЭШЛ начали с выплавки стали 5ХВМФС, так как она имеет наиболее оптимальное сочетание в составе содержания всех компонентов и в то же время отличается высокой теплостойкостью [5]. Она может быть широко использована для изготовления штампов горячего формообразования стальных изделий и пресс-форм литья алюминиевых сплавов. Плавку такой стали первый раз проводили из лома концевых фрез, где содержание стали Р6М5 составляло 15%, а стали 45–85%. Химический состав стали Р6М5 следующий: углерод – 0,88 мас.%, кремний – 0,28, марганец – 0,18, хром – 4,38, вольфрам – 6,5, молибден – 5,0, ванадий – 2,1, железо – остальное. Лом стали 45 имел следующий химический состав: углерод – 0,45 мас.%, кремний – 0,33, марганец – 0,22 мас.%. Содержание серы и фосфора в составе лома: 0,03 и 0,04% для стали Р6М5 и 0,04 и 0,04% для стали 45. Из лома такого состава можно получить примерно следующий химический состав стали исходя из значений содержания элементов и производя арифметический подсчет: углерод – 0,51 мас.%, кремний – около 0,32, марганец – около 0,21, хром – 0,657, вольфрам – 0,978, молибден – 0,75, ванадий – 0,315, железо – остальное. Общая масса электрода должна составить 15 кг. Затем расплав доводили по содержанию хрома (до 0,95%), кремния (до 1,2%) и марганца (до 0,6%): в тигель добавляли феррохром ФХ010 (малоуглеродистый 65%-ный) в количестве 66 г в середине плавки, а также марганец металлический Мр00 (99,95%) в количестве 60 г перед завершением плавки. Раскисление расплава проводили силикокальцием СК20 два раза: в середине и при завершении плавки соответственно по 100 г. Для обогрева и защиты расплава применяли флюс АН-295. Заливку расплава производили в водоохлаждаемый кристаллизатор диаметром 85×400 мм (для изготовления опытных образцов) и диаметром 100×450 мм (для использования при изготовлении подходящего инструмента). Заготовки охлаждали, отжигали, обтачивали на токарном станке до диаметра 80 мм и разрезали на образцы длиной 52 мм. Режим отжига был установлен следующий: 760 °С, 1 ч, охлаждение с печью до температуры 450 °С, выдержка 1 ч, охлаждение на воздухе. Твердость этой стали после отжига составляла 26–29 HRC, что позволяло проводить необходимую механическую обработку заготовок для изготовления образцов.

Таким образом, были получены заготовки при выплавке инструментальной стали 5ХВМФС диаметром 80×52 мм в количестве 3 шт. с использованием метода электрошлакового плавления в тигель и последующей заливкой в кристаллизатор. Химический состав стали в образцах следующий: углерод – 0,51 мас.%; кремний – 1,3; марганец – 0,57; хром – 0,85; молибден – 0,69; вольфрам – 0,97; ванадий – 0,32; сера – 0,004; фосфор – 0,02 мас.%. Макроструктура образцов пригодна для проведения опытных цеховых испытаний. После закалки с температуры 950 °С в масле и отпуска при 560 °С в течение 1 ч твердость на поверхности (шлифование на глубину 2 мм) заготовки составила 53–54 HRC, после отпуска при 600 °С, 1 ч – 51–52 HRC, а ударная вязкость – 0,38–0,45 МДж/м². Повышение температур отпуска до 625 °С (в течение 1 ч) снизило твердость до 47–49 HRC, а до 650 °С – только до 43–43,5 HRC, что говорит о достаточно высокой теплостойкости этой стали.

Аналогичным образом также в количестве 3 шт. были получены образцы диаметром 95×52 мм другой плавки этой стали. Имелись отличия в проведении работ. В качестве электрода в данном способе использовали составной лом: 80% стали 45 и 20% стали Р6М5. Последующее легирование стали проводили в тигле до нужной концентрации дополнительно углеродом с 0,53% (исходное содержание в ломе) до 0,57 %, кремнием с 0,29 до 1,5% и марганцем с 0,2 до 1,5% (количество хрома было достаточным в ломе) по предварительному расчету. Разливка производилась в водоохлаждаемые кристаллизаторы соответственно диаметром 100×400 мм. Химический состав лома стали Р6М5 в данном случае: углерод – 0,85 мас.%, кремний – 0,26, марганец – 0,19, хром – 4,0, вольфрам – 6,15, молибден – 5,1, ванадий – 1,8, железо – остальное. Лом стали 45 имел следующий химический состав: углерод – 0,45 мас.%, кремний – 0,3, марганец – 0,2 мас.%. Содержание серы и фосфора в составе лома было аналогичным первому случаю: 0,03 и 0,04% для стали Р6М5 и 0,04 и 0,04% для стали 45. Выплавку такой стали осуществляли с целью возможности увеличения содержания углерода, вольфрама и молибдена и подтверждения правильности схемы выплавки. Для этого вводили в состав шихты среднеуглеродистый ферромарганец ФМн 1,0 в количестве 71 г. Как известно, в таком ферромарганце содержание углерода составляет около 1%: в пересчете на плавку – можно обеспечить повышение углерода на 0,047%. Увеличение содержания хрома, вольфрама и молибдена в составе стали обеспечивалось соответствующим увеличением количества лома стали Р6М5 с 15 до 20%.

При производстве раскисления стали силикокальцием увеличили его общую массу до 250 г, а процесс осуществляли, как и в первом случае, за два раза: каждый раз по 125 г в середине и в конце плавки.

Проведением второй плавки стали 5ХВМФС показывали возможность воспроизводимости результатов по содержанию элементов в стали, как и планировалось в расчетах шихты. Химический состав в данном случае следующий: углерод – 0,57 мас.%; кремний – 1,62; марганец – 0,55; хром – 0,91; молибден – 1,02; вольфрам – 1,23; ванадий – 0,34; сера – 0,003; фосфор – 0,026 мас.%. После закалки с температуры 950 °С в масле и отпуска при 560 °С в течение 1 ч твердость на поверхности (шлифование на глубину 2 мм) заготовки составила 54–55 HRC, после отпуска при 600 °С, 1 ч – 52–53 HRC, а ударная вязкость – 0,35–0,45 МДж/м². Повышение температур отпуска до 625 °С (в течение 1 ч) снизило твердость до 49–50 HRC, а до 650 °С – только до 43,5–45 HRC.

Опытные образцы стали 5ХВМФС, полученные методом ЭШЛ, прошли лабораторные испытания и в настоящее время проходят цеховые испытания на Минском заводе специального инструмента и технологической оснастки в качестве инструмента для формовки головок болтов под шестигранный ключ.

Выводы

1. Разработана технологическая схема выплавки новой инструментальной стали 5ХВМФС методом ЭШЛ с использованием различного сочетания стального лома сталей Р6М5 и 45 и доведением химического состава непосредственно в тигле, а также заливкой в металлический тигель.

2. Определены химические составы и установлены механические свойства двух плавок новой износостойкой инструментальной стали 5ХВМФС, выплавленных методом ЭШЛ с заливкой в металлический кристаллизатор.

3. Создание нужного состояния структуры для обеспечения высокого уровня механических свойств обеспечивается посредством сочетания химического состава стали, преимуществ литого состояния металла (метод ЭШЛ) и необходимого объемного упрочнения рабочих частей при термической обработке.

4. Результаты исследований могут быть использованы в инструментальных производствах предприятий Минпрома при изготовлении прессформ и штампов горячего формообразования изделий из металлов.

Литература

1. Бельский Е. И., Томилин Р. И. Повышение стойкости штампов при объемной штамповке. Минск, 1962.
2. K o r t m a n W. Werkzeugstale und Werkzeuge fur das Stranqpressen von Rohren und Profilen aus NE-Vetallen// International Steel & Metalle Magazine. 1988. Vol. 26. N 11. S.1079–1086.
3. Т и ш а е в С. И. Влияние металлургических факторов на качество штамповых сталей для горячего деформирования // Сталь. 1985. № 7. С. 65–69.
4. Структура и свойства штампов, полученных из отходов сталей 5ХНМ и Р6М5 электрошлаковым переплавом/ Е. И. Тимченко, Л. М. Семенова, Ю. А. Березкин, И. Д. Зайцева // МиТОМ. 1987. № 5. С. 44–47.
5. Заявка на изобретение № а 20120669 от 27.04.2012 г. Инструментальная сталь. Заявитель БНТУ / В. Н. Федулов, И. О. Сазоненко.
6. П о з н я к Л. А., С к р ы н ч е н к о Ю. М., Т и ш а е в С. И. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. С. 86–135.
7. Оптимизация режима термической обработки литого штампового инструмента из стали ДИ-32Л / С. С. Дьяченко, Л. С. Пикус, В. П. Тарабанова, А. И. Чернявский// Кузнечно-штамповое производство. 1986. № 3. С. 15–17.
8. К о р о с т ы л е в В. Ф., К у н и л о в с к и й В. В. Локальная химическая неоднородность структуры и стойкость литых штампов// Литейное производство. 1975. № 11. С. 31–33.
9. Х а з а н о в И. О., Ж и д о б и н В. Ф., Л о з и н с к и й Ю. М. Структура, свойства и термическая обработка литых штамповых сталей// Изв. вузов. Черная металлургия. 1969. № 12.