

УДК 621.74.047:669-147

А. Н. ЖИГАЛОВ, *д-р техн. наук, доц.*

В. А. ЛОГВИН, *канд. техн. наук, доц.*

А. Д. МЕШКОВ

И. О. САЗОНЕНКО

Институт технологии металлов НАН Беларуси (Могилев, Беларусь)

КАЧЕСТВО ОТЛИВКИ ИЗ СТАЛИ 45, ПОЛУЧАЕМОЙ ЗАЛИВКОЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ФОРМУ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ТИГЕЛЬНОГО ПЕРЕПЛАВА

Аннотация

Представлены результаты исследования микроструктуры и физико-механических свойств отливок, полученных электрошлаковым тигельным переплавом (ЭШТП) стали 45. Определения анизотропии свойств длинномерных плоских заготовок. Подготовка и исследования, проводимые на образцах, осуществлялись в соответствии с общепринятыми методиками.

Ключевые слова:

электрошлаковый тигельный переплав, микроструктура, свойства стали.

Исследования производили на темплетах, вырезанных из периферийной и центральной областей отливки, с целью обеспечения отечественного машиностроения отливками из сталей, обладающими равномерными свойствами по всему объему. Повышение конкурентоспособности отечественного металлургического производства при решении задачи импортозамещения возможно при использовании ЭШТП отходов машиностроительных производств на малотоннажных участках. Эффективность функционирования подобных участков в значительной степени зависит от обеспечения стабильности свойств литой стали в пределах всего объема отливки. Рыночная составляющая внешнего воздействия на производство подразумевает использование гибких технологических решений, позволяющих обеспечивать не только высокую производительность, но и соблюдение необходимого качества выпускаемых изделий. Высокое качество изготавливаемых изделий можно гарантировать при условии использования для изготовления деталей отливок и поковок, имеющих равномерные химический состав и физико-механические свойства по всему объему материала заготовки, а также при отсутствии неметаллических включений и дефектов структуры. Поэтому наиболее актуальными и востребованными становятся технологические решения, допускающие непрерывный контроль за ходом выполнения производственного процесса на стадии переплава исходного металлического лома и розлива расплава металла со шлаком в металлические формы.

Розлив расплава металла двухфазным потоком в металлические формы обеспечивает изготовление отливок высокой точности с минимальными дефектами наружной поверхности. Электрошлаковый процесс, протекающий при непрерывном контакте расплава металла со шлаком и огнеупорной футеровкой

плавильного оборудования, обеспечивает равномерность температуры и химического состава по всему объему. Совместная заливка в литейную металлическую форму жидкого металла со шлаком, сформированным при электрошлаковой плавке, обеспечивает максимальную защиту расплава металла от окружающей атмосферы [1–7].

Целью данной работы является определение эффективности использования ЭШТП для получения отливок из стали 45 с равномерными по всему объёму отливки химическим составом, микроструктурой, физико-механическими свойствами, а также минимальным количеством, размерами и формой неметаллических включений.

Задачами являются:

- исследование равномерности химического состава, микроструктуры, размеров, формы и равномерности распределения неметаллических включений по объёму отливки из стали 45, полученной ЭШТП;
- исследование физико-механических свойств стали 45, отлитой из ЭШТП в металлическую форму двухфазным потоком на образцах, полученных из разных участков отливки.

В ИТМ НАН Беларуси в рамках ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении» (подпрограмма «Металлургия»), проведен ряд экспериментальных и исследовательских работ по изучению химического состава, микроструктуры, и физико-механических свойств литой стали 45. В ходе проведения работ использовали установку для электрошлакового тигельного переплава. На данной установке были изготовлены плоские литые заготовки из стали 45 с габаритными размерами $565 \times 133 \pm 2$ мм и толщиной в диапазоне от 25 до 50 мм.

Для определения оптимальных режимов проведения процесса ЭШТП был выполнен ряд экспериментальных плавок. В качестве расходного электрода использовался прокат стали 45 диаметром 60 мм. При проведении процесса ЭШТП в качестве флюса использовалась смесь, состоящая из флюса АНФ 6 (83 %) и дробленого магнезитового кирпича (17 %). Общая масса комбинированного флюса на одну плавку составила 3,6 кг. Даная масса флюса обеспечивает формирование в плавильном пространстве шлаковой ванны высотой до 50 мм.

Начало процесса плавки осуществлялось по методике сухого старта. Для формирования расплава флюса к основному электроду приваривалась стартовая часть расходного электрода в виде стального проката диаметром 20 мм из стали 45. Масса стартовой части расходного электрода составляла 1,2 кг. Наведение расплава шлаковой ванны проводили на следующих режимах: первая ступень источника питания, напряжение $U = 36$ В, сила тока в цепи на начальном этапе формирования шлаковой ванны поддерживалась на уровне 600...800 А; на завершающем этапе формирования шлаковой ванны (после сплавления стартовой части и начала плавления основной части расходного электрода) значение силы тока доводилось до экспериментальных значений

2650 $\pm$ 50, 2100 $\pm$ 50 и 1550 $\pm$ 50 А, которые и поддерживались на протяжении всех основных этапов экспериментальных плавов.

По завершении процесса плавки на плавильную емкость устанавливали предварительно подогретую до 120 $\pm$ 5 °С металлическую форму и фиксировали ее положение относительно горловины плавильной камеры с помощью металлических клиньев. После фиксации металлической формы проводили ее заливку шлакометаллическим потоком, осуществляя плавный поворот плавильной емкости на 180° относительно горизонтальной оси. Длительность выдержки расплава металла в форме в нижнем положении составляла 15 мин. Этого времени достаточно для кристаллизации и остывания отливки до приемлемой для извлечения из формы температуры. После чего установку переводили в исходное положение, снимали с нее металлическую форму и извлекали отливку. Характерный вид отливки с остатками гарнисажа представлен на рис. 1.



Рис. 1. Фото отливки после извлечения из металлической формы

После каждой экспериментальной плавки проводилась общая визуальная оценка внешнего вида отливки, а также состояния футеровки плавильной емкости.

Для проведения исследований химического состава, микроструктуры, наличия и формы неметаллических включений по объёму отливки, а также физико-механических свойств из отливок вырезали поперечные темплеты. Схема изготовления темплетов представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема изготовления темплетов из объема отливки

Микроструктура образцов, форма и размеры неметаллических включений изучались на металлографическом микроскопе Leica dmi 8 с использованием программного обеспечения AXALIT. Исследование химического состава об-

разцов осуществлялось на спектрометре оптико-эмиссионном GNR SCP (Solaris CCD Plus).

Испытания механических свойств литой стали проводили на машине разрывной ИР 5143-200-11 (модификации 4143-200-10/5143-200-110). Образцы на растяжение изготавливали по ГОСТ 1497–84 (ИСО 6892–84, СТ СЭВ 471–88).

На рис. 3 представлена микроструктура фрагмента отливки из ее центральной области – из области теплового узла.



Рис. 3. Микроструктура центрального темплета, извлеченного из области отливки, прилегающей к стенке металлической формы (x50)

Структура данного фрагмента литой стали – перлит-феррит. Это область нижней части темплета, затвердевание жидкого металла в которой проходило непосредственно у стенки металлической формы. Наблюдаемая структура зерна – равноосная. Характерный размер зерна в данной области достигает до 1000 мкм. Размер структурных зон перлита находится на уровне 350 мкм. Соответственно размер зон феррита несколько меньше – на уровне 250 мкм.

Над зоной с равноосной структурой зерна располагается протяженная зона столбчатых кристаллитов, непосредственно доходящая до свободной поверхности отливки (рис. 4). Размеры столбчатых кристаллитов достигают значений 2500...3000 мкм.

При исследовании микроструктуры темплета, извлеченного из периферийной зоны отливки максимально удаленной от места поступления жидкого металла в литейную форму, при разливке наблюдается иной вид микроструктуры.

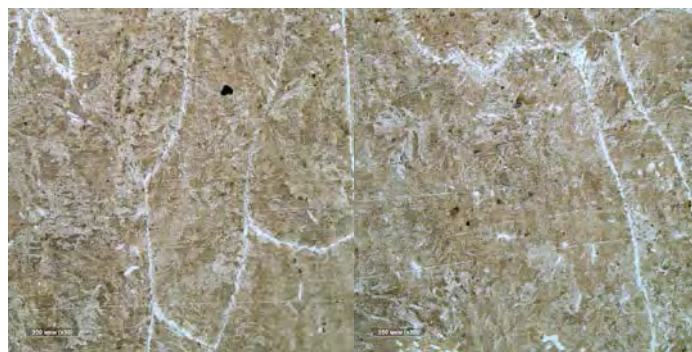


Рис. 4. Микроструктура темплета из области отливки удалённой от стенки металлической формы в зону столбчатых кристаллитов (x50)

На рис. 5 представлена микроструктура стали 45 из периферийной пристеночной области нижней части отливки.



Рис. 5. Микроструктура стали 45 из периферийной пристеночной области нижней части отливки (x50)

Характерный размер зерна в данной области достигает величины 600 мкм. Размер структурных зон перлита находится на уровне 170 мкм. Соответственно размер зон феррита несколько меньше – на уровне 100 мкм. В зоне, находящейся вблизи свободной поверхности отливки наблюдается микроструктура, представленная на рис. 6.



Рис. 6. Микроструктура стали 45 из периферийной пристеночной области верхняя часть (x50)

Микроструктура стали 45 из периферийной пристеночной области верхней части равноосная (с несколько большими характерными размерами до 830 мкм). Размеры областей перлита и феррита соответствуют таковым для нижележащих слоев.

Для исследования механических свойств литой стали, полученной способом ЭШТП из отливки, из разных областей механическим способом извлекались участки материала, из которых изготавливались образцы. Установлено, что механические свойства литого металла в периферийной зоне отливки и в районе теплового узла различаются примерно на 6 %, что обусловлено различием в тепловых условиях затвердевания данных областей. Временное сопротивление на разрыв на разных образцах составляет 550...590 МПа. Предел те-

кучести физический отсутствует. Предел текучести условный (пластическая деформация 0,2 %) на разных образцах составляет 460...490 МПа. Относительное удлинение после разрыва на образцах, полученных из разных областей отливки, составляет 3 %...8 %.

Таким образом, использование ЭШТП, совмещенного с процессом заливки металлических форм шлакометаллическим потоком, является наиболее рациональным способом при малотоннажном производстве. При этом литая сталь полученная способом ЭШТП по механическим характеристикам не уступает горячекатаному металлу. В слитке ЭШТП содержание неметаллических включений в 2...3 раза меньше, чем в переплавляемом электроде, причем удаляются практически все крупные неметаллические включения от второго до пятого балла, а остающиеся в незначительном количестве представлены мелкими и равномерно распределенными включениями средним баллом меньше единицы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Казачков, Е. А.** Электрошлаковый переплав. Раздел курса «Специальные процессы электроплавки» / Е. А. Казачков, А. Д. Чепурной. – Мариуполь: ПГТУ, 1995. – 82 с.
2. **Клюев, М. М.** Металлургия электрошлакового переплава / М. М. Клюев, А. Ф. Каблуковский. – Москва: Metallurgiya, 1969. – 259 с.
3. **Клюев, М. М.** Электрошлаковый переплав / М. М. Клюев, С. Е. Волков. – Москва: Metallurgiya, 1984. – 207 с.
4. **Латаш, Ю. В.** Электрошлаковый переплав / Ю. В. Латаш, Б. И. Медовар. – Москва: Metallurgiya, 1970, – 239 с.
5. **Лейбензон, С. А.** Производство стали методом электрошлакового переплава / С. А. Лейбензон, А. Ф. Трегубенко. – Москва: Metallurgizdat, 1962. – 238 с.
6. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла / Б. И. Медовар [и др.] / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. – Киев: Наук. Думка, 1988. – 216 с.
7. Электрошлаковый переплав / Б. И. Медовар [и др.]. – Москва: Metallurgiya, 1963. – 170 с.

Контакты:

info@itm.by (Жигалов Анатолий Николаевич);
 logvinvladim@yandex.ru (Логвин Владимир Александрович);
 andreym3ch@gmail.com (Мешков Андрей Дмитриевич);
 sazonenko2@mail.ru (Сазоненко Игорь Олегович).