

УДК 669.187.56

С. В. Скрипник, Д. Ф. Чернега*

НПФ «Титан», Киев

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

ПРОГРЕССИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛЫХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ РАСКАТНЫХ КОЛЕЦ И ОБЕЧАЕК

Изложены основные характеристики процесса центробежной электрошлаковой выплавки полых отливок $\varnothing 600/350$ мм, $H = 290$ мм, массой 0,4 т из конструкционной стали 20X2H4A. Приведены сведения о химическом составе, структуре и механических свойствах этих отливок. Показано, что отливки ЦЭШЛ из стали 20X2H4A характеризуются высокой химической и физической однородностью, могут применяться как в литом, так и деформированном состоянии для раскатных колец и обечаек.

Викладено основні характеристики процесу відцентрової електрошлакової виплавки порожнистих виливків $\varnothing 600/350$ мм, $H = 290$ мм, масою 0,4 т з конструкційної сталі 20X2H4A. Приведено відомості про хімічний склад, структуру і механічні властивості цих виливків. Показано, що виливки ВЕШЛ із сталі 20X2H4A характеризуються високою хімічною і фізичною однорідністю, можуть застосовуватися як в литому, так і деформованому стані для розкатних кілець і обичайок.

Basic descriptions of process of the centrifugal electroslag smelting of the hollow foundings of are expounded $\varnothing 600/350$ mm, $H = 290$ mm, mass of 0,4 t from construction steel of 20X2H4A. Information is resulted about chemical composition, structure and mechanical properties of these foundings. It is rotined that foundings of CESC from steel of 20X2H4A characterized high chemical and physical homogeneity. They can be used both in cast and in the deformed state for roll rings and purflings.

Ключевые слова: центробежное электрошлаковое литье, раскатные кольца, макроструктура, микроструктура, конструкционная сталь.

В производстве раскатных колец и обечаек из конструкционных и жаропрочных сталей в большинстве случаев используют полые заготовки, полученные рядом деформационных методов: билетирование слитков, осадка, прошивка и раскатка [1]. Технологические схемы, предусматривающие большое количество металлургических переделов, отличаются сложностью и трудоемкостью. Опробован также метод получения заготовок под горячую раскатку колец электрошлаковой прошивкой слитков ЭШП с использованием подвижных дорнов [2]. Такой метод существенно сокращает цикл изготовления заготовок, но требует наличия сложного оборудования и высокой квалификации плавильщиков. Кроме того, диаметр полых слитков ЭШП ограничен мощностью источников электрошлаковых печей. Альтернативным решением технологии получения полых заготовок для раскатных колец и обечаек является метод центробежного электрошлакового литья, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона [3, 4]. Он сочетает рафинирование металла от вредных примесей, направленное и последовательное затвердевание металла под слоем шлака в поле центробежных сил. Такая технология достаточно проста,

не требует наличия сложного оборудования и обеспечивает получение полых электрошлаковых заготовок больших размеров как простой, так и сложной конфигурации.

В качестве материала для исследования была выбрана легированная конструкционная сталь 20Х2Н4А, которая широко используется для изготовления раскатных колец, шестерен, вал – шестерен и других особо ответственных высоконагруженных деталей, к которым предъявляются требования высокой прочности, пластичности и вязкости [5]. Технология получения заготовок заключалась в следующем: расходные электроды диаметром 230 мм, длиной 1350 мм и массой 0,42 т получали из металлоотходов расплавлением их в электродуговой сталеплавильной печи с последующей заливкой металла в неохлаждаемые изложницы. Затем электроды переплавляли в стальном футерованном тигле на комплексе центробежного электрошлакового литья КЦЭШЛ-1 с вертикальной осью вращения. Переплав осуществляли под флюсом АН 295 в количестве 20 кг на плавку. Ток перепада составлял



Рис. 1. Электрошлаковые заготовки из стали 20Х2Н4А

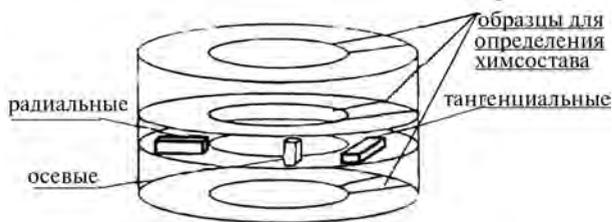


Рис. 2. Схема вырезки образцов из электрошлаковой заготовки

5,6-6 кА, напряжение – 40-45 В. По ходу плавки металл раскисляли путем ввода дозированных порций (0,2 кг) силикокальция марки СК-25, в %: (Са - 25-30, Al - 2, Fe <10, С - 0,5, остальное - Si), ГОСТ 476271. Металлическую форму перед заливкой подогревали до 180 °С. Температуру металла по ходу перепада контролировали платино-платинородиевой термопарой типа ТПР 30/6. При измерениях использовали вторичный прибор типа КСП-3. Температура

металла перед заливкой во вращающуюся форму составляла 1520 °С. Начальная частота вращения формы - 300, конечная – 700 об/мин. Выдержка отливки во вращающейся форме длилась 20 мин. В результате получена партия (10 шт) заготовок размерами $\varnothing 600/350$ мм, $H = 290$ мм, массой 0,4 т (рис.1). Толщина гарнисажа составляла 2,0-2,5 мм. Заготовки имели хорошую наружную и внутреннюю поверхности, пригодные для горячей раскатки без предварительной механической обработки.

Из полученных заготовок вырезали темплеты и образцы для исследования состава, структуры и механических свойств литого металла опытных отливок (рис. 2).

Исследование химического состава металла заготовок показало (табл. 1), что он практически идентичен исходному металлу электродов. Произошло лишь значительное обессеривание, характерное для электрошлакового металла, а также некоторый угар кремния. Никель, хром и марганец остались в исходной концентрации. Макроструктура металла (рис. 3) представлена зоной мелких кристаллов у поверхности, за ней расположена зона столбчатых, вблизи свободной поверхности находится



Рис. 3. Макроструктура отливки (продольное сечение)

Таблица 1. Химический состав отливки ЦЭШЛ из стали 20Х2Н4А

Образец	Элемент, массовая доля, %									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	S	P
Верх, № 1	0,16	0,27	0,51	1,34	3,30	0,05	0,005	0,15	0,011	0,021
№ 2	0,16	0,25	0,49	1,29	3,26	0,04	0,008	0,14	0,007	0,014
№ 3	0,15	0,25	0,49	1,29	3,22	0,04	0,007	1,13	0,007	0,014
Середина, №1	0,15	0,28	0,49	1,36	3,35	0,05	0,003	0,15	0,012	0,023
№ 2	0,16	0,28	0,51	1,35	3,28	0,05	0,002	0,15	0,010	0,021
№ 3	0,15	0,29	0,49	1,39	3,48	0,05	0,002	0,15	0,013	0,026
Низ, № 1	0,16	0,27	0,52	1,35	3,28	0,05	0,005	0,14	0,012	0,022
№ 2	0,16	0,25	0,49	1,28	3,15	0,04	0,005	0,13	0,008	0,013
№ 3	0,15	0,25	0,48	1,29	3,18	0,04	0,006	0,13	0,008	0,014
Исходный электрод	0,16	0,32	0,49	1,35	3,22			0,15	0,016	0,020
ГОСТ 4543-71	0,16-0,22	0,17-0,37	0,30-0,60	1,25-1,66	3,25-3,66			≤ 0,30		

Примечание: 1 - наружная поверхность; 2 - середина; 3 - внутренняя поверхность

Таблица 2. Механические свойства стали 20Х2Н4А полого слитка ЦЭШЛ массой 0,4 т

Объект испытаний	Направление вырезки образцов	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²
Отливка ЦЭШЛ	осевое	<u>1310-1320</u>	<u>1100-1110</u>	<u>8,7-9,4</u>	<u>42,5-44,8</u>	<u>72,0-73,6</u>
		1315	1105	9,0	43,6	72,8
	радиальное	<u>1320-1330</u>	<u>1105-1115</u>	<u>8,4-9,1</u>	<u>42,1-44,5</u>	<u>71,8-72,9</u>
		1325	1110	8,7	43,3	72,3
	тангенциальное	<u>1315-1325</u>	<u>1120-1130</u>	<u>8,5-9,2</u>	<u>42,4-45,1</u>	<u>71,5-73,0</u>
		1320	1125	8,8	43,7	72,2
Требования ГОСТа 4543-71 на прокат сечением 80-150 мм		1270	1080	7	40	70

Примечание: 1 - гомогенизация проводилась при 1200 °С, 10 ч, заковка от 860 °С, воздух, отпуск при 180 °С, воздух; 2 - в числителе – наименьшее и наибольшее значение свойств по трем образцам, в знаменателе - среднее

зона равноосных кристаллов. С внутренней стороны наблюдаются усадочные дефекты, глубина залегания которых на контролируемой плоскости не превышает 10 мм. Изучение отпечатка по Бауману показало равномерное распределение серы по всей поверхности. Микроструктура (рис. 4) соответствует литому состоянию и состоит из грубопластинчатого перлита.

Детально исследовано качество литой заготовки из стали 20Х2Н4А. В табл. 2 приведены механические свойства сортового проката сечением свыше 80 до 150 мм (ГОСТ 4543–71). Полученные результаты показывают, что механические свойства литого металла несколько превышают нормы ГОСТа 4543–71 на деформированный металл открытой выплавки. Твердость по Бринеллю находится в пределах 3100-3310 МПа.

Степень загрязнения металла неметаллически-

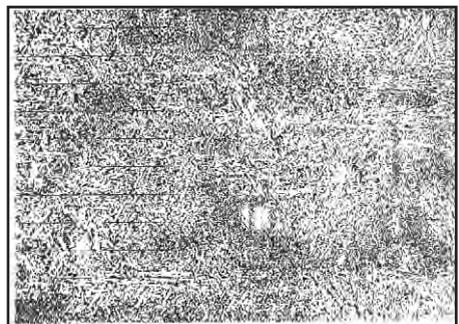


Рис. 4. Микроструктура отливки в термообработанном состоянии, $\times 100$

Новые методы и прогрессивные технологии литья

ми включениями определяли методом Ш по ГОСТу 1778-70 на девяти образцах, вырезанных из трех горизонтов по высоте отливки (верх, середина, низ) и в трех точках по сечению (наружная поверхность, $\frac{1}{2}$ толщины, внутренняя поверхность). Результаты сведены в табл. 3. Подтверждена более низкая по сравнению с металлом электродов загрязненность заготовки неметаллическими включениями: пластичные силикаты полностью отсутствуют, значительно снизилось содержание хрупких и недеформирующихся силикатов.

Таблица 3. Наличие неметаллических включений в стали 20Х2Н4А, в баллах

Место вырезки образца		Оксиды		Силикаты			Сульфиды
по длине	по сечению	строчечные	точечные	хрупкие	пластичные	недеформирующиеся	
Верх	наружная поверхность	0	0,5	0	0	0,5	0
	$\frac{1}{2}$ толщины	0	0,5	0	0	0,5	0,5
	внутренняя поверхность	0	1,0	0,5	0	0,5	0,5
Середина	наружная поверхность	0	0,5	0	0	0,5	0
	$\frac{1}{2}$ толщины	0	0,5	0,5	0	0,5	0,5
	внутренняя поверхность	0	0,5	1,0	0	0,5	0
Низ	наружная поверхность	0	0,5	0	0	0,5	0,5
	$\frac{1}{2}$ толщины	0	0,5	0	0	0,5	0
	внутренняя поверхность	0	1,0	0,5	0	0,5	0,5
Электрод		1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	1,0

На следующем этапе работ две полые отливки ЦЭШЛ массой 0,4 т из стали 20Х2Н4А диаметром 600 мм были подвергнуты горячей раскатке на кольцераскатном стане с вертикальной осью вращения до 700 мм.



Рис. 5. Электрошлаковые заготовки после прокатки и подготовки к ультразвуковому контролю

Перед раскаткой механическая обработка отливок не проводилась. После раскатки отливок (рис. 5) для проведения ультразвукового контроля торцевые поверхности потребовалось обработать механически для придания им необходимой чистоты. Ультразвуковой контроль сплошности колец произвели с помощью прибора УД2-12 лучом с частотой 2,5 МГц. Внутренних дефектов не обнаружили. Усадочные дефекты, глубина которых достигала 10 мм, в результате горячей раскатки даже с минимальной степенью деформации (около 10 %) полностью исчезли. Отсутствие таких дефектов

после обработки давлением можно объяснить высокой чистотой электрошлакового металла по примесям, отсутствием окисленных пленок на поверхности усадочных микрополостей. В результате стала возможна так называемая твердофазная заварка микропор [6].

Таким образом, технология ЦЭШЛ применительно к кольцепрокатному производству позволяет получать заготовки из легированной стали 20Х2Н4А с хорошим качеством поверхности и высоким комплексом механических свойств. При этом прочность, пластичность и вязкость не зависят от направления вырезки образцов. Это дает возможность использовать их в литом состоянии с незначительными припусками на механическую обработку. Можно рекомендовать их использование в кольцепрокатном производстве в ряде случаев в литом виде либо после раскатки.

Выводы

- Отливки ЦЭШЛ из конструкционных сталей типа 20Х2Н4А характеризуются высокой химической и физической однородностью, высоким уровнем механических свойств и изотропностью.
- Отливки ЦЭШЛ из стали 20Х2Н4А могут использоваться для изготовления раскатных колец без предварительной механической обработки, что упрощает процесс их производства и снижает стоимость раскатных колец.



Список литературы

1. Электрошлаковый переплав на кулебакском металлургическом заводе им. С.М. Кирова / А. Я. Рабинович, Б. Р. Желнин, А. В. Маринин и др. // Электрошлаковая технология. – Киев: Наук. думка, 1983. – С. 43-49.
2. Панин В. В., Смирнов Б. С., Лобжанидзе Р. Б. Выплавка полых заготовок для раскатных колец. // Спец. электрометаллургия. - 1973. - Вып. 22. - С. 24-28.
3. Медовар Б. И., Маринский Г. С., Шевцов В. Л. Центробежное электрошлаковое литье. – Киев: Знание, 1983. – 48 с.
4. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла / Б. И. Медовар, В. Л. Шевцов, В. И. Мартын и др. – Киев: Наук. думка, 1998. – 216 с.
5. Марочник сталей и сплавов /А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др. / Под ред. А. С. Зубченко. – М.: Машиностроение, 2003. – 784 с.
6. Медовар Б. И. Металлургия вчера, сегодня и завтра. - Киев: Наук. думка, 1986. – 131 с.

Поступила 15.01.2009

УДК 621.74.046:086.5

Ю. Н. Романенко, Е. Г. Афтандиянц, О. А. Пеликан, И. О. Шинский
Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПЕРЕХОДНЫХ СЛОЯХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Представлены методика и результаты компьютерного моделирования процессов теплообмена и диффузионного перераспределения элементов в переходном слое при формировании биметаллических отливок. Экспериментальными исследованиями подтверждена адекватность разработанной методики. Установлены закономерности влияния температуры и химического состава на теплопроводность, теплоемкость и плотность сплавов биметаллической пары, а также на диффузию углерода, кремния, марганца, хрома и молибдена в твердом и жидком состояниях. Приведена оценка точности аппроксимирующих зависимостей и рассчитаны их погрешности.