



УДК 621.74.042:621.745.55

ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ ФЛАНЦЕВЫХ ЗАГОТОВОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНОКУЛИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ

Е. Н. Еремин, С. Н. Жеребцов

Описан способ получения высококачественных заготовок типа фланец методом центробежного электрошлакового литья с модифицированием металла дисперсными частицами карбонитрида титана. Приведены результаты сравнительного анализа литого металла и показаны преимущества способа.

Method of producing high-quality billets of flange type using the centrifugal electroslag casting with metal modifying by dispersed particles of titanium carbonitride is described. Results of comparative analysis of cast metal are given and advantages of the method are shown.

Ключевые слова: центробежное электрошлаковое литье; модифицирование; структура; механические свойства; фланцевые заготовки

В настоящее время на предприятиях нефтегазоперерабатывающей и химической промышленности для соединения различных трубопроводов широкое применение получили изделия в виде кольцевых заготовок типа фланец. Они изготавливаются по ГОСТ 12820–80, ГОСТ 12821–80 из сталей 20, 09Г2С, 10Г2, 2Х13, 08Х18Н10Т и др. и работают в области высоких давлений и жестких климатических условиях, при резких перепадах температур транспортируемых сред и поэтому являются деталями ответственного назначения, подведомственными Госгортехнадзору Российской Федерации.

Данная продукция может изготавливаться различными технологическими процессами. Наиболее широко используютсяковка, штамповка, литье традиционными способами (открытыми методами плавки) с последующей механической обработкой заготовок. Эти штатные технологии имеют и преимущества, и недостатки.

Достоинствами традиционной технологии литья являются высокая точность заготовок с минимальными допусками на механическую обработку и большой коэффициент использования металла. К ее недостаткам следует отнести невысокое качество металла и трудность получения плотных заготовок, поскольку при плавке и разливе расплав насыщается газами, неметаллическими включениями, вредными примесями и склонен к структурной и химической неоднородности. По этим причинам литые заготовки для изготовления деталей ответственного назначения практически не применяются.

Изделия, полученные ковкой, имеют более высокое качество металла, хотя и могут наследовать дефекты литых заготовок и слитков, используемых при этом. Серьезные недостатки этой технологии — высокая стоимость заготовок, обусловленная при-

менением большого количества промежуточных операций (ковка слитков на биллеты, разрезка их на заготовки, прошивка заготовок, раздача), низкий коэффициент использования металла и необходимость наличия дорогостоящего кузнечного и прокатного оборудования. Таким образом, горячая деформация при производстве фланцевых заготовок — это вынужденное решение, к которому прибегают из-за низкого качества литья.

Перспективным направлением решения этой проблемы является замена кованых заготовок отливками высокого качества с минимальными допусками на механическую обработку. Поскольку эти детали имеют центральные сквозные отверстия, для их изготовления целесообразно использовать новую прогрессивную технологию — центробежное электрошлаковое литье (ЦЭШЛ), которое в силу своих технологических особенностей лишено многих из вышеперечисленных недостатков [1].

Сущность технологии заключается в электрошлаковом переплаве электрода в плавильной емкости, обеспечивающей накопление жидкого металла и шлака в нужных количествах, и последующей его заливке во вращающуюся форму. В качестве пере-



Рис. 1. Общий вид разобранного кокиля с отливкой в гарнисаже

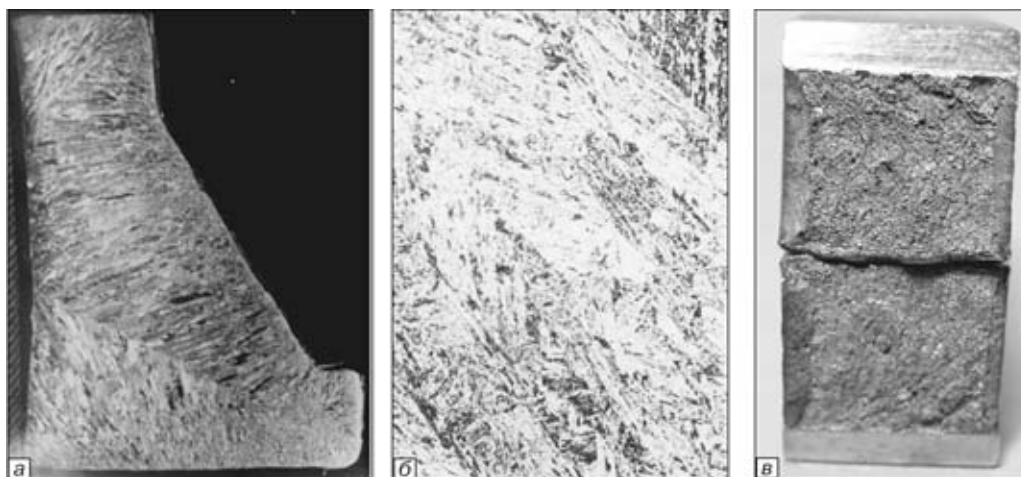


Рис. 2. Структура литой немодифицированной стали 2X13: *а* — макроструктура; *б* — микроструктура (X 200); *в* — рельеф излома

плавляемого металла могут применяться расходные электроды любой формы и сечения. Такая технология и была использована для изготовления фланцевых заготовок ответственного назначения.

Переплавление расходного электрода осуществляли под флюсом, представляющим собой смесь фтористого кальция, электрокорунда, магнезита и кремнезема. Такой флюс обеспечивает рафинирование жидкого металла в плавильной емкости от серы и фосфора, защиту от вредного воздействия окружающей среды, а также отличается значительной текучестью при высокой скорости охлаждения [2].

Метод электрошлакового литья прост и производителен. Оборудование для реализации этой технологии включает в себя серийные установки типа А-550У или ЭШП-0,25, гарнисажную плавильную емкость специальной конструкции, центробежную машину с вертикальной осью вращения и литейную форму.

Точность получаемой отливки определяется литейной формой. Поэтому использовали составной кокиль, изготовленный методом токарной обработки кольцевых заготовок, каждая из которых повторяет часть наружной конфигурации отливаемой детали. При сливе шлакометаллической струи в кокиль под действием центробежных сил происходит ее разделение. Шлак препятствует прилипанию отливки к стенкам литейной формы, располагаясь тонким и ровным слоем на ее поверхности. Значительная часть шлака вытесняется внутрь и вверх

отливки, где является тепловой надставкой и не позволяет образовываться усадочным полостям и раковинам. По мере общего снижения температуры металла и шлака на поверхности отливки образуется гарнисаж, отделяемый от заготовки только после ее извлечения из формы. Для примера на рис. 1 показан общий вид разобранного кокиля с отливкой.

Важным преимуществом такой технологии является возможность упрочнения металла заготовок за счет его модифицирования. Выбор модификатора осуществляли согласно методике, изложенной в работе [3]. Установлено, что наиболее эффективным является комплексное модифицирование синтетическими ультрадисперсными частицами карбонитрида титана и титана в количестве 0,3... 0,5% от массы расплава. Модификатор получали смешиванием порошковых компонентов с последующим холодным прессованием в таблетки диаметром 25... 30 мм и толщиной 8... 15 мм. Размеры таблеток были выбраны из условия их растворения в модифицируемом расплаве в течение 20... 30 с. Модификатор вводили при температуре 1650 °С за 2 мин до слива, что обеспечивало равномерное распределение дисперсных частиц-инокуляторов по всему объему жидкого металла в плавильной емкости. Заливку металла в металлическую литейную форму-кокиль проводили при температуре 1600 °С.

Заготовки фланцев, полученные центробежным электрошлаковым литьем с модифицированием

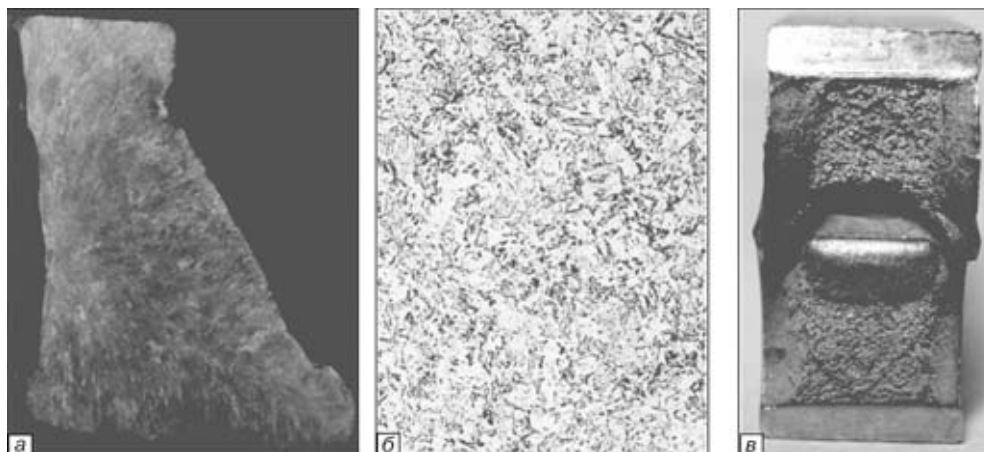


Рис. 3. Структура литой модифицированной стали 2X13: *а* — макроструктура; *б* — микроструктура (X 200); *в* — рельеф излома



Марка стали	Режимы термической обработки	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KCU^{+20} МДж/м ²
09Г2С	Нормализация 930 °С, воздух	505	332	34	62	1,34
09Г2С (индукционная плавка)		481	324	21	49	0,76
09Г2С (ЦЭШЛМ)		512	343	29	61	1,25
2Х13	Закалка 1050 °С, масло, отпуск 660 °С, воздух	808	636	21,3	68,5	1,42
2Х13 (индукционная плавка)		784	615	15,4	50,2	0,68
2Х13 (ЦЭШЛМ)		816	622	20,4	64,6	1,39
0Х18Н10Т	Аустенитизация 1050 °С, воздух	546	278	55,2	67,5	2,62
0Х18Н10Т (индукционная плавка)		514	249	44,3	50,1	1,64
0Х18Н10Т (ЦЭШЛМ)		598	324	52,6	61,2	2,13

(ЦЭШЛМ), удовлетворяют всем предъявляемым требованиям к выпускаемой продукции: это и геометрическая точность отливки, и высокие свойства металла. Так, припуск под механическую обработку по наружной поверхности составляет 2... 2,5 мм, по высоте — до 4 мм, по внутреннему диаметру — 8... 15 мм. Коэффициент использования металла при этом достигает 0,6–0,8. Это существенно снижает металлоемкость изделия и энергозатраты на его изготовление.

Электрошлаковый модифицированный металл отличается от металла, полученного открытой плавкой, мелкозернистой структурой, большей химической однородностью, отсутствием инородных окисных включений, воздушных пузырей, пор, раковин, трещин, низким содержанием вредных примесей серы и фосфора, равномерной плотностью металла по всему объему, а, следовательно, и изотропностью физико-механических свойств по всем направлениям. Так, например, анализ структуры полученных отливок из стали 2Х13 свидетельствует о том, что немодифицированный металл имеет направленную транскристаллитную структуру с большой протяженностью первичных осей дендритов. Металлографический анализ показал, что в этом случае происходит огрубление структуры мартенсита, сопровождающееся значительным повышением твердости с межкристаллитной формой разрушения металла (рис. 2).

Введение в металл 0,4% модификатора приводит к существенному изменению структуры и свойств литого металла. Устраняются зоны транскристаллизации в кольцевых отливках, резко уменьшаются размеры дендритов, которые к тому же приобретают благоприятную форму по всему объему закристаллизовавшегося металла. Структура отливки характеризуется наличием ферритно-мартенситной матрицы с компактными карбидами, расположенными большей частью в микрочернах, а разрушение ударных образцов носит в основном транскристаллитный характер (рис. 3).

В этом случае уровень механических свойств отливок практически не отличается от свойств ковальной заготовки. Результаты механических испытаний некоторых марок сталей, применяемых для изготовления фланцев, приведены в таблице.

Сравнительный анализ показывает значительное превосходство электрошлакового металла над

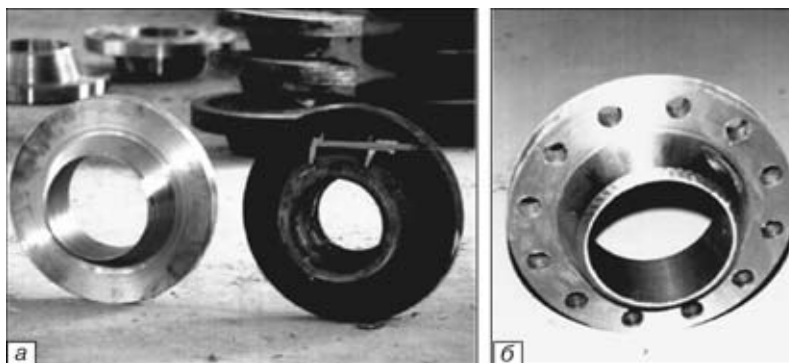


Рис. 4. Общий вид очищенной от гарнисажа отливки и фланца Ду 200, полученного из нее после предварительной (а) и окончательной механической обработки (б)

металлом открытой индукционной плавки и небольшие различия по отношению к свойствам ковального. Ультразвуковой контроль и магнитодефектоскопия показали плотную литую структуру, отсутствие микротрещин и каких-либо дефектов. После механической обработки такие фланцы успешно прошли гидротесты на герметичность под давлением 44 МПа. Для примера на рис. 4 приведен общий вид отливки и готового фланца Ду 200 с давлением рабочей среды Ру 10 МПа. В целом, свойства электрошлакового металла удовлетворяют требованиям ТУ26-0157-24-69, что позволяет использовать литые электрошлаковые заготовки взамен поковок. Кроме того, такая технология обеспечивает высокую оперативность выпуска различной номенклатуры и типоразмеров фланцевых заготовок.

По разработанной технологии на ЗАО «Омский завод специальных изделий» освоен выпуск литых фланцев от Ду 50 до Ду 500 с давлением рабочей среды от Ру 0,1 до Ру 20,0 МПа из сталей 20, 09Г2С, 17ГС, 10Г2, 2Х13, 08Х18Н10Т, Х17Н13М3Т и Х23Н18.

1. Медовар Б. И., Шевцов В. Л., Маринский Г. С. Центробежное электрошлаковое литье. — Киев: О-во «Знание» УССР, 1983. — 48 с.
2. Медовар Б. И., Цыкуленко А. К., Шевцов В. Л. Металлургия электрошлакового процесса. — Киев: Наук. думка, 1986. — 248 с.
3. Еремин Е. Н. Закономерности комплексного модифицирования литого электрошлакового металла // Анализ и синтез механических систем. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 1998. — С. 131–134.

Омский государственный технический университет
ЗАО «Омский завод специальных изделий»

Поступила 29.01.2004