



УДК 621.791.92.01

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Е. Н. Еремин

Предлагается новая технология электрошлакового литья изделий из жаропрочных сплавов, в которой как электрошлаковое накопление металла в плавильной емкости, так и разливка в форму осуществляются в аргоне. Приведены результаты сравнительного анализа свойств литого металла, показаны преимущества данной технологии.

New technology of electroslag casting of products of heat-resistant alloys is offered, in which both the electroslag accumulation of metal in melting cavity, and also pouring into mould are realized in argon. Results of comparative analysis of properties of cast metal are given, the advantages of this technology are shown.

Ключевые слова: электрошлаковое литье; жаропрочный сплав; структура; механические свойства

Жаропрочные никелевые сплавы широко используются для изготовления изделий ответственного назначения газотурбинных двигателей, некоторых видов протяжек, штампов, ножей горячей обработки металлов и других изделий, работающих при высоких значениях температуры.

Основным процессом получения заготовок из жаропрочных сплавов является литье по выплавляемым моделям в горячие керамические формы в вакуумных индукционных печах, что обуславливает очень большую трудоемкость изготовления изделий и крайне низкую рентабельность производства.

В то же время плохие литейно-технологические свойства таких сплавов и высокие требования к качеству отливок неизбежно влекут за собой низкий выход годного металла и высокий процент брака. Большую часть отходов литейного производства составляют безвозвратные потери производства, едва ли оправданные, особенно с учетом высокой стоимости сплавов и острой дефицитности входящих в них компонентов.

Поэтому разработка новых технологий изготовления литых деталей, позволяющих в том числе и повторное использование самых разнообразных по форме и габаритам отходов жаропрочных сплавов, является актуальной задачей.

В последние годы в производстве изделий из высоколегированных сталей и сплавов широко используются технологии, основанные на электрошлаковой плавке металла, в частности электрошлаковое кокильное литье (ЭКЛ) [1]. Это объясняется

экономическими преимуществами, обусловленными более дешевым оборудованием, низкими эксплуатационными расходами и более высокими качественными показателями получаемого металла.

Вместе с тем традиционное электрошлаковое литье жаропрочных сплавов, осуществляемое способом переплава электрода в керамическом тигле с последующим его переворотом и переливом шлакометаллического расплава в форму, имеет ряд трудностей. Это обусловлено прежде всего «вторичным» окислением жидкого металла, в результате чего в отливке не достигается требуемый химический состав [2].

В первую очередь не обеспечивается полное усвоение легкоокисляющихся элементов (титана и алюминия), образующих γ' -фазу и определяющих основные свойства сплава. Кроме того, литой электрошлаковый металл имеет столбчатую крупнозернистую структуру с большой протяженностью первичных осей дендритов [3, 4]. Все эти факторы не обеспечивают в полной мере требуемые служебные характеристики литого металла. Поэтому проблема совершенствования технологии электрошлакового литья требует своего решения.

В связи с этим проведены исследования по созданию новой технологии электрошлакового литья в инертном газе, включающей переплав электрода в медной гарнисажной плавильной емкости под флюсом, накопление жидкого металла и последующую его заливку в форму, находящуюся в печи подогрева, заполненной инертным газом.

Таким образом, для осуществления процесса ЭКЛ спроектирован производственный комплекс (рис. 1), состоящий из следующих основных элементов: уста-

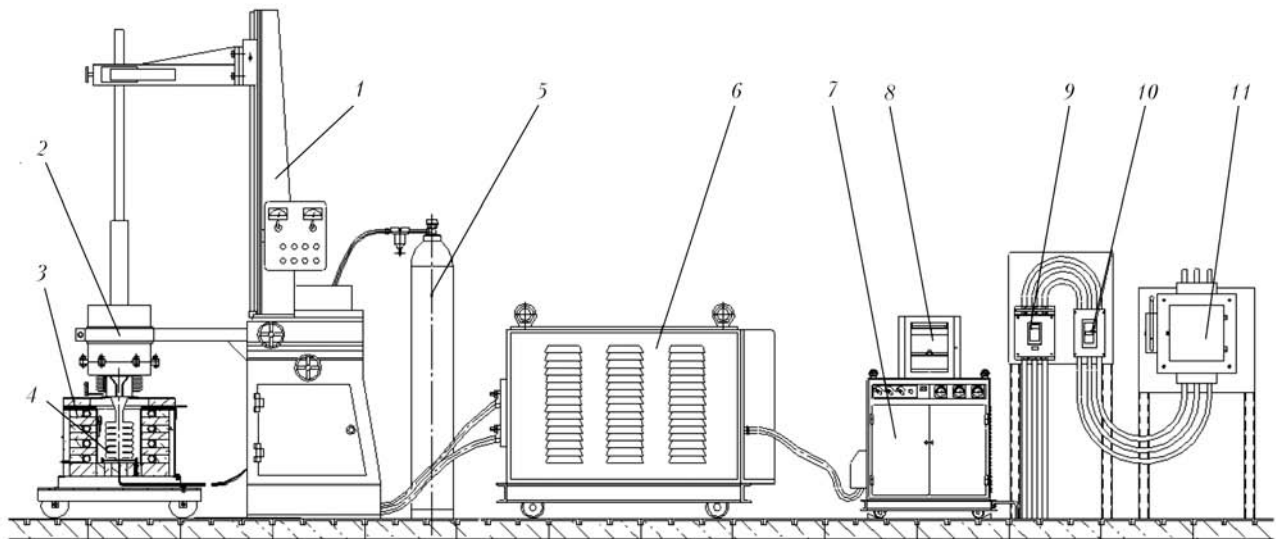


Схема комплекса электрошлакового кокильного литья

новки А-550У 1, плавильной емкости 2, печи подогрева 3, литейной формы 4, газовой аппаратуры 5, трансформатора ТШС-3000-1 6, шкафа управления 7. Контроль за параметрами переплава ведется с помощью термодатчиков и потенциометра КСП-4 8. Электропитание участка осуществляется посредством рубильника 11, контактора 9, защита оборудования при коротком замыкании осуществляется автоматом 10.

Конструкция колонны установки обеспечивает устойчивое вертикальное перемещение кареток в процессе их движения (нижней с плавильной емкостью и верхней с расходуемым электродом), питание ее осуществляли по однофазной монофилярной схеме.

При переплаве жаропрочных хромоникелевых сплавов окисление и угар легирующих элементов недопустимы. Поэтому их переплав необходимо вести с использованием высокофторидных флюсов. Однако фторидный флюс активно взаимодействует с материалом футеровки тигля (кладкой из хромомagneзитового кирпича) [5]. Поэтому использование керамических плавильных емкостей невозможно.

В связи с этим для переплава и накопления необходимого объема металла разработана и изготовлена медная водоохлаждаемая плавильная емкость, обеспечивающая «стерильные» условия процесса.

Для повышения КПД плавильной емкости на внутренней поверхности обечайки выполнены щелевые выемки, образующие совместно со шлаковым гарнизом газополости, обуславливающие значительное термическое сопротивление стенки, что позволяет накапливать в ней необходимое количество жидкого металла. Плавильная емкость крепится к регулируемому по высоте нижнему кронштейну установки А-550У с помощью хомутов. В электрододержателе устанавливается расходуемый электрод, закрепляемый с помощью винтового зажима и выставаемый по высоте. Суппортами по-

перечного перемещения расходуемый электрод центрируется по оси плавильной емкости.

В связи со значительным «вторичным» окислением легирующих элементов при разливе жаропрочных сплавов на воздухе применили схему донного слива расплава в литейную форму. Для этого использовали сливное устройство, состоящее из медного водоохлаждаемого поддона со сквозным конусным отверстием, в котором размещали токоподводящую пробку-затравку из того же материала, что и расходуемый электрод. В центральной части пробки выполнено глухое отверстие для ее проплавления.

После накопления требуемой массы расплава подача воды в поддон перекрывается, переключатель между отверстием и расплавом перестает охлаждаться, проплавляется и происходит слив расплава в форму. Форма имеет значительную прибыльную часть для принятия жидкого флюса, который, являясь тепловой надставкой, выравнивает температуру кристаллизующейся отливки и предотвращает возникновение в ней усадочной полости.

Для получения отливок можно использовать как металлические, так и керамические формы.

Герметичность прилегания литейной формы к поддону обеспечивается уплотнительным узлом. Подача и отключение воды во внутреннюю полость поддона тигля осуществляется электронной системой управления кранами, установленными на трубопроводе.

Для того, чтобы снизить перепад температур между жидким металлом и литейной формой и не получить разнородную структуру отливки, применили печь электроподогрева, представляющую собой короб, футерованный хромомagneзитовым кирпичом, на внутренней поверхности которого установлены нагревательные элементы. На дне печи находится специальное отверстие, через которое подается защитный газ (аргон).



Таблица 1. Химический состав сплава при ЭШЛ в аргоне

Объект исследования	Массовая доля элементов, %						
	C	Cr	Co	W	Mo	Ti	Al
Электрод	0,18	11,74	4,84	5,11	3,92	2,96	5,87
Отливка ЭШЛ	0,17	11,68	4,56	4,98	3,87	2,74	5,52
Технические условия	0,13... 0,2	10,5... 12,5	4... 5	4,5... 5,5	3,5... 4,5	2,5... 3,0	5,0... 6,0

Литейная форма, установленная в печи нагрева, центрируется по оси проплавленной пробки-затравки. Попадание атмосферного воздуха в пространство между плавильной емкостью и печью нагрева предотвращается специальным сильфонным устройством. Температура подогрева контролируется хромелькопелевой термопарой и вторичным прибором КСП-4. С целью защиты зоны заливки расплава от атмосферного воздуха в печь подается инертный газ (аргон).

При сборке технологического узла заливки жидкого металла в литейную форму донным сливом необходимо обеспечить соосность оси заливочной воронки и оси плавильной емкости с проплавленной пробкой, установленной в поддоне.

Расходуемый электрод собирали из забракованных деталей одной плавки, сваренных аргонодуговой сваркой в плеть. Отработку технологии проводили на сплаве X12H65K5B5M5Ю5T3. Плавку осуществляли с жидкого старта под флюсом АНФ-1П, имеющим наименьшую окислительную способность по отношению к таким активным легирующим элементам, как титан и алюминий, которые в значительной мере определяют механические свойства и длительную прочность никелевого сплава. Оптимальный режим переплава следующий: $U = 39 \text{ В}$, $I = 2700... 2900 \text{ А}$.

Сплав X12H65K5B5M5Ю5T3 относится к группе литейных сложнолегированных многокомпонентных жаропрочных сплавов. Основными упрочняющими фазами являются γ' -фаза, представляющая собой интерметаллид $(\text{Ni}, \text{Co})_3(\text{Al}, \text{Ti})$ и карбиды. Поэтому свойства литого сплава определяются его химическим и фазовым составом. Химический анализ показал, что по основным легирующим элемен-

Таблица 2. Механические свойства отливок

Вид отливки	Температура испытания, °С	σ_b , %	δ , %	Жаропрочность τ_{400}^{850} , ч
ВИЛ	20	994	4,3	–
ЭШЛ	20	989	4,1	–
ВИЛ	850	882	2,9	76
ЭШЛ	850	878	2,5	91

там состав сплава при ЭШЛ в аргоне с донным сливом расплава изменяется незначительно и укладывается в требования технических условий (табл. 1).

Изучение свойств литого сплава, полученного донным сливом в аргоне, производили в сравнении со свойствами сплава, изготовленного вакуумно-индукционным литьем (ВИЛ). Из отлитых такими способами слитков изготовляли образцы для испытаний и металлографических исследований.

Результаты испытаний образцов (табл. 2) показали, что механические свойства отливок ЭШЛ близки к таковым отливок ВИЛ. Вместе с тем жаропрочность отливки ЭШЛ оказалась даже несколько выше, чем у отливки ВИЛ.

Это можно объяснить тем, что при температуре 850 °С количество упрочняющей γ' -фазы в этих отливках находится приблизительно на одном уровне и свойства литого металла определяются размером зерна и изменением морфологии карбидов (рис. 2) [3].

Анализ макро- и микроструктуры сплава X12H65K5B5M5Ю5T3 показал, что размер макрозерна в отливке ВИЛ составил 1,0... 3,5 мм, а в

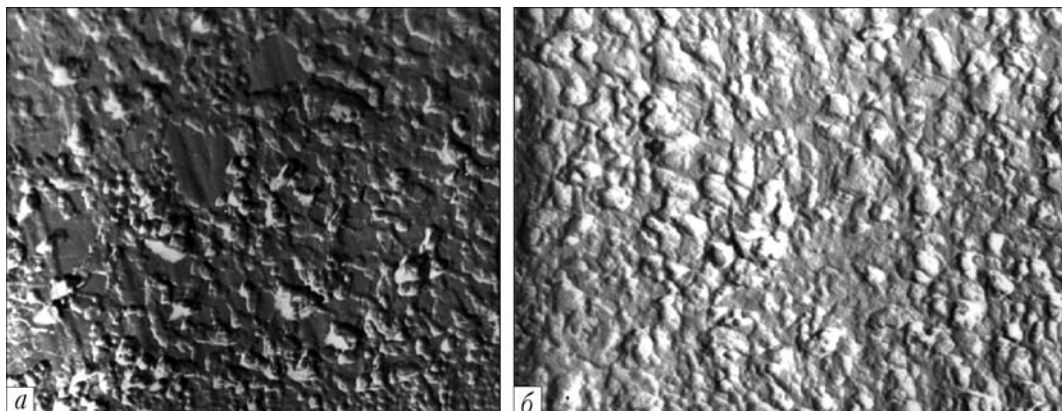


Рис. 2. Строение γ' -фазы в отливках ($\times 10000$): а – ВИЛ; б – ЭШЛ

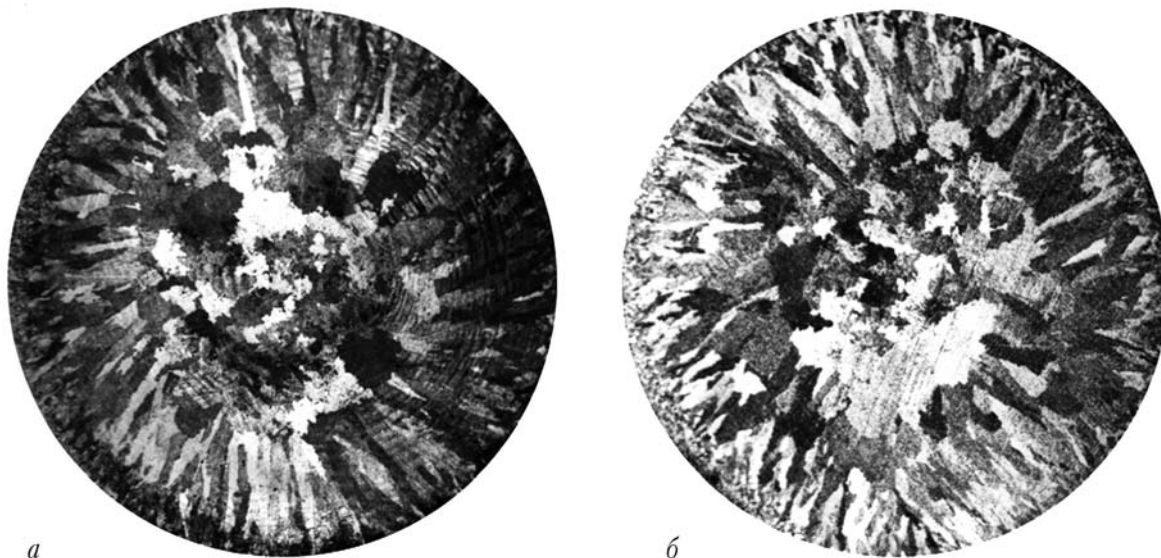


Рис. 3. Макроструктура металла отливок (X4): а – ВИЛ; б – ЭШЛ

отливке ЭШЛ – 2...4 мм, что, видимо, связано с перегревом расплава в плавильной емкости (рис. 3).

Средний размер карбидов компактной формы в отливке ЭШЛ равняется 3...6 мкм, а максимальный достигает 30 мкм, в то время как у отливки ВИЛ он составляет 100 мкм (в продольном направлении). Очевидно, это и оказывает основное влияние на длительную прочность.

Наилучшее сочетание структуры и свойств сплава Х12Н65К5В5М5Ю5Т3 получено в случае разлива расплава в форму при 1600...1620 °С. Такой режим обеспечил получение структуры с наиболее мелкими карбидами (2...4 мкм), равномерно распределенными в матрице сплава. Микроструктура такого сплава характеризуется наличием мелких компактных выделений эвтектики γ - γ' , расположением карбидов в межосных пространствах кристаллов и мелкодисперсными выделениями γ' -фазы.

Результаты проведенной работы легли в основу технологии фасонного электрошлакового литья заготовок вставок-ножей пресс-ножниц «Эрфурт»,

обеспечившей существенное повышение их износостойкости при горячей резке проката из высокопрочных сталей.

1. Патон Б. Е., Медовар Б. И. Электрошлаковая тигельная плавка и разливка металла. – Киев: Наук. думка, 1988. – 214 с.
2. Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О., Еремин А. Е. Влияние металлургической чистоты никелевого сплава на свойства отливок, полученных литейными электрошлаковыми технологиями // Заготовит. произ-ва в машиностр. – 2007. – № 12. – С. 15–17.
3. Электрошлаковая плавка жаропрочного никелевого сплава ХН73МБТЮ / М. И. Кlicheвец, А. В. Шелгаева, Г. Г. Ведерников и др. // Спец. электрометаллургия. – 1980. – Вып. 41. – С. 60–68.
4. Структура, фазовый состав и свойства сплава ЭИ437Б электрошлаковой разливки / Ю. В. Латаш, М. М. Ключев, Г. П. Негода и др. // Там же. – 1984. – Вып. 55. – С. 7–11.
5. Еремин Е. Н., Жеребцов С. Н., Радченко В. Г. Исследование стойкости плавильных футерованных тиглей // Механика процессов и машин: Сб. научн. тр. – Омск: ОМГТУ, 2002. – С. 129–134.

Омский гос. техн. ун-т, Омск

Поступила 16.02.2009

От редакции

Идея использования для литья жидкого металла, прошедшего электрошлаковый переплав без контакта с огнеупорными материалами, но не доведенного до затвердевания, а после расплавления расходуемого электрода заливаемого в форму либо распыляемого, впервые реализована специалистами фирм GE (США) и AID (Германия), о чем свидетельствуют, например, Pat.US 5985206, 5160532; W. T. Carter, Botton Pouring From an ESR Furnace // Proc. of the Intern. symp. on Electroslag Remelting Technology and Equipment (Kiev, May 15–17, 2001). – Kiev, 2001. – P. 61–63.