
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

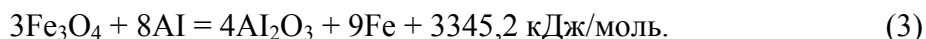
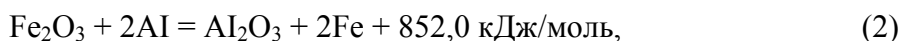
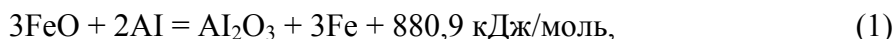
УДК 669.187.56

Власов А. Ф., Макаренко Н. А., Куций А. М., Голуб Д. М.**ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЕ ЛИТЬЕ ЗАГОТОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОПРОВОДНЫХ ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИХ ФЛЮСОВ**

Важным направлением повышения эффективности машиностроения является дальнейшее развитие и совершенствование заготовительного производства. Решение этой задачи требует создание новых прогрессивных технологических процессов производства заготовок деталей ответственного назначения, что является актуальным. Качество готовых металлических изделий, их надежность и долговечность в эксплуатации определяются, прежде всего, качеством слитка, из которого они изготовлены, т. е. степенью его физической и химической однородности, содержанием в нем вредных примесей. Барабаны моталок являются быстроизнашивающимся механизмом и от их эксплуатационной стойкости зависит как количество, так и качество выпускаемой продукции. Сектор предназначен для барабана моталки листовых и полосовых станов холодной и горячей прокатки. Одним из способов повышения качества слитка, уменьшения припусков на механическую обработку до минимума, исключения операцииковки металла является электрошлаковый переплав. Известно, что литой электрошлаковый металл по сравнению с кованным открытой выплавки характеризуется равноценными свойствами, превосходя его по изотропности, плотности и другим показателям, и практически не уступает ему в сопротивлении к усталости [1]. Указанный способ не требует дорогого и сложного оборудования, решает задачу получения слитков с минимальной химической и физической неоднородностью и с улучшенными физико-механическими свойствами. Благодаря высокому качеству металла после электрошлакового переплава его применяют взамен поковок. Формирование заготовки сектора барабана моталки может быть осуществлено без использования уникального кузнечно-прессового оборудования путем электрошлакового переплава расходоуемого электрода в водоохлаждаемом кристаллизаторе. Существенным преимуществом электрошлакового литья является то, что рафинированный жидкий металл затвердевает без контакта с окружающей средой и материалом литейной формы. При ЭШЛ шлак является не только рафинирующей, но и защитной средой. Значительные трудности испытывают сварщики и металлурги в начальный период возбуждения электрошлакового процесса и наведения шлаковой ванны с объемом, обеспечивающим устойчивый электрошлаковый процесс. Известны две разновидности старта – "твердый" и "жидкий", каждый из которых имеет свои недостатки. "Твердому" старту присущи следующие недостатки: нестабильное разведение электрошлакового процесса, сопровождающееся частыми короткими замыканиями и резкими спадами тока; неравномерное расплавление флюса; длительность процесса и низкая производительность печи; неудовлетворительное формирование нижней части электрошлаковой отливки. С целью ускорения "твердого" старта разработаны специальные устройства и самовоспламеняющиеся экзотермические смеси. Проведенные в институте исследования [3–8] показали возможность применения разработанного способа старта с использованием экзотермических флюсов, обеспечивающих заданный химический состав металла. При этом увеличивается выход годного металла за счет использования восстановленного из окалина железа. Электрошлаковое литье крупных заготовок осуществляется на печах бифилярного или трехфазного типа с использованием только "жидкого" старта

путем сифонной заливки расплавленного за пределами печи шлака в нижнюю часть кармана (при электрошлаковой сварке), кристаллизатора (при электрошлаковом переплаве) или тигля (при электрошлаковом кокильном литье). Однако трудоемкость выплавки заготовки с учетом времени расплавления флюса во флюсоплавильных печах значительно выше по сравнению с "твердым" стартом, и потери металла донной части слитка, идущего в обреш, составляют от 5 до 10 % от общей массы слитка [1]. Недостатки выше указанных способов наведения шлаковой ванны необходимого объема могут быть устранены разработанными способами электрошлаковой сварки (Патент № 36618А, 2001.Украина), наплавки (Патент № 71290А, 2004, Украина) и электрошлакового переплава (А. с. № 1396618, 1986, СССР).

В данной работе исследовалось влияние экзотермического флюса, представляющего собой механическую металлофлюсовую смесь окислы, алюминиевого порошка, легирующих элементов в виде ферросплавов или порошков и рабочего флюса (АНФ-6 или др.). Основной составляющей экзотермических смесей (флюсов), применяемых в сварочном и металлургическом производстве, является окислы, которая обычно составляет 70...80 массовых процентов экзотермической смеси, и от ее физико-химических свойств зависит в конечном счете качество металла. В результате протекания реакций (1–3) образуется окислы алюминия и восстановленное железо, выделяется дополнительное тепло, которое эффективно используется для расплавления составляющих экзотермического флюса. шва или выплавляемого металла донной части слитка.



Повышение производительности стартового периода наведения шлаковой ванны необходимого объема возможно путем применения экзотермического флюса, проводящего электрический ток в твердом состоянии. При "твердом" старте тщательно перемешанная экзотермическая смесь (механическая смесь окислы, порошка алюминия) с ферросплавами засыпается перед плавкой на основание тигля (затравки). Расходуемый электрод, марка стали которого соответствует марке отливаемой заготовки, опускается в тигель и прижимает экзотермическую смесь. На поверхность экзотермической смеси насыпается порция стандартного флюса. Включается силовой трансформатор, и начинается процесс плавки. В первоначальный момент наводится шлаковая ванна необходимого объема, а затем начинается плавление электрода. Расплавляемый электрод в процессе плавки плавно перемещается вниз, его скорость подачи регулируется прибором на пульте управления установки.

По существующей технологии сектора барабанов моталки изготавливаются из кузнечных слитков путемковки их на прессах. В результате проведенных исследований [5] установлено, что разработанный способ старта ЭШП по сравнению с применяемыми в настоящее время "твердого" и "жидкого" стартов электрошлакового переплава при одинаковых условиях позволяет повысить производительность стартового процесса (до 25 %) и расплавления засыпаемой массы (до 20 %), а также увеличить выход годного металла на 2...7 %. Кроме того, при расплавлении экзотермического флюса образуется составляющая шлака: окислы алюминия (Al_2O_3), масса которого может достигать до 20 % от необходимой массы расплавляемого рабочего флюса.

Целью настоящей работы является разработка технологии и оснастки для электрошлакового литья заготовок секторов барабанов моталок на "твердом" старте с использованием экзотермических флюсов.

Для моделирования, исследования и отработки технологии электрошлакового литья заготовок секторов барабанов моталок применили медный водоохлаждаемый кристаллизатор диаметром 230 мм, соответствующий максимальному размеру заготовки сектора барабана

моталки диаметром 850 мм с учетом припусков на термическую и механическую обработку. С учетом технической возможности установки ЭШП-05 и необходимостью выполнения исследования качества литой электрошлаковой стали 20Х3МВФ в сравнении с ковальной сталью открытой выплавки, производилось электрошлаковое литьё заготовки диаметром 225 мм и длиной 425 мм. Схема электрошлакового литья заготовок сектора барабана моталки рекомендуемым способом ЭШЛ и сравнительные данные по массе заготовок секторов барабанов моталок, полученных методамиковки и электрошлакового литья, приведены на рис. 1.

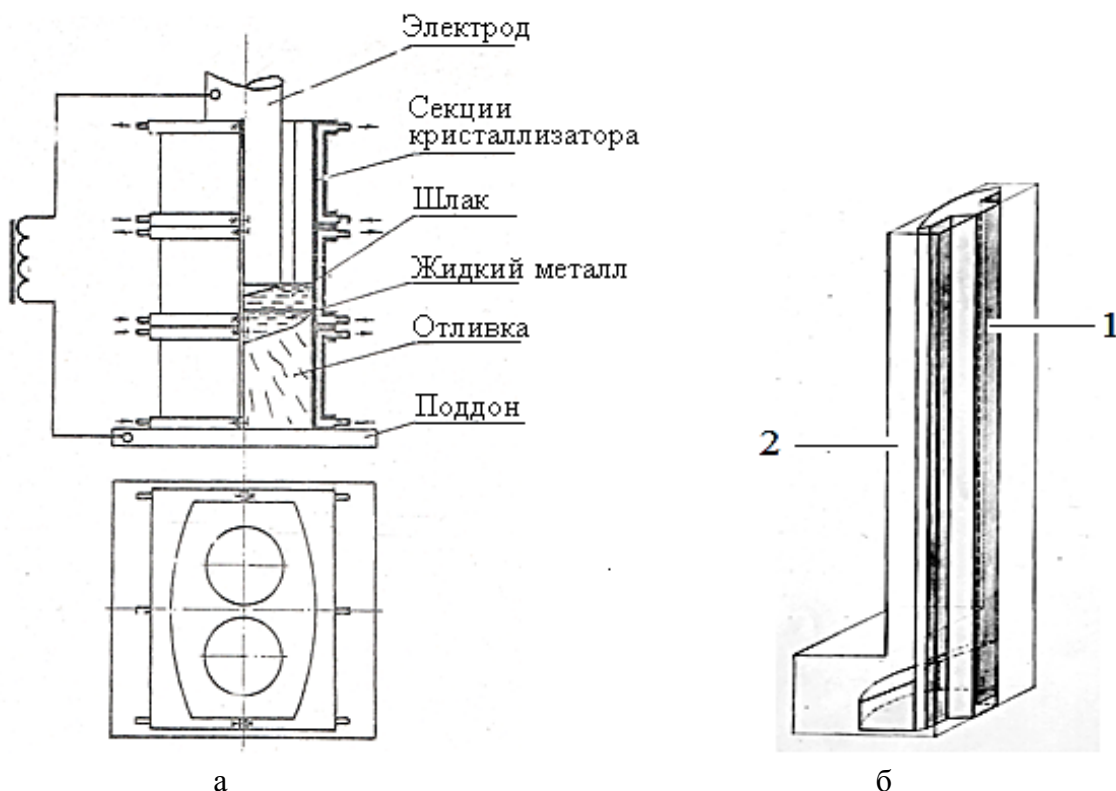


Рис. 1. Схема электрошлакового литья заготовок сектора барабана моталки рекомендуемым способом ЭШЛ (а) и сравнительные данные (по массе заготовок) секторов барабанов моталок (б), полученных методамиковки (1) и электрошлакового литья (2) (масса слитка для 2-х поковок 3250 кг; масса поковки 1100 кг, масса электрошлаковой отливки 400 кг)

Параметры процесса электрошлакового литья заготовок сектора барабана моталки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры процесса электрошлакового литья заготовок

| Номер плавки | Марка стали | Режим плавки | | | Время плавки, мин | Масса заготовки, кг |
|--------------|-------------|--------------|------|-------------------------|-------------------|---------------------|
| | | I, кА | U, В | V _э , мм/мин | | |
| 1 | 20Х3МВФ | 4,8...5,0 | 41 | 10...11 | 85 | 130 |

Для электрошлакового литья заготовки из стали 20Х3МВФ использовались литые расходуемые электроды из этой стали диаметром 150 мм и длиной 2 150 мм. Отливка заготовки диаметром 230 мм и длиной 425 мм производилась в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе. Химический состав расходуемых электродов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав расходующих электродов

| Марка стали | Содержание элементов, % | | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------|-----------|-----------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| | C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | W | V | S | P |
| Электрод | 0,25 | | 0,62 | 2,90 | 0,45 | 0,75 | 0,42 | 0,025 | 0,012 | 0,01 |
| ГОСТ 20072-74 | 0.15-0.24 | 0.17-0.40 | 0,25-0,60 | 2,4-3,3. | ≤ 0,50 | 0,35-0,55 | 0,30-0,50 | 0,60-0,85 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 |

Подпитка отливок в конце плавки выполнялась путем трехкратного изменения силы тока от 0 до 5 кА для заготовки из стали 20Х3МВФ в течение 10 минут. После окончания плавки отливка выдерживалась в кристаллизаторе до завершения процесса затвердевания шлаковой и металлической ванны, затем извлекалась из кристаллизатора и загружалась в нагретую печь для изотермического отжига, режим которого приведен на рис. 2.

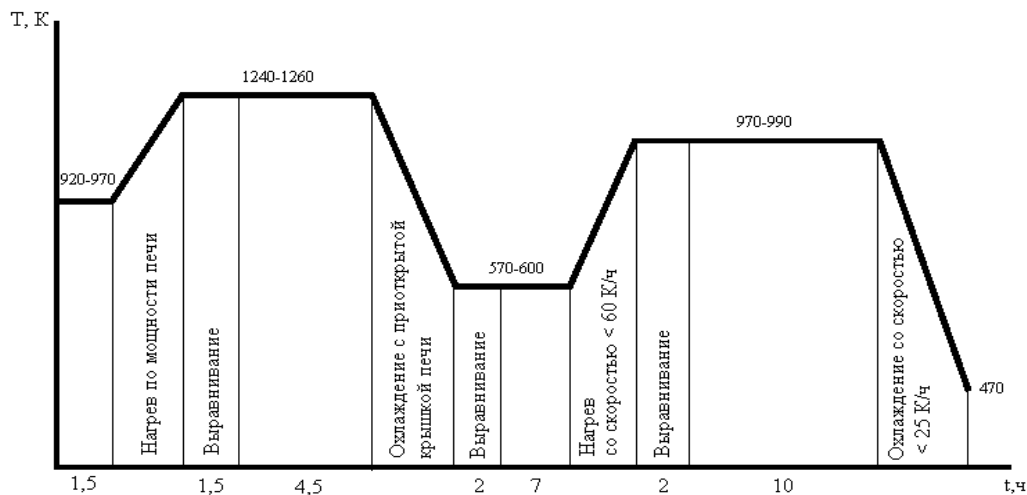


Рис. 2. Режим изотермического отжига заготовок сектора барабана моталки из стали 20Х3МВФ (ЭИ-415)

Для исследований качества металла литого сектора в нетермообработанном и термообработанном состоянии их разрезали на пробы в продольном и поперечном направлении. Оценка качества исследуемых литых электрошлаковой стали по сравнению с ковальной стальной обычной выплавки проводилась по следующим критериям: стандартным механическим свойствам образцов (σ_b , $\sigma_{тв}$, δ_5 , Ψ , KCU), вырезанных из различных зон отливок и поковок в продольном и поперечном направлениях; химическому составу и содержанию газов и неметаллических включений в металле; макро- и микроструктуре; усталостной выносливости (тип образцов: для стали 20Х3МВФ – по ГОСТ 2860-65). Для сравнительных испытаний использовались поковки из стали 20Х3МВФ размером 90 × 90мм с уковом не менее 2. Для определения влияния электрошлакового переплава на химический состав стали 20Х3МВФ из отливок по сечению и высоте бралась стружка при изготовлении образцов на статическое растяжение металла. Химические составы сталей переплавляемых электродов и полученных отливок приведены в табл. 3, из которой следует, что электрошлаковый металл по высоте отливок характеризуется высокой однородностью. Отличие в содержании некоторых элементов в электроде и отливках незначительно и находится в пределах марочного состава исследуемых сталей. В целом химический состав литых сталей ЭШП удовлетворяет требованиям ГОСТ20072-74 (20Х3МВФ).

Таблица 3

Химические составы сталей переплавляемых электродов и полученных отливок

| Наименование заготовки | | Содержание элементов, % | | | | | | | |
|------------------------|----------|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | C | Mn | Cr | Mo | V | W | S | P |
| Электрод | | 0,25 | 0,62 | 2,90 | 0,45 | 0,75 | 0,42 | 0,025 | 0,012 |
| Сектор барабана | низ | 0,24 | 0,65 | 3,24 | 0,53 | 0,72 | 0,40 | 0,012 | 0,011 |
| | середина | 0,23 | 0,44 | 3,08 | 0,51 | 0,71 | 0,42 | 0,010 | 0,012 |
| | верх | 0,23 | 0,59 | 2,96 | 0,49 | 0,72 | 0,42 | 0,009 | 0,011 |

Для определения содержания газов в исследуемых сталях из одних и тех же зон литых и кованных заголовков изготавливались образцы на газовый анализ.

Газовый состав стали 20ХЗМВФ определялся методом вакуумплавки на установке конструкции ЦНИИТМАШ. В одних и тех же зонах литые стали содержат меньшее количество газов, чем кованные (табл. 4).

Таблица 4

Газовый состав сталей

| Наименование заготовки | Зона исследования | Содержание газов | | | | | | |
|------------------------|-------------------|------------------|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|
| | | CO ₂ | N ₂ | H ₂ | Всего | O ₂ | N ₂ | H ₂ |
| Кованая сталь | низ | 1,38 | 4,69 | 3,71 | 9,78 | 0,0009 | 0,0058 | 0,00038 |
| | верх | 1,32 | 4,47 | 3,52 | 9,31 | 0,0009 | 0,0056 | 0,00031 |
| Литая сталь | низ | 2,12 | 4,50 | 1,87 | 8,49 | 0,0015 | 0,0050 | 0,00016 |
| | середина | 1,70 | 4,46 | 1,96 | 8,12 | 0,0012 | 0,0055 | 0,0017 |
| | верх | 1,29 | 3,76 | 2,30 | 7,55 | 0,0009 | 0,0047 | 0,00020 |

С целью определения глубины металлической ванны при электрошлаковом литье заготовки сектора барабана моталки из стаи 20ХЗМВФ в донную часть отливки вводили сернистое железо. Глубина металлической ванны составила 57 мм.

Для изучения свойств стали 20ХЗМВФ образцы для физико-механических испытаний подвергались термической обработке: закалка в масле при 1330 К и отпуску при 940 К по режиму, приведенному на рис. 4.

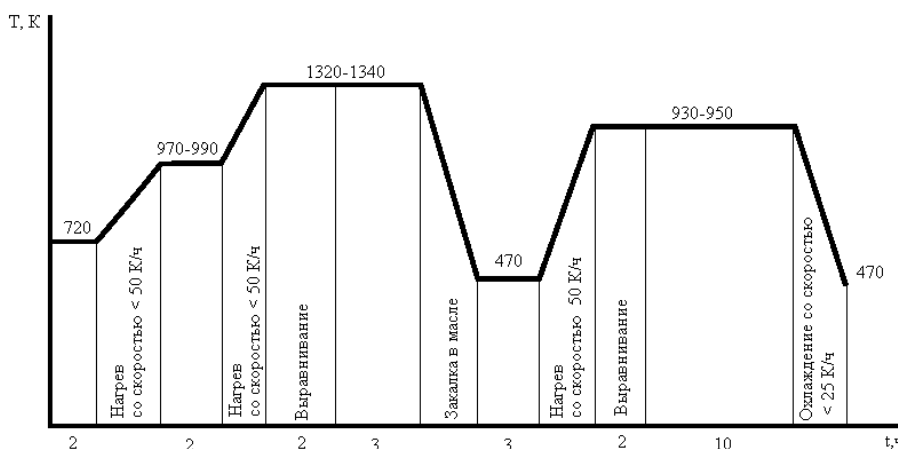


Рис. 4. Термическая обработка заготовки сектора барабана моталки: а – закалка; б – отпуск

Приведенные в табл. 5 данные показывают, что металл ЭШЛ удовлетворяет требованиям, предъявляемым к секторам барабана моталки.

Таблица 5

Механические свойства исследуемой стали (температура испытания 673 К)

| Наименование заготовки | Показатели механических свойств | | | | | Примечание |
|-------------------------|---------------------------------|------------------|--------------|------------|-------------------------|------------|
| | σ_b , МПа | σ_m , МПа | δ , % | ψ , % | KCU, КДж/м ² | |
| Сектор барабана моталки | 942 | 873 | 13,3 | 51,2 | 123 | Продольные |
| | 953 | 824 | 13,7 | 55,4 | 120 | |
| | 991 | 942 | 14,0 | 57,0 | 118 | |
| | 903 | 834 | 12,9 | 49,0 | 105 | Поперечные |
| ГОСТ 20072-74 | 740 | 670 | 9,5 | 33,0 | 85 | |

Структура стали 20Х3МВФ (рис. 6), относящейся по своему химическому составу к сталям мартенситно-ферритного класса, как в литом металле ЭШП, так и в ковном металле индукционной плавки практически одинакова. Значения микротвердости по всем образцам находятся в пределах 2850...3570 Н/мм².

ВЫВОДЫ

Подтверждена эффективность электрошлакового литья при изготовлении литых заготовок путём использования экзотермического флюса (окалина, ферросплавов и алюминиевого порошка) в количествах, достаточных для протекания экзотермических реакций.

Доказано, что ЭШЛ обеспечивает получение качественных отливок с минимальными припусками на механическую обработку.

Доказана целесообразность применения "твёрдого" старта с применением экзотермического флюса в начальный период наведения шлаковой ванны необходимого объёма при ЭШЛ.

Электрошлаковые отливки заготовок барабанов моталки характеризуются бездефектной поверхностью с выходом годного до 85 %, стабильным по сечению химическим составом, низким содержанием газов и неметаллических включений.

Установлено, что качество литой электрошлаковой стали 20Х3МВФ с использованием "твёрдого" старта и экзотермического флюса соответствует кововой стали открытой выплавки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е. Электрошлаковый металл / Б. Е. Патон, Б. И. Медовар. – Киев : Наукова думка, 1981. – 679 с.
2. Власов А. Ф. Экзотермические смеси и флюсы в сварочном и металлургическом производствах: монография / А. Ф. Власов, В. В. Чигарев, Н. А. Макаренко. – Краматорск : ДГМА, 2015. – 367с. – ISBN 978-966-379-752-6.
3. Макаренко Н. А. Исследование и разработка составов экзотермических флюсов для электрошлаковых процессов / Н. А. Макаренко, А. Ф. Власов, Д. А. Волков, А. М. Куций // Современная электрометаллургия. – Киев, 2015. – № 2. – С. 10–16.
4. Физическая модель электрошлакового процесса на "твёрдом" старте с применением экзотермических электропроводных флюсов / А. Ф. Власов, Н. А. Макаренко, В. В. Чигарев, Д. А. Волков // Технология машиностроения. – № 5. – 2015. – С. 56–60.
5. Власов А. Ф. Электрошлаковый переплав на "твёрдом" старте по монофилярной схеме ведения процесса с использованием экзотермических электропроводных флюсов / А. Ф. Власов, А. А. Богуцкий // Технология машиностроения. – 2015. – № 2. – С. 5–10.
6. Власов А. Ф. Электрошлаковое кокильное литье деталей горного оборудования с использованием экзотермических электропроводных флюсов / А. Ф. Власов // Технология машиностроения. – М., 2014. – № 3. – С. 10–15.
7. Власов А. Ф. Электрошлаковое литье деталей горного оборудования с использованием экзотермических электропроводных флюсов / А. Ф. Власов // Технология машиностроения. – М. : 2014. – № 7. – С. 11–15.
8. Власов А. Ф. Электрошлаковое литье коленчатого вала газомотокомпрессора МК-08 из стали 34ХН1М с использованием экзотермических электропроводных флюсов / А. Ф. Власов // Технология машиностроения. – М., 2013. – № 9. – С. 10–15.
9. Власов А. Ф. Применение окислы в электродном производстве / А. Ф. Власов, В. М. Карпенко // Сварочное производство. – 1982. – № 2. – С. 6–8.