

## ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА ДИСКРЕТНЫМ МАТЕРИАЛОМ РАЗЛИЧНОГО СПОСОБА ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Ю.М. КУСКОВ, Г.Н. ГОРДАНЬ, И.Л. БОГАЙЧУК, Т.В. КАЙДА

ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Исследована возможность использования в качестве дискретного присадочного материала, помимо дробы оптимального фракционного состава, отходов производства, образующихся при изготовлении дробы. Установлено, что технология наплавки дробью из высокохромистого чугуна практически не отличается от технологии наплавки таблетками, сформированными методами порошковой металлургии из отходов производства дробы. Структура металла, наплавленного дробью, характеризуется более мелким строением структурных составляющих и меньшим количеством аустенита. Идентичность результатов наплавки, по-видимому, может быть достигнута при оптимизации технологии производства таблеток, их размеров и массовой скорости подачи в шлаковую ванну. Библиогр. 4, табл. 2, рис. 6.

*Ключевые слова:* электрошлаковая наплавка, токоподводящий кристаллизатор, дробь, таблетки, микроструктура наплавленного металла

Разработанная в ИЭС им. Е.О. Патона технология электрошлаковой наплавки (ЭШН) и переплава в токоподводящем кристаллизаторе позволяет расплавлять в шлаковой ванне как компактные (проволоки, ленты, прутки и т.п.), так и дискретные (дробь, стружка, порошки и т.п.) материалы [1].

Практический опыт наплавки [2], а также оценка теплового состояния шлаковой ванны и процесса плавления в ней компактного и дискретного материалов [3] позволили сделать вывод о перспективности применения с технической и экономической точек зрения электрошлакового процесса с использованием дискретной присадки.

Из большого перечня дискретных присадок наибольшее применение для наплавки нашел наплавочный материал в виде дробы. В данной работе сравниваются результаты выполнения наплавки с использованием двух типов присадочных материалов — дробы и таблеток. Второй тип рассматривается в связи с особенностями производства литой дробы.

В настоящее время металлическая дробь может производиться по различным технологическим схемам. Для большинства наиболее применяемых вариантов изготовления общими операциями являются плавка металла, его диспергирование, отделение скрапа, сушка, рассев на фракции, расфасовка и складирование. Для получения наплавочной дробы дополнительно могут вводиться магнитная сепарация, промежуточный рассев и виброочистка. В случае получения колотой дробы необходимо вводить операции ее дробления и рассева.

Наиболее простым, дешевым и распространенным промышленным способом производства дробы является ее получение распылением расплава

воздухом [4]. В ФТИМС НАН Украины (бывший Институт проблем литья АН УССР) разработаны технология и комплексы оборудования модели «Град» для получения литой металлической дробы производительностью от 400 до 6000 т в год.

В проведенных за последние годы исследованиях и практических наплавках, в основном, использовалась литая дробь, полученная по этой технологии. При распылении жидкого металла потоками воздуха получается широкий спектр фракций. Так, при диспергировании струи высокохромистого чугуна, наиболее распространеного износостойкого наплавочного материала, формируются гранулы следующего фракционного состава:

размеры гранул, мм	<0,5	0,5...1	1...3	3...5	>0,5
количество гранул, %	10,1	5,8	51,6	21,5	11,0

Соотношение фракций может изменяться в зависимости от химического состава материала и параметров диспергирования. В любом случае при производстве дробы образуется большое количество фракций, которые невозможно использовать при наплавке. Это связано с тем, что для получения качественной наплавки необходимо применять дробь с достаточно узким интервалом границ фракционного состава. В частности, для относительно легкоплавкого материала — высокохромистого чугуна эти пределы составляют 0,8...2,5 мм.

При наплавке хромистой дробью фракции <0,8 мм усложняется ее ввод в объем шлаковой ванны. Силы поверхностного натяжения расплавленной шлаковой ванны препятствуют проникновению частиц мелкой дробы через поверхностную пленку шлака. При этом частицы скапливаются

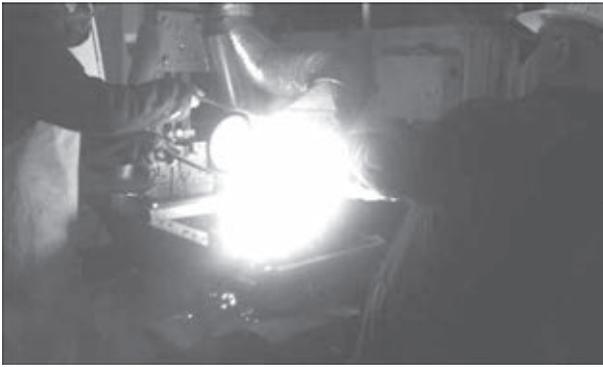


Рис. 1. Заливка расплавленного шлака в токоподводящий кристаллизатор (жидкий старт)

на шлаковой поверхности, образуя конгломераты. Когда масса конгломерата превысит сопротивление сил поверхностного натяжения, он проникает в объем шлака и далее в металлическую ванну. В этом случае в зависимости от режима наплавки и температуры шлаковой ванны он либо успевает расплавиться, либо способствует образованию дефектов в виде пор, шлаковых включений, нерасплавленных частиц присадочного материала.

При подаче на поверхность шлаковой ванны частиц фракции более 2,5 мм в случае наплавки при повышенной массовой скорости подачи присадки в наплавленном металле могут находиться как полностью нерасплавленные гранулы, так и частично оплавленные, формируя композитную структуру наплавленного металла. Такие частицы могут также способствовать образованию в жидком металле шлаковых включений.

Решить эту технологическую, а также и экономическую (использование при наплавке всей получаемой дроби) задачу можно с помощью методов порошковой металлургии. В частности, мелкофракционную часть литой дроби, а также крупнофракци-

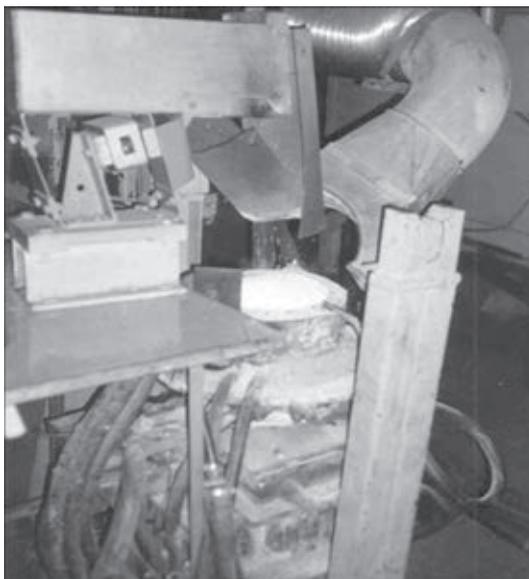


Рис. 2. Торцевая наплавка высокохромистого чугуна с подачей таблеток с помощью вибродозатора



Рис. 3. Внешний вид наплавленной таблетками заготовки

онную (предварительно превращенную в колотую дробь) можно прессовать в таблетки определенного размера. Такие таблетки при наплавке будут служить дискретным материалом того же химического состава, что и наплавочная дробь.

Для изучения особенностей протекания электрошлакового процесса и оценки результатов наплавки с использованием двух типов дискретных наплавочных высокохромистых (22...25 % Cr) чугунов — дроби и таблеток были выполнены опытные наплавки слоя толщиной 25...35 мм в токоподводящем кристаллизаторе диаметром 180 мм. Начало процесса наплавки осуществлялось с жидким стартом (флюс АНФ-29).

Момент заливки расплавленного шлака в кристаллизатор, сам процесс наплавки с подачей присадки в шлаковую ванну (с помощью вибродозатора), а также наплавленный образец показаны на рис. 1, 2 и 3 соответственно.

Технические условия на используемые присадочные материалы были выбраны следующие. Дробь, полученная распылением воздухом, имела фракционный состав диаметром 0,8...2,5 мм (рис. 4). Таблетки изготавливались из мелкофракционных отходов распыления с фракционным составом до 0,4 мм (рис. 4). Превращение этой фракции в таблетки осуществлялось по технологии, применяемой на Броварском казенном заводе порошковой металлургии. В качестве пластификатора использовали бакелитовый лак. В результате прессования получали таблетки диаметром 10 мм и толщиной 2,8...3,2 мм.

Процесс наплавки обоими дискретными материалами протекал стабильно. Но при подаче в шлаковую ванну таблеток наблюдалось некоторое газовыделение, связанное с выгоранием бакелитового лака. Это привело к появлению в металле, наплавленном таблетками, небольшого количества пор. Снижение уровня газовыделения или же его полное исключение возможно при оптимальном выборе пластификатора.

Из полученных биметаллических заготовок путем механической резки были изготовлены образцы для оптической металлографии и рент-

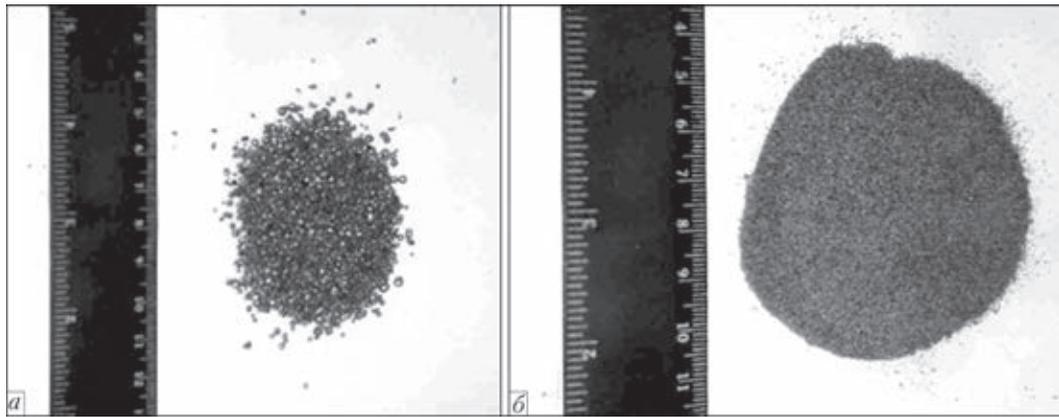


Рис. 4. Дискретные присадки из высокохромистого чугуна: *а* — дробь, полученная распылением воздухом; *б* — мелкофракционные отходы распыления

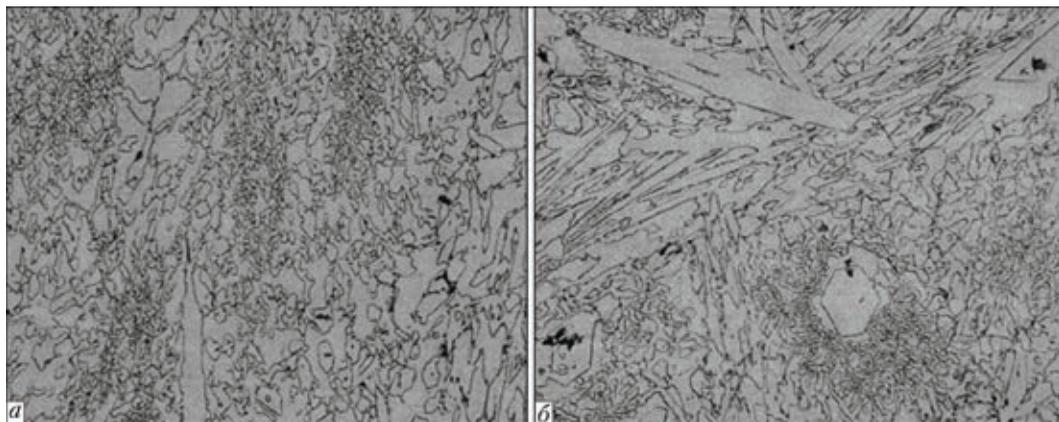


Рис. 5. Микроструктура ( $\times 400$ ) высокохромистого чугуна, наплавленного: *а* — дробью; *б* — таблетками

Таблица 1. Микротвердость структурных составляющих металла, наплавленного дробью и таблетками

Дискретная присадка	Микротвердость, МПа при $P = 0,5 \text{ Н}$			Интегральная твердость при $P = 10 \text{ Н}$ , МПа
	Матрица (аустенит)	Карбиды	Эвтектика	
Дробь	4410...5090	11450...12830	6180...6390	5610...5810
Таблетки	5980	12260...13370	6610	6130

геноспектрального анализа. Исследование микроструктур выполняли с помощью микроскопа «Neophot-32», дюрометрические измерения производили на микротвердомере М-400 фирмы «Лесо», для рентгеноспектральных и рентгеноструктурных исследований использовали Camebax SX-50 и Дрон ЦУМ1 соответственно.

В результате проведенных исследований было установлено следующее. Металл, наплавленный дробью, по сравнению с металлом, наплавленным таблетками, характеризуется почти полным отсутствием крупных карбидов типа  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и меньшими размерами структурных составляющих, в частности, более дисперсными эвтектическими колониями ( $d_{\text{др.}} = 50 \dots 60 \text{ мкм}$ ,  $d_{\text{таб.}} = 80 \dots 90 \text{ мкм}$ ) (рис. 5, *а*, *б*).

Микротвердость структурных составляющих металла, наплавленного дробью и таблетками, представлена в табл. 1.

По результатам рентгеноспектрального анализа (рис. 6, *а*, *б*) можно сделать следующие выводы. Структура металла в обоих случаях состоит, главным образом, из аустенита, а также карбидов

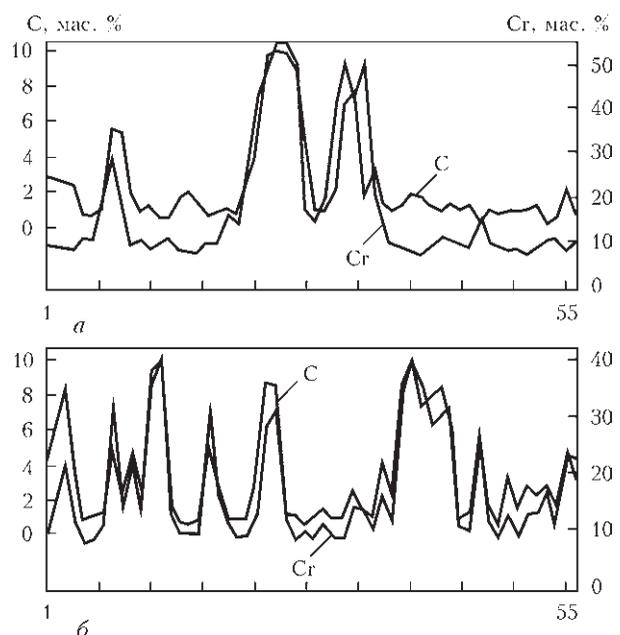


Рис. 6. Результаты рентгеноспектрального анализа высокохромистого чугуна, наплавленного дробью (*а*) и таблетками (*б*)

Таблица 2. Результаты рентгеноструктурного анализа металла, наплавленного дробью и таблетками

Структурные составляющие	Содержание (%) структурных составляющих в металле, наплавленном	
	дробью	таблетками
$\gamma$ -Fe	65,63	80,19
$\alpha$ -Fe	20,97	8,03
$(Cr\ Fe)_7C_3$	13,40	11,78

и хромисто-карбидной эвтектики. Структура металла, наплавленного дробью, характеризуется более мелким строением структурных составляющих и меньшим количеством аустенита, что подтверждается результатами рентгеноструктурного анализа (табл. 2).

Следует отметить, что наблюдаемые структурные отличия в металле, наплавленном разными типами присадки, в определенной степени могут зависеть от оптимального выбора размеров таблеток. Относительно большие размеры таблеток могут приводить к неодинаковым условиям плавления различных их частей: внешняя часть, оплаваясь, приводит к кристаллизации металла, аналогичной происходящей при плавлении дробинки, а внутренняя, являясь конгломератом частиц, не успевает расплавиться и создать равномерные тепловые условия для выравнивания химического состава в объеме металла (своеобразный кластер). Результатом такой неравномерности могут быть,

например, крупные включения карбидов, расположенные в отдельных зонах наплавленного металла (см. рис. 5, б, верх).

### Выводы

1. Экспериментами доказана технологическая и экономическая целесообразность использования некондиционных фракций дискретной присадки, получаемой распылением жидкого металла.

2. Для достижения идентичности микроструктур металла, наплавленного дробью и таблетками, полученными прессованием мелкофракционных отходов распыления жидкого металла, следует оптимизировать как технологию изготовления таблеток, так и их размеры, а также, возможно, массовую скорость подачи таблеток на зеркало шлаковой ванны.

1. Кусков Ю.М. Электрошлаковая наплавка в секционном токоподводящем кристаллизаторе // Сварщик. – 2013. – № 3. – С. 21–23.
2. Электрошлаковая наплавка / Ю.М. Кусков, В.Н. Скороходов, И.А. Рябцев, И.С. Сарычев; под ред. А.Ф. Пименова. – М.: ООО «Наука и технологии», 2001. – 180 с.
3. Ксендзык Г.В., Фрумин И.И., Кусков Ю.М. Электрошлаковая наплавка зернистым присадочным материалом // Теоретические и технологические основы наплавки; под ред. И.И. Фрумина. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1977. – С. 89–95.
4. Затоловский С.С., Мудрук Л.А. Получение и применение металлической дроби. – М.: Металлургия, 1988. – 183 с.

Поступила в редакцию 20.03.2015

**Наплавка. Технологии, материалы, оборудование** / Составители: И. А. Рябцев, И. А. Кондратьев, Е. Ф. Переплетчиков, Ю. М. Кусков. – Киев: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 2015. – 402 стр.

Сборник включает 119 статей сотрудников отдела «Физико-металлургических процессов наплавки износостойких и жаропрочных сталей» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. В этих статьях обобщен многолетний опыт сотрудников отдела в области исследований и разработки новых способов наплавки, наплавочных материалов, технологий наплавки, создании наплавочного оборудования.

Во многом, результаты исследований, которые приводятся в сборнике статей, не потеряли актуальности до настоящего времени и данный сборник будет полезен научным и инженерно-техническим сотрудникам институтов и предприятий, занимающихся проблемами наплавки. Он может быть также во многом полезен студентам ВУЗов и аспирантам соответствующих специальностей.

