

## ДИСКРЕТНЫЕ ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ В ТОКОПОДВОДЯЩЕМ КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Ю. М. КУСКОВ

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

Наиболее перспективным присадочным материалом для электрошлаковой наплавки в токоподводящем кристаллизаторе является дискретная присадка. В качестве такой присадки могут использоваться частицы различной дисперсности: дробь, таблетки, стружка, порошки, сечка, гранулы и пр. При правильном выборе размера частиц и массовой скорости их подачи в шлаковую ванну можно формировать модифицированную мелкозернистую структуру наплавленного металла с повышенными механическими и другими эксплуатационными свойствами. Это подтверждено положительными результатами наплавки прокатных валков различных станов, в частности стана 2000. Наиболее распространенным дискретным наплавочным материалом является присадка в виде стальной и чугуновой дроби. Дробь в основном можно получать по трем технологическим методам: механическим дроблением струи жидкого металла; диспергированием с помощью центробежных сил и диспергированием потоками энергоносителя. Последний метод является наиболее распространенным, в частности, при использовании в качестве распыливающего агента воздуха. Во время распыления и дальнейшего формирования и охлаждения дробинки они насыщаются кислородом, азотом, водородом. Насыщение кислородом зависит от материала дроби, ее размеров и способа получения. Для использования при наплавке дроби с более широким гранулометрическим составом мелкую дробь, а также крупную (после дробления) можно превращать в таблетки методом порошковой металлургии. Процесс их плавления в шлаке аналогичен плавлению дроби обычного размера 0,8...2,5 мм. Особым видом дискретной присадки является стружка легированных сталей и сплавов. Основным требованием к такой присадке является ограничение ее размеров и формы и отсутствие в ней смазочно-охлаждающей жидкости, способствующей изменению химического состава наплавленного металла, особенно по углероду. Иные присадки, в частности в виде отходов различных производств (шламовые отходы, отходы, образующиеся при зачистке слитков, обработки инструмента и пр.) не обеспечивают постоянство качества наплавленного металла, но могут применяться при разработке ресурсосберегающих технологий наплавки. Библиогр. 4, табл. 3, рис. 9.

*Ключевые слова:* электрошлаковая наплавка, токоподводящий кристаллизатор, дробь, стружка, таблетки, гранулы

Разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона конструкция токоподводящего кристаллизатора [1] при электрошлаковой наплавке (ЭШН) позволяет использовать электроды и присадочные материалы (заготовки различного сечения, ленты, дискретные частицы — порошки, сечка, гранулы, дробь, стружка и пр.), а также жидкую присадку.

Наиболее перспективны дискретные присадки. Частицы присадки, расплавляясь в шлаковой ванне и очищаясь в ней от вредных примесей, поступают в оплавленном или расплавленном виде в металлическую ванну, которая затем кристаллизуется в наплавленный металл. При правильном выборе размера частиц и массовой скорости их подачи в шлаковую ванну можно обеспечить формирование в кристаллизующемся жидком металле большого количества центров кристаллизации. Эти центры позволяют модифицировать наплавленный металл, в результате чего структура получается равноосной и мелкозернистой. Такая измененная структура способствует повышению механических и специальных (износостойкость, стойкость против термической усталости) свойств металла.

Как показали наши исследования по физическому и математическому моделированию процесса переноса и плавления дискретной присадки в виде гранул износостойкого высокохромистого чугуна (16...30 мас. % Cr), для кольцевой и торцевой наплавки можно использовать гранулы размером до 4 мм. Для дальнейшего роста производительности процесса (увеличение массовой скорости подачи присадки) рекомендован фракционный состав в пределах 0,8...2,5 мм. Как показала практика кольцевой наплавки рабочих поверхностей (бочек) прокатных валков стана 2000 (диаметр бочки примерно 1 м), производительность может достигать 400...500 кг/ч без сохранения в наплавленном металле нерасплавившихся частиц присадки [2].

**Дробь.** Наиболее распространенным видом дискретного наплавочного материала является присадка в виде стальной или чугуновой дроби. В связи с тем, что в большинстве случаев речь идет об износостойкой наплавке, то наиболее часто присадкой служит дробь из высокохромистого и хромоникелевого чугуна (металл типа «Нихард»).

В настоящее время существуют следующие основные технологические методы диспергирования

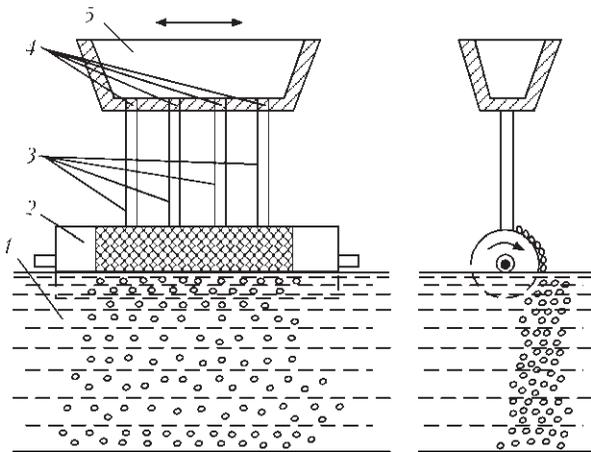


Рис. 1. Схема получения дробы механическим дроблением струи жидкого металла: 1 — охлаждающая вода; 2 — распылительный барабан; 3 — струи расплава; 4 — литниковые каналы для истечения расплава; 5 — промежуточный ковш

металлических расплавов [3]: механическое дробление струи жидкого металла; диспергирование с помощью центробежных сил и диспергирование потоками энергоносителя.

Механическое дробление струи осуществляется в результате удара расплавленного металла о твердую поверхность, чаще всего барабана, частично погруженного и вращающегося в охлаждающей его жидкости, и дальнейшем охлаждении сформированных дробинки в бассейне-охладителе (рис. 1). Этот метод мало пригоден для получения литой дробы из стали и других материалов с высокой температурой плавления. При высокой температуре жидкого металла происходит налипание расплава на рабочий инструмент, возникает эрозия или частичное разрушение его рабочей поверхности, ухудшается качество дробы.

Диспергирование металлических расплавов с помощью центробежных сил осуществляется следующим образом. Стабилизированная по скорости и расходу струя жидкого металла поступает во вращающуюся чашу и, приобретая ускорение под действием центробежных сил, диспергируется и сбрасывается через верх в виде капель, которые в процессе полета формируются в гранулы (дробинки), а затем попадают в охлаждающий бас-

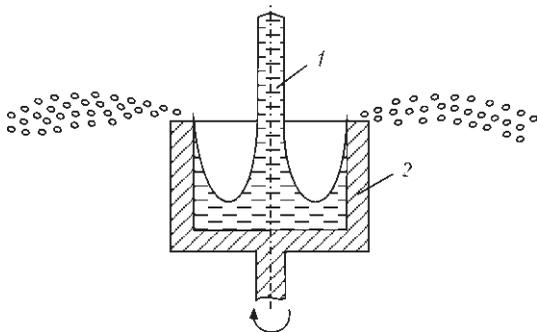


Рис. 2. Схема получения дробы с помощью центробежных сил: 1 — струя расплава; 2 — чаша из огнеупорного материала

сейн, где окончательно охлаждаются и затвердевают (рис. 2). Вместо вращающейся чаши может использоваться перфорированный стакан. Диспергированием с помощью центробежных сил получают дробь более однородную по гранулометрическому составу, чем при литье на барабан; при этом сокращается выход мелкой и крупной дробы. Однако основным недостатком этой технологии является низкая стойкость рабочего инструмента.

Диспергирование с помощью энергоносителей является наиболее распространенным и перспективным методом получения стальной и чугунной дробы, а также сплавов с высокой температурой плавления. В качестве диспергирующего агента применяют разнообразные энергоносители: воздух, воду, инертные газы, пар и др. Разрушение струи жидкого металла происходит за счет кинетической энергии энергоносителя (рис. 3).

Некоторые виды дробы, полученной механическим дроблением струи жидкого металла (дробь из нелегированного чугуна), распылением воздухом (дробь из легированных чугунов и стали), а также иная дискретная присадка, применяемая для наплавки, представлены на рис. 4. Микроструктура гранул (дробинки) диаметром 2 мм из нелегированного, хромоникелевого и высокохромистых чугунов показана на рис. 5.

Прохождение жидкой струи металла через воздушную среду и дальнейшее охлаждение в бас-

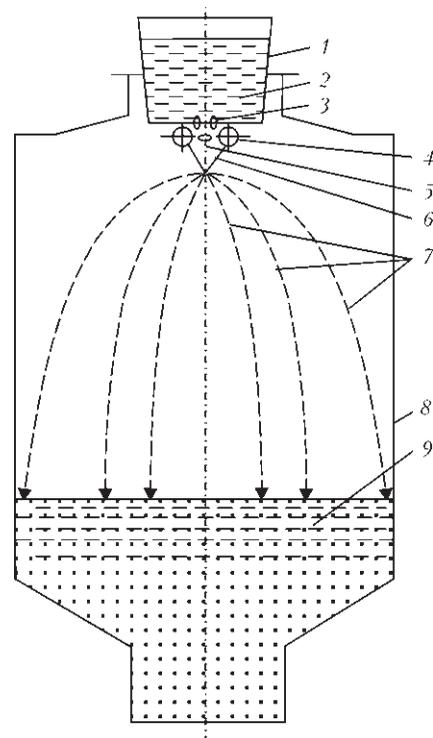


Рис. 3. Схема получения дробы с помощью энергоносителей (газа): 1 — промежуточный ковш; 2 — жидкий металл; 3 — разливочный стакан; 4 — коллектор; 5 — струя расплава; 6 — потоки энергоносителя; 7 — траектории падения гранул; 8 — распылительная камера; 9 — охлаждающая вода

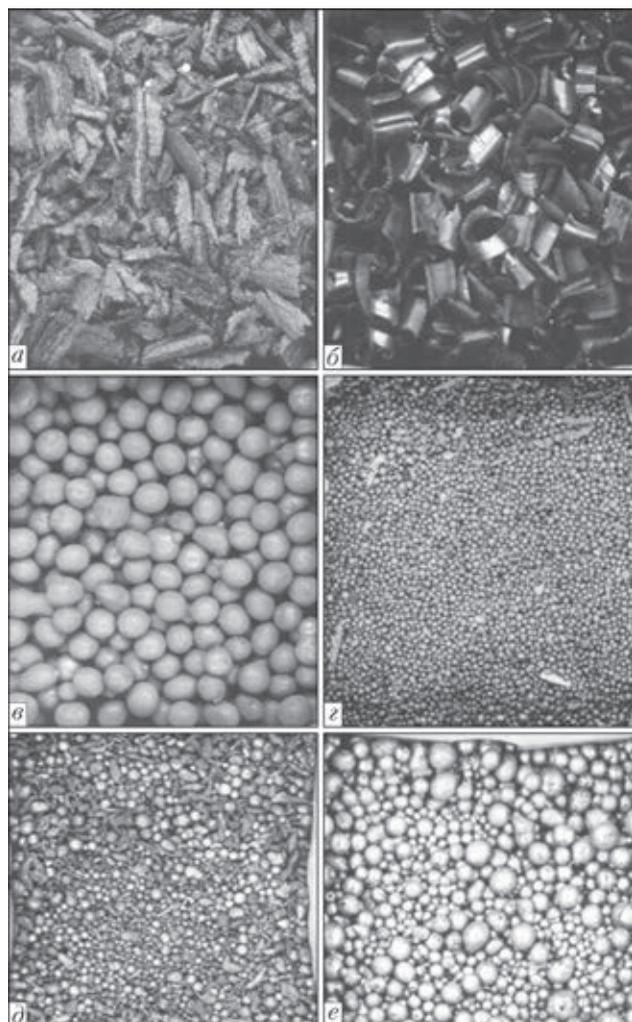


Рис. 4. Некоторые виды дискретной присадки, применяемой при ЭШН в токоподводящем кристаллизаторе: *a* — стружка серого чугуна; *b* — стружка стали Р6М5; *в* — дробь нелегированного чугуна; *г* — порошок стали Р6М5К5; *д* — дробь хромистого чугуна (16 % Cr); *e* — дробь хромоникелевого чугуна

сейне-охладителе приводит к окислению гранул и некоторому их насыщению водородом и азотом. Результаты химического анализа дробы хромистого чугуна, полученной путем распыления жидкого металла воздухом, представлены в табл. 1.

Наличие оксидных пленок на поверхности дробинок изучено с помощью оптической микроскопии по периметру поперечного сечения микрошлифа (табл. 2). Как видно из табл. 2, толщина оксидных пленок зависит от материала дробы, ее размеров и способа получения. Во всех случаях оксидная пленка прерывистая, не покрывает полностью всю поверхность дробинок.

**Таблица 1.** Содержание  $N_2$  и  $H_2$  в дробы хромистого чугуна, полученной распылением жидкого металла воздухом, и в наплавленном металле, мас. %

Химические элементы	Фракции дробы, мм		Наплавленный металл
	0,5...1	1...3	
$N_2$	0,033	0,050	0,043
$H_2$	0,00501	0,00201	0,000620



Рис. 5. Микроструктура ( $\times 500$ ) гранул (дробинок) диаметром 2 мм: *a* — нелегированный чугун; *b* — хромоникелевый чугун; *в* — высокохромистый чугун

Учитывая, что в наплавленном металле не обнаружено повышенного количества оксидных включений, можно считать, что имеющиеся на поверхности дробинок оксидные пленки ассимилируются шлаком при прохождении присадкой шлакового слоя.

Подача присадки на поверхность шлаковой ванны осуществляется дозаторами. В настоящее время опробованы два типа дозаторов: с дозирующим устройством барабанного типа (ОБ-1960), совершающего во время кольцевой наплавки возвратно-вращательные движения, и вибродозаторы (рис. 6). Первому типу дозаторов присущи недостатки, связанные с обеспечением его стабильной работы из-за возможного заклинивания присадки вращающегося барабана и корпуса, в котором он вращается; определенные сложности возникают при возвратно-вращательном перемещении токо-

Таблица 2. Размеры оксидных пленок на поверхности дробинok чугунов и стали 100ХНМ\*, мкм

Материал дроби	Способ получения дроби	Фракции дроби, мм					
		1		2		3	
		толщина	длина	толщина	длина	толщина	длина
Нелегированный чугун	Механическое распыление	-	-	10...25	20	45	50
Хромоникелевый чугун	Распыление воздухом	5	10	10	15	Не обн.	Не обн.
Высокохромистый чугун	->-	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	->-	->-
Сталь 100ХНМ	->-	10...15	500	10	50	35	500

\*Металлографические исследования выполнены инженером И. Л. Богайчук.

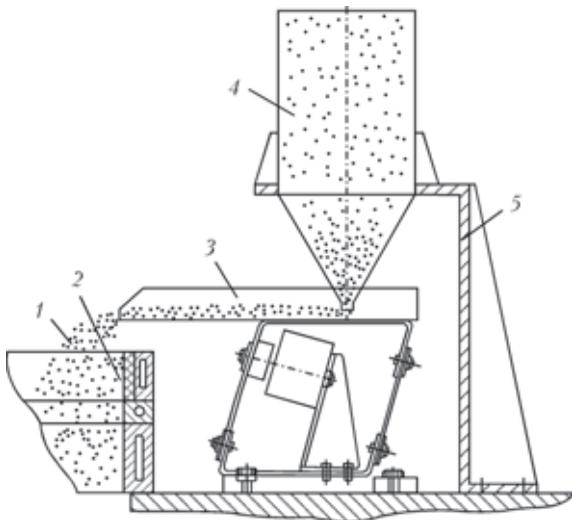


Рис. 6. Схема вибродозатора, применяемого при ЭШН в токоподводящем кристаллизаторе: 1 — дискретная присадка; 2 — кристаллизатор; 3 — подающее устройство (рабочий короб); 4 — бункер с дискретной присадкой; 5 — кронштейн

подводящих кабелей двигателя дозатора. Второй тип дозаторов применяется наиболее часто. При отсутствии жестких требований к массовой скорости подачи присадки он хорошо зарекомендовал себя как при торцевой, так и при кольцевой ЭШН. На рис. 7 показана наплавка валка стана 2000 с использованием четырех вибродозаторов с бункерами для дроби массой 500 кг каждый.

**Таблетки.** При распылении жидкого металла потоками энергоносителя получается широкий спектр фракций присадки. Так, при диспергировании воздухом струи высокохромистого чугуна на установках модели «Град» конструкции ФТИМСа НАНУ получается следующий фракционный состав гранул:



Рис. 7. Наплавка валка стана 2000 с использованием четырех вибродозаторов с бункерами для дроби массой 500 кг каждый



Рис. 8. Торцевая наплавка высокохромистого чугуна с подачей таблеток с помощью вибродозатора

размеры гранул, мм	<0,5	0,5-1	1-3	3-5	>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.

Как видно из этих данных, для наплавки можно использовать менее 50 % получаемой дроби. Фракции дроби, выходящие по размерам за пределы ТУ (0,8...2,5 мм), используют в качестве шихты для последующих плавов. При этом повышается угар химических элементов, усложняется процесс плавки, возрастает стоимость дроби. Для исключения этих недостатков производства дроби можно применять методы порошковой металлургии. На Броварском казенном заводе порошковой металлургии были спрессованы таблетки из гранул высокохромистого чугуна размером менее 0,8 мм. Для получения относительно прочных таблеток при приготовлении смеси в нее добавляли пластификатор (бакелитовый лак). Наплавка полученными таблетками проходила в обычном режиме (по сравнению с наплавкой дробью). Газовыделение при плавлении таблеток регулируется подбором соответствующего пластификатора. Дробь, имеющая размеры более 2,5 мм, также может быть вовлечена в одностадийный процесс получения присадочного наплавочного материала. При этом она предварительно должна быть пе-

Таблица 3. Химический состав и твердость металла, наплавленного стружкой стали 15X11МФ, при различных способах ее очистки

№ п/п	Обработка стружки с СОЖ до наплавки	Химический состав наплавленного металла, мас. %										Твердость HB/HRC
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Cu	S	P	
Сталь 15X11МФ по ГОСТ 5632–72		0,12... 0,19	≤0,50	≤0,70	10,0... 11,5	0,60... 0,80	0,25... 0,40	≤0,6	≤0,30	≤0,025	≤0,03	≤285/-
1	Без обработки	3,86	0,32	0,41	10,81	0,06	0,04	0,19	0,11	0,012	0,03	-/54
2	Промывка в горячей воде с кальцинированной содой + прокатка при 600 °С, 0,5 ч	0,44	0,22	0,36	11,2	0,10	0,04	0,18	0,3	0,004	0,035	-/43
3	Пятиразовое кипячение с кальцинированной содой и стиральным порошком	0,28	0,22	0,27	10,30	0,66	0,30	0,40	0,15	0,004	0,027	-
4	Промывка на автомойке	0,17	0,29	0,25	10,34	0,67	0,29	0,34	0,15	0,003	0,013	-

реведена в разряд колотой дроби с последующим прессованием мелких частиц в таблетки; более крупные осколки могут также представлять наплавочную присадку, как и обычная дробь, в случае, если их размеры не превышают установленные ТУ.

На рис. 8 показана торцевая наплавка высокохромистого чугуна с подачей таблеток с помощью вибродозатора.

**Стружка.** Применение при наплавке стружки легированных сталей и различных типов чугунов позволяет значительно сократить расходы на наплавочные работы. Это связано с тем, что в себестоимости наплавки основной составляющей расходов является стоимость наплавочных материалов.

Для наплавки используется стружка невитая, с небольшими размерами (<[0,5×5×5 мм]), которую получают при фрезерной и строгальной обработке металла. Для ряда материалов (в основном твердых и хрупких) можно получить стружку необходимых размеров при токарной обработке и сверлении (см. рис. 4).

Использование этого вида наплавочного материала затруднительно по двум причинам. Это наличие в ней смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и сложность в организации сбора стружки по размерам и химическому составу. Что касается сбора стружки, то в настоящее время эта проблема стала решаться проще в связи с меньшей номенклатурой применяемых инструментальных сталей (в частности, быстрорежущих) и меньшим объемом работ по механической обработке деталей.

Наличие в стружке СОЖ нарушает стабильность процесса наплавки, ухудшает экологические условия в связи с повышенным газовыделением, изменяет химический состав наплавленного

металла (в основном по углероду), может влиять на качество металла (главным образом из-за образования пор).

Для удаления СОЖ обычно используют химические методы обработки стружки, а также термические, либо их сочетание. В табл. 3 представлены результаты химического анализа металла, наплавленного стружкой стали 15X11МФ, при различных способах ее очистки.

Для чугуновой стружки рекомендуется выполнять термическую обработку при 800...1000 °С [4]. При такой обработке обеспечивается снижение содержания СОЖ в чугуновой стружке до 0,3 мас. %.

Внешний вид заготовки, наплавленной стружкой стали 15X11МФ, показан на рис. 9.

Помимо представленных выше основных видов присадочных материалов, для наплавки могут использоваться и другие, применение которых позволяет говорить о ресурсосберегающих технологиях наплавки. В частности, это или шламовые отходы, отходы, образующиеся при зачистке слитков легированных сталей, обработки инструмента и т.п. Технология наплавки этими материалами более сложная, трудно обеспечить высокое качество наплавленного металла. При этом возможно применение двух технологических схем. Первая — это тщательная очистка (например, путем магнитной сепарации) присадки от посторонних (чаще всего неметаллических) составляющих и затем использование очищенной части при наплавке. В этом случае возникают сложности как во время ввода полученных мелких частиц в шлаковую ванну, так и с точки зрения обеспечения равномерности и стабильности их погружения в шлак. Такого рода проблемы связаны с коагуляцией частиц на поверхности шлаковой ванны и действием сил поверхностного натяжения шлака. Прогнозировать качество наплавки при исполь-

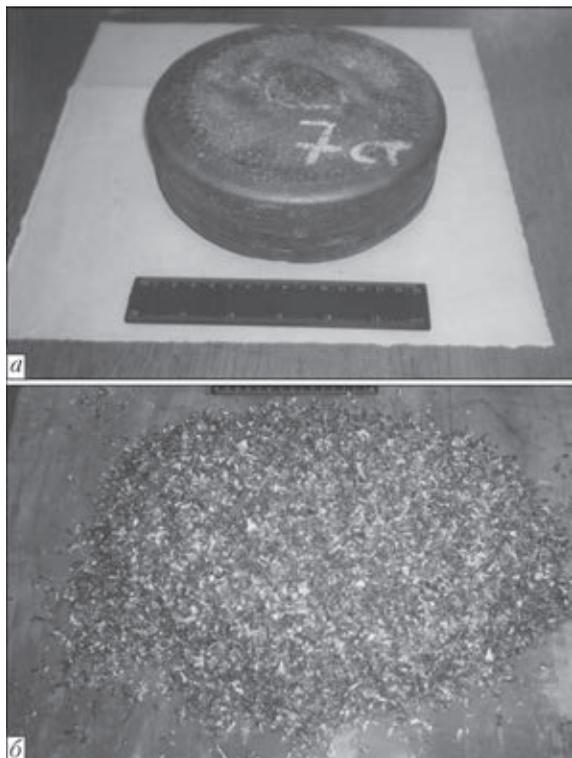


Рис. 9. Внешний вид плавленной заготовки (а) и дискретная наплавочная присадка — стружка стали 15X11МФ (б) (опыт № 4, табл. 3)

зовании такой присадки затруднительно. Вторая схема является двухстадийной. Она также предусматривает первичную обработку (менее тщательную, чем в первом случае), затем переплав очищенной присадки, получение легированного слитка, его дробление и использование колотой присадки, как и в случае применения при проплавке колотой дроби. За счет первичной шлаковой обработки присадки получаемый металл слитка (впоследствии наплавочной присадки) имеет улучшенные показатели как по структуре, так и химическому составу.

## Выводы

1. Наилучшее качество металла, наплавленного в токоподводящем кристаллизаторе, можно получить при использовании дискретной присадки. Наиболее перспективным видом присадки является литая дробь, полученная методом диспергирования струи жидкого металла энергоносителем, в частности воздухом.

2. Для улучшения экономических показателей ЭШН в токоподводящем кристаллизаторе можно использовать присадку в виде таблеток и стружки. При оптимизации технологии получения такой присадки и методов ее подготовки к наплавке можно обеспечить получение качественных биметаллических изделий.

3. Иные виды присадок, в частности отходы различных производств, содержащих легированную металлическую часть, приводят к усложнению технологии ЭШН, но имеют предпочтение благодаря тому, что являются основными экономическими составляющими ресурсосберегающих процессов. Не обеспечивая постоянно высокое качество наплавленного металла, они тем не менее могут использоваться при восстановлении деталей, основным требованием к которым является экономическая целесообразность.

1. Кусков Ю. М. Ресурсосберегающая технология восстановления и изготовления деталей методом электрошлаковой наплавки // Технология машиностроения. – 2006. – № 6. – С. 40–42.
2. Кусков Ю. М., Рябцев И. А., Сарычев И. С. Восстановление чугунных валков стана 2000 в токоподводящем кристаллизаторе // Сварщик. – 2004. – № 1. – С. 12–13.
3. Затуловский С. С., Мудрук Л. А. Получение и применение металлической дроби. – М.: Металлургия, 1988. – 183 с.
4. Термообработка чугунной стружки, загрязненной СОЖ / В. В. Потапов, С. Д. Цымбалов, А. Б. Коростелев и др. // Литейн. пр-во. – 2009. – № 11. – С. 19–20.

Поступила в редакцию 23.03.2014