



УДК 669.187.526.001.57

ПЕРЕРАБОТКА СТРУЖКИ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ ЭП609-III СПОСОБОМ КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОД ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫМ ПЕРЕПЛАВОМ

**В. А. Шаповалов, В. Р. Бурнашев, Ф. К. Биктагиров,
А. И. Украинец, М. А. Брагин, В. Н. Пудиков,
В. С. Константинов, В. В. Степаненко, А. Н. Пешков**

Предложен способ компактирования стружки в проходной матрице в сочетании с электронагревом. Показано, что данным способом можно получать длинномерные изделия, пригодные для использования в качестве расходимых электродов для процессов спецэлектрометаллургии. Установлено, что качество выплавленного из металла находится в пределах нормы.

Method of compacting in a leading-through matrix in combination with electric heating has been offered. It is shown that this method allows producing long products, suitable as consumable electrodes for the processes of special electro-metallurgy. It was found that the quality of metal, produced of them, is on the level of standard.

Ключевые слова: компактирование; электронагрев; утилизация; некомпактные металлические отходы; металлическая стружка; расходимый электрод

Спрос на легированные марки сталей стабильно увеличивается в среднем на 5...6 % в год. Согласно различным литературным источникам, производство нержавеющей марок стали колеблется от 27,8 до 28,2 млн т в год.

В среднем коэффициент использования нержавеющей сталей на металлообрабатывающих предприятиях составляет 0,5...0,7, остальное идет в отходы, большую часть которых составляет стружка.

Проблема утилизации металлической стружки до сих пор полностью не решена, а непосредственное ее использование связано с рядом следующих трудностей: загрязнением смазывающей охлаждающей жидкостью (СОЖ) — после механической обработки, большим угаром при переплаве, низкой насыпной плотностью, отсутствием эффективной техники и технологии перегрузки при транспортировании и загрузке переплавных печей. Способ компактирования стружки является очень эффективным и позволяет приблизить плотность спрессованного материала до 0,5...0,8 плотности литого металла.

Существует несколько способов компактирования материалов: гидростатическое холодное прессование, электроимпульсный способ прессования, взрывной, спекание, штамповка, прокатка. Однако

все они имеют недостатки при прессовании в закрытой матрице (малая длина полученной прессовки, недостаточная прочность заготовки при холодном прессовании, невысокая плотность брикета при импульсивном компактировании [1–4]). Получение прессовок массой более 15 кг затруднительно и связано с использованием мощных прессов с удельным давлением прессования свыше 500 МПа. А это крупногабаритное и дорогостоящее оборудование.

Однако существующие способы не позволяют эффективно перерабатывать стружку, особенно это касается стружки жаропрочных сталей и ряда других высоколегированных сплавов.

Данная проблема может быть решена путем совмещения процесса прессования с нагревом, что позволит повысить пластичность стружки и уменьшить усилия прессования. В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны способ и опытно-промышленная установка для компактирования шихты способом полунепрерывного горячего прессования (рис. 1).

Компактирование стружки одновременно с прямым электронагревом производят в проходной матрице специальной конструкции. В отличие от других схем ведения процесса, принципиально изменена схема установки. Она оснащена механизмом вытягивания прессовки, а кроме того, разработана новая конструкция нижнего токоподвода. Если обычно токоподвод в установках по прессованию брике-

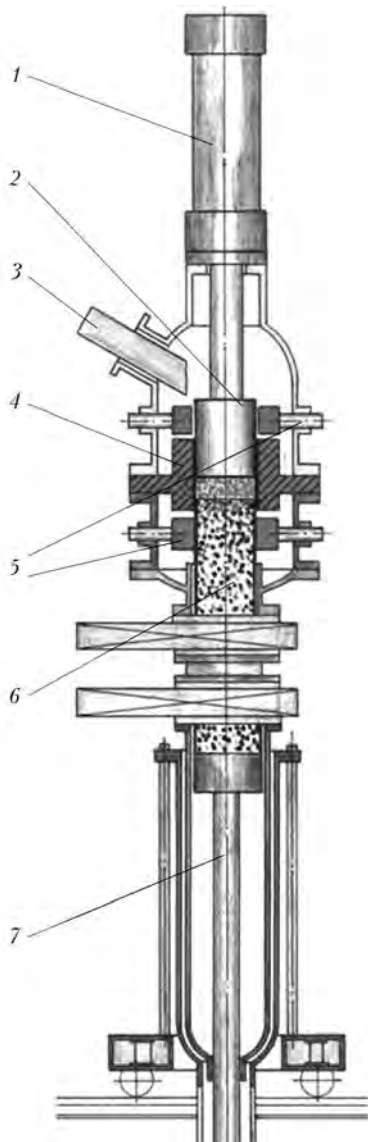


Рис. 1. Схема установки для компактирования: 1 – гидроцилиндр; 2 – пуансон; 3 – лоток для подачи стружки; 4 – матрица; 5 – токоподводы; 6 – скомпактированная заготовка; 7 – шток

тов подсоединяют к днищу матрицы, то в разработанной установке ток подводят непосредственно к боковой поверхности формируемой заготовки или к заправке (в стартовый период).

Процесс осуществляется при относительно невысоких усилиях прессования (2,5 МПа), что значительно сокращает стоимость оборудования. Компактирование стружки выполняют следующим образом: в матрицу подается стружка стали ЭП609-III фракции не более 70... 80 мм массой до 1 кг. Затем стружка сжимается пуансоном. Через токоподводы поступает ток 10... 12 кА при напряжении 7... 12 В. Стружка за счет джоулева тепла, выделяемого при



Рис. 2. Заготовка, скомпактированная из стружки жаропрочного сплава ЭП609-III



Рис. 3. Слиток, выплавленный из скомпактированной стружки
прохождении тока, разупрочняется. В этот момент происходит сдавливание пуансоном стружки до минимального объема. Длительность компактирования одной порции составляет 25 с. Затем загружается следующая порция стружки и процесс повторяется.

При прохождении тока в объеме прессуемой стружки, а также между прессуемой и спрессованной порциями возникают микродуги. В момент сдавливания жидкая фаза распространяется по объему порции и между порциями, замоналичивая спрессованную заготовку. В течение всего процесса прессования происходит вытягивание спрессованной стружки, что позволяет получать длинномерные заготовки.

В ходе экспериментов получили заготовки длиной 1000 мм, диаметром 100 мм и плотностью образца 4,25... 5,00 г/см³ (54,5... 64 % плотности литого металла). Исследования влияния гранулометрического состава стружки на качество спрессованной заготовки показали, что с уменьшением размеров стружки до 40... 50 мм не только увеличивается плотность спрессованной заготовки, но и повышается ее прочность. Полученные спрессованные заготовки (рис. 2) использовали в качестве расходных электродов при электрошлаковой выплавке слитков в агрегате типа А550.

Переplав спрессованной заготовки из стружки ЭП609-III производили в глуходонном кристалли-

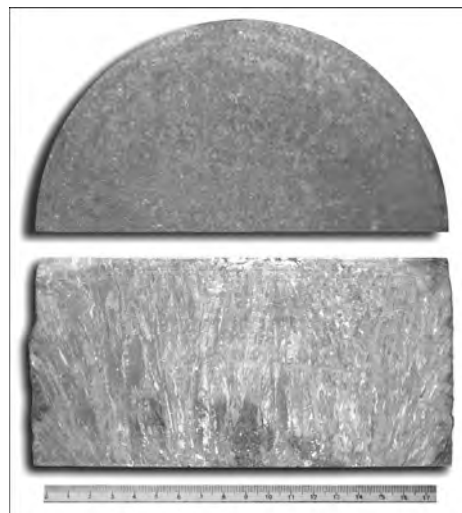


Рис. 4. Макроструктура слитка ЭШП сплава ЭП609-III



Таблица 1. Механические свойства стали ЭП609-III при комнатной температуре

Образец слитка	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCV, Дж/см ²	$D_{отп}$, мм	HB	Длительная прочность		
								T, °C	σ , МПа	τ , ч
B	990	862	18	51	71,54... 61,74	3,4	321	400	657	100
								400	657	100
C	960	872	18	58	85,26... 96,04	3,3	341	400	657	100
								400	657	100
И 255.105.092-87, ЭП609-III	≥ 755	≥ 676	У 6	У 34	У 44,1	3,3... 3,8	341... 255	400	657	У 100

Примечание. Направление вырезки всех образцов – поперечное; $D_{отп}$ – диаметр отпечатка.

Таблица 2. Химический состав стали ЭП609-III

Образец	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V
B1	0,084	0,55	0,30	0,03	0,002	10,96	0,39	1,61	0,07	0,22
B2	0,088	0,52	0,30	0,03	0,002	10,98	0,39	1,61	0,07	0,22
C1	0,088	0,39	0,29	0,03	0,002	10,81	0,4	1,63	0,07	0,21
C2	0,086	0,42	0,29	0,03	0,002	10,95	0,4	1,64	0,06	0,22
И 255.105.092-87, ЭП609-III	0,09... 0,05	≥ 0,6	У 0,6	У 0,03	У 0,020	10,5... 12,0	0,35... 0,50	1,4... 1,8	0,05... 0,15	0,15... 0,25

заторе с жидким стартом. В качестве шлака применяли смесь АНФ-6 с флюоритовым концентратом. В процессе переплава поддерживали следующий режим: $I = 1,5... 2,0$ кА, $U = 35... 36$ В. В результате выплавлены слитки диаметром 175 мм, высотой 175... 250 мм и массой от 32 до 42 кг (рис. 3).

Металлографические исследования темплетов, вырезанных из слитка стали ЭП609-III в поперечном (рис. 4, а) и продольном (рис. 4, б) направлениях показали, что металл плотный и видимых дефектов не имеет. Исследования механических свойств металла проведены в условиях НПО «Заря-Машпроект», г. Николаев.

Для определения механических свойств вырезали образцы из верхней В и средней С частей слитка в поперечном направлении и подвергали их термообработке по следующему режиму: закалка (1030 ± 10) °C; 60... 80 мин, масло; отпуск (650 ± 20) °C; выдержка 60... 100 мин, воздух. После термообработки провели механические испытания образцов при комнатной температуре и на длительную прочность (табл. 1). Исследования показали, что механические свойства слитка стали ЭП609-III, выплавленного из электродов, спрессованных из 100 % стружки, удовлетворяют требованиям И 255.105.092-87 для сплава ЭП609-III. Химический состав выплавленного металла определяли на ударных образцах (табл. 2). Как свидетельствуют данные табл. 2, распределение элементов в поперечном и продольном направлениях слитка равномерное и соответствует требованиям И 255.105.092-87 для химического состава слитков ЭП609-III.

Таким образом, установлено, что новая технология позволяет эффективно утилизировать некомпактные металлические отходы, способствует повышению рентабельности производства.

Кроме того, использование указанного способа дает возможность компактировать стружку или шихту различных видов легковесного металлолома (листовая обрезь, проволока, порошки) из разнообразных металлов и сплавов (в том числе и их смесей) с целью получения электродов для переплавных процессов специальной металлургии [5].

Выводы

1. Показано, что способом компактирования под электрическим током можно получать компактные длинномерные заготовки и использовать их в качестве электродов для процессов спецэлектрометаллургии.
2. Разработана технологическая схема получения слитков стали ЭП609-III из стружки.
3. Установлено, что качество слитка, полученного способом электрошлакового переплава скомпактированных заготовок из стружки стали ЭП609-III, соответствует требованиям И 255.105.092-87.

1. Абрамова К. Б., Самуилов С. Д. Метод брикетирования металлической стружки // Рынок вторичных металлов. – 2005. – 2/28. – С. 50-54.
2. Степанов С. И. Исследование процесса горячего прессования и свойств деталей из стальной стружки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1967. – 22 с.
3. Получение расходуемых электродов компактированием титановой губки под током / М. Л. Жадкевич, В. А. Шаповалов, В. С. Константинов и др. // Современ. электрометаллургия. – 2005. – № 3. – С. 64-67.
4. Дорофеев Ю. Г. Динамическое горячее прессование пористых материалов. – М.: Наука, 1968. – 120 с.
5. Пат. 7997 Украина, МПК С22 В 1/248. Способ компактирования металовой шихты / Б. С. Патон, М. Л. Жадкевич, В. О. Шаповалов та інші. – Опубл. 10.08.2007; Бюл. № 12.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
Поступила в редакцию 18.05.2009