

ЭШП ЭЛЕКТРОДОВ, СПРЕССОВАННЫХ ИЗ СТРУЖКИ АУСТЕНИТНЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

**В. А. Шаповалов, В. Р. Бурнашев, Ф. К. Биктагиров,
А. П. Игнатов, Г. Ф. Мьяльница, В. В. Степаненко,
М. А. Брагин, В. Н. Пудиков, Д. В. Подъячев,
Д. В. Ботвинко, Д. М. Жиров, А. В. Гнатушенко**

Определены оптимальные технологические параметры компактирования аустенитной нержавеющей стружки в электроды для ЭШП. Показана зависимость плотности электрода от гранулометрического состава стружки. Установлены оптимальные режимы ЭШП спрессованных электродов. Изучено качество полученного металла.

Optimum technological parameters of compacting the austenite stainless chips into electrodes for ESR are defined. The dependence of electrode density on granulometric composition of chips was established. The optimum conditions of ESR of pressed electrodes were found. The quality of obtained method was studied.

Ключевые слова: стружка аустенитных нержавеющей сталей; прессование под током; электроды ЭШП; качество слитков

Среди нержавеющей сталей широкое распространение в промышленности получили аустенитные стали типа 18-10. Оценивая энергозатраты производства аустенитной нержавеющей стали за весь ее жизненный цикл, авторы работы [1] установили, что в случае использования исходных материалов при производстве 17 млн т / год без добавления вторичного сырья потребуется 9·10¹⁷ Дж первичной энергии, а это приводит к выбросу 61 млн т СО. Частичное использование лома при выплавке стали позволяет снизить расход энергии на 33 % (до 4,4·10¹⁷ Дж) и выброс СО на 32 % (до 29 млн т). Если же при производстве стали использовать только ее отходы (скрап), то потребление энергии снижается на 67, а выброс СО — на 70 %.

Из этого следует, что переработка отходов нержавеющей сталей не только экономически выгодна, но и целесообразна экологически. Наиболее сложной в данном процессе является переработка стружки. Для ее переплава требуется предварительное компактирование как для уменьшения угара и безвозвратных потерь, так и для удобства транспортировки и загрузки в плавильный агрегат.

Существуют различные способы компактирования металлов (гидростатическое холодное электроимпульсное прессование, уплотнение взрывом, спеканием, штамповкой и прокаткой), которые, однако, не позволяют с высокой степенью эффективности готовить к переработке стружку высоколегированных сталей и сплавов, в том числе нержавеющей [2, 3].

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан способ и создана опытно-промышленная установка для компактирования стружки способом полунепрерывно-

го горячего прессования [4–6]. Эксперименты по прессованию различных материалов (титановая губка, стружка стали ЭП-609, чугуна, алюминия и др.) показали перспективность утилизации металлических отходов предложенным способом.

Достоинством разработанного способа компактирования шихты под током, помимо возможности получения длинномерных заготовок, является угар из стружки остатков смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) при нагреве прессуемого металла до высоких температур. Это позволяет использовать стружку без предварительной очистки от органических остатков механической обработки.

Стружка из смеси аустенитных сталей типа X18N9 и X18N10T поставлялась предприятием «Зоря»–«Машпроект» (г. Николаев). После дробления ее не промывали для удаления остатков СОЖ, а подвергали прессованию на заготовки диаметром 100 мм и длиной до 1000 мм. Режимы прессования следующие: электрический ток, пропускаемый через шихту, составлял 10... 12 кА, прилагаемое напряжение — 12... 17 В. Масса одной порции стружки, загружаемой в матрицу установки прессования, равнялась 650 г, длительность ее прессования — 3 с, удельный расход электроэнергии — 0,5... 1,0 кВт·ч/кг.

Отдельные порции стружки в процессе компактирования нагревались до температуры размягчения, а местами — до жидко-твердого состояния и при усилении прессования до 2,5 МПа надежно соединялись между собой. В итоге получалась длинномерная сварно-спрессованная заготовка, которая служила в качестве расходного электрода при ЭШП. В случае необходимости заготовки сваривали между собой способом ручной сварки для получения расходных электродов для ЭШП длиной до 1800 мм (рис. 1).



Рис. 1. Получение электродов: *a* — спрессованного ($L = 1000$ мм); *б* — собранного из двух прессовок ($L = 1880$ мм)

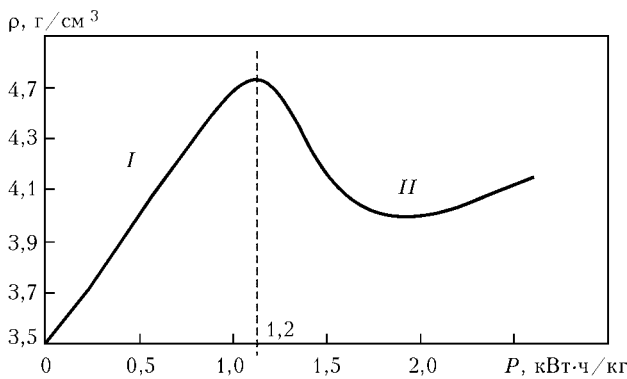


Рис. 2. Зависимость плотности ρ спрессованной заготовки от удельного расхода электроэнергии P : *I* — мелкая стружка 10... 25 мм; *II* — крупная стружка 25... 70 мм

Плотность спрессованных из стружки нержавеющей сталей электродов колебалась от 3,9 до 4,75 кг/см³, что составило 54... 64 % плотности литого металла. Причем плотность скомпактированного металла во многом зависит от степени измельчения стружки. При прессовании более мелкой стружки она выше (рис. 2). Из этого рисунка видно, что для стружки размером 10... 25 мм оптимальным является расход электроэнергии на прессование, составляющий око-



Рис. 3. Электрошлаковый переплав спрессованных электродов

ло 0,5... 0,7 кВт·ч/кг. Дальнейшее увеличение тока и времени прессования с экономической точки зрения нецелесообразно.

Скомпактированную в электроды стружку нержавеющей стали переплавляли способом ЭШП в кристаллизаторе диаметром 175 мм. Плавки осуществляли по двум схемам: в глухонный кристаллизатор и с вытягиванием слитка из кристаллизатора.

В процессе ЭШП применяли шлаки АНФ-6 или смесь шлаков АНФ6 и АН-295 в соотношении 1:2 и поддерживали следующие режимы: $I = 2,0... 3,5$ кА, $U = 37... 47$ В (рис. 3). Производительность переплава составила 1,3... 1,9 кг/мин.

В результате переплава получена опытно-промышленная партия слитков общей массой 350 кг (рис. 4). Масса слитков колебалась от 35 (выплавка



Рис. 4. Внешний вид опытно-промышленной партии слитков из нержавеющей стали, выплавленных из спрессованных электродов

Таблица 1. Химический состав выплавленной нержавеющей стали

№ слитка	Массовая доля элементов, %						Содержание газов, %		
	Ni	Cr	Ti	Si	Mn	C	[O]	[N]	[H]
1	9,8	17,0	0,3	0,67	1,3	0,11	0,016	0,049	0,0003
2	10,0	18,5	0,99	0,63	1,4	0,12	0,013	0,42	0,0003
3	10,4	18,4	0,24	0,61	0,57	0,15	0,016	0,039	0,0004
ГОСТ 977-98	8... 11	17... 20	5С-0,7	-	≤2,0	≤0,12	-	-	-

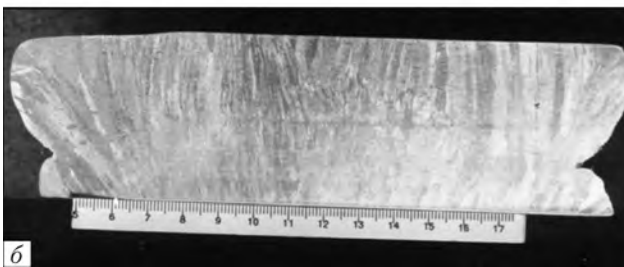
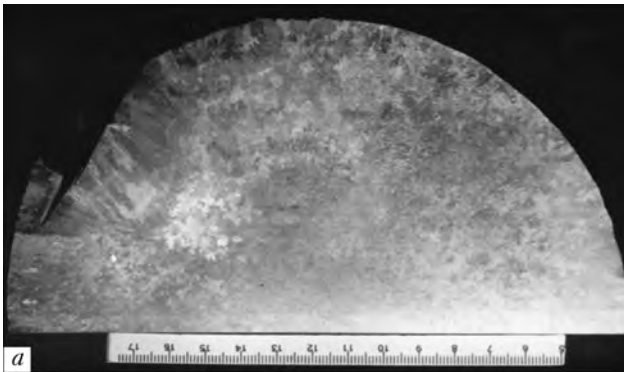


Рис. 5. Макроструктуры поперечного (а) и продольного (б) сечения слитков ЭШП нержавеющей стали

в глухдонный кристаллизатор) до 62 кг (с вытягиванием слитка).

Из выплавленных слитков для изучения качества полученного металла, определения химического состава и металлографического анализа отобраны образцы.

Из табл. 1 видно, что содержание элементов в выплавленном металле имеет отклонения от химического состава стали марки 12Х18Н9Т по углероду, титану. Связано это с тем, что при переработке использовали смесь стружки титансодержащей стали Х18Н10Т и безтитановой стали 12Х18Н9. Металлографические исследования темплетов, вырезанных из донной (рис. 5, а) и средней (рис. 5, б) частей слитка, установили, что металл плотный, без видимых дефектов.

Механические испытания образцов выплавленной стали показали, что ее свойства находятся в пределах требований ГОСТ 977-88 (табл. 2).

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что переработка стружки путем ее прессования в расходный электрод с последующим ЭШП такого электрода позволяет из 100 % стружки получать качественный металл, а предложенная схема является эффективной ресурсосберегающей технологией.

Таблица 2. Механические свойства металла слитков нержавеющей стали 12Х18Н9Т

Металл	σ_T	σ_B	δ	Ψ	KCU_{12} кДж/м
	МПа		%		
Выплавленный из стружки	229,1	468,7	50,9	64,3	800
Требования ГОСТ 977-88	≥196	≥441	≥25	У32	У590

Выводы

1. Проведенные исследования компактирования стружки из нержавеющей стали показали, что эффективным способом получения длиномерных электродов является комплексный способ электронагрева шихты с одновременным прессованием.
2. Определены оптимальные технологические параметры компактирования стружки.
3. Получены электроды диаметром 100 мм, длиной до 1800 мм из нержавеющей стали для их последующего передела способом ЭШП.
4. Установлено, что плотность электродов зависит от гранулометрического состава стружки (чем мельче стружка, тем выше плотность электрода).
5. Определены оптимальные параметры ЭШП полученных электродов. Изучено качество выплавленного металла.

1. *The energy benefit of stainless steel recycling* / J. Jeremiah, V. K. Reck, T. Wang et al. // Реф. ж-л. *Металлургия. Энергетические выводы переработки нержавеющей стали.* — 2009. — № 1. — С. 15Б10.
2. *Абрамова К. Б., Самуилов С. Д.* Метод брикетирования металлической стружки // *Рынок вторичных металлов.* — 2005. — № 2. — С. 50-54.
3. *Степанов С. И.* Исследование процесса горячего прессования и свойств деталей из стальной стружки: Автореф. дис... канд. техн. наук. — Киев, 1967. — 22 с.
4. *Получение* расходных электродов компактированием титановой губки под током / М. Л. Жадкевич, В. А. Шаповалов, В. С. Константинов и др. // *Современ. электрометаллургия.* — 2005. — № 3. — С. 64-67.
5. *Пат. 7997* Україна, МПК С22 В 1/248. Спосіб компактування металевої шихти / Б. Є. Патон, М. Л. Жадкевич, В. О. Шаповалов та інші. — Опубл. 10.08.2007; Бюл. № 12.
6. *Переработка* стружки жаропрочной стали ЭП609Ш способом компактирования под электрическим током с последующим электрошлаковым переплавом / В. А. Шаповалов, В. Р. Бурашев, Ф. К. Биктагиров и др. // *Современ. электрометаллургия.* — 2009. — № 3. — С. 43-45.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 23.09.2011