



УДК 669.187.58

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ ПЕРЕПЛАВ ЗАГОТОВОК, СКОМПАКТИРОВАННЫХ ИЗ СТРУЖКИ АУСТЕНИТНЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

**В. Р. Бурнашев, В. А. Шаповалов, Д. М. Жиров,
В. Г. Кожемякин, Д. В. Ботвинко**

Институт электросварки им. Е.О.Патона НАН Украины.
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Определены технологические особенности плазменно-дугового переплава заготовок, скомпактированных из стружки аустенитных нержавеющей сталей типа X18H10T. Для переплава заготовок диаметром 100 мм выбраны кристаллизаторы круглый диаметром 125 мм и квадратный со стороной 125 мм. Установлены оптимальные режимы переплава заготовок в условиях плазменно-дугового переплава на печи УПП-3. Определено, что для получения более качественных слитков стружку аустенитных нержавеющей сталей перед компактированием необходимо промывать от смазочно-охлаждающих жидкостей. Исходя из металлографических исследований для снижения содержания азота в готовом металле необходимо производить защиту зоны компактирования аргоном. Для сокращения количества неметаллических включений и улучшения качества поверхности слитка переплав заготовок следует производить на скоростях не более 2...4 мм/мин. Библиогр. 8, табл. 2., ил. 6.

Ключевые слова: плазменно-дуговой переплав; скомпактированные заготовки; стружка; нержавеющая аустенитная сталь; качество слитков; кристаллизатор; шихта

Плазменный источник тепла, отличающийся высоким энергетическим потенциалом, позволяет переплавлять гранулированную шихту, отдельно плавить шихту и формировать слиток, рафинировать жидкий металл, полученный при атмосферном давлении, азотировать и т. д. Технологические схемы плазменно-дугового переплава и рафинирования жидкого металла, широко применяемые в настоящее время, можно разделить на две группы, первая из которых представляет собой переплав в медных или керамических тиглях и слив в изложницы или кокили; вторая — переплав гранулированной или пакетированной шихты, капельный переплав заготовки в водоохлаждаемый кристаллизатор или тигель, являющийся промежуточной емкостью, с последующей кристаллизацией в водоохлаждаемом кристаллизаторе. Во всех процессах второй группы одним из главных элементов технологий, обеспечивающих получение металла высокого качества, является кристаллизация металла в водоохлаждаемом кристаллизаторе, т. е. эти процессы являются вторичным рафинирующим переплавом [1–4].

Следует отметить, что переплав сыпучей шихты (гранулы, стружка, порошки) не проходит стадию капельного переноса. Хотя при некоторых конст-

руктивных изменениях, в частности применении промежуточной емкости, указанный процесс полностью соответствует вторичному рафинирующему переплаву. Однако все эти меры усложняют конструкции установки и снижают энергетические показатели процесса переплава, увеличивают угар металла. В ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины разработан способ компактирования длинномерных заготовок из стружки и сыпучих материалов с последующим переплавом способами электрошлакового (ЭШП) и плазменно-дугового переплава (ПДП) [5], где в качестве заготовок использовали электроды, скомпактированные под током из стружки стали марки ЭП609Ш [6].

Настоящая работа является продолжением проведенных исследований как в части расширения марочного состава перерабатываемых материалов, так и усовершенствования технологических режимов



Рис. 1. Заготовка, скомпактированная из стружки аустенитных нержавеющей сталей

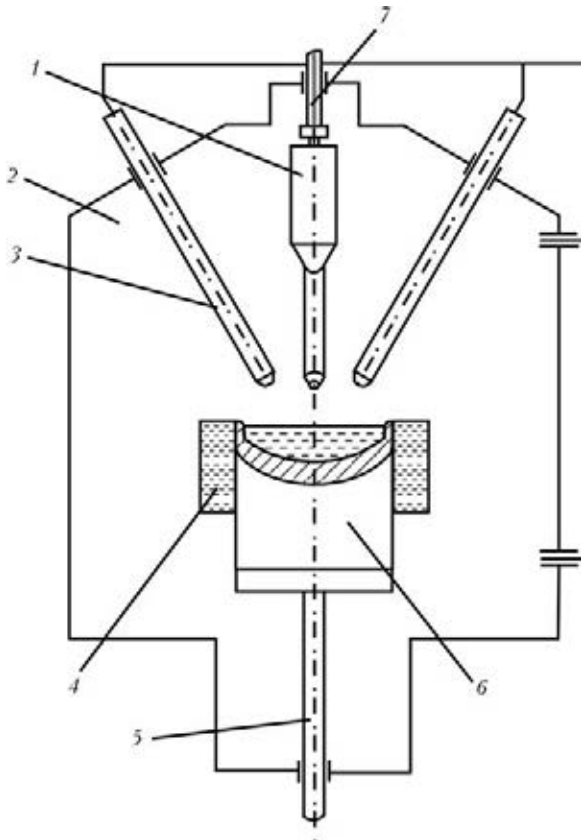


Рис. 2. Схема плазменно-дуговой печи УПП-3: 1 — заготовка; 2 — камера; 3 — плазмотрон; 4 — кристаллизатор; 5 — механизм вытягивания слитка; 6 — слиток; 7 — механизм подачи заготовки

разработанного способа. Объектами исследования служили заготовки, скомпактированные под током из стружки аустенитных нержавеющей сталей типа X18N10T (рис. 1). Особенность полученных заготовок заключается в том, что стружку аустенитных сталей перед компактированием не отмывали от смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). При ПДП заготовок металл проходит стадию рафинирования в жидкой пленке на оплавленном торце заготовки, с поверхности оторвавшейся капли и с поверхности жидкой ванны в кристаллизаторе. Поскольку основная часть СОЖ удаляется в процессе компактирования под током, следует ожидать, что оставшаяся часть сублимируется в процессе ПДП.

Эксперименты по переплаву скомпактированных заготовок проводили на плазменно-дуговой пе-

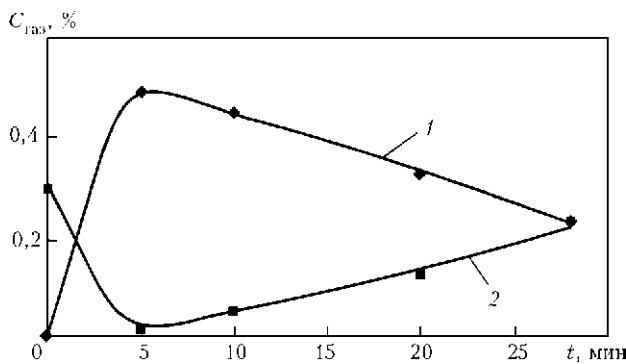


Рис. 3. Изменение содержания газов $C_{газ}$ в атмосфере печи при ПДП заготовки: 1 — водород; 2 — кислород

чи УПП-3, представляющей собой агрегат мощностью 160 кВт, оснащенный четырьмя плазмотронами ПДМ-7 конструкции ОКТБ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. Максимальная длина переплавляемой заготовки 700 мм, масса 50 кг.

Принципиальная схема печи представлена на рис. 2. К скомпактированной заготовке диаметром 100 мм приваривается инвентарная головка, которая подвешивается на механизм подачи. Печь вакуумируется до 0,3 кПа, заполняется аргоном до давления 0,1...0,2 МПа.

В работе [7] установлено, что увеличение общего расхода плазмообразующего газа (аргона) от 50 до 90 л/мин вызывает сокращение потерь тепла в плазмотронах от 16 до 11 %, в камере установки — от 40 до 35 % и повышает КПД процесса от 43 до 52 %. Увеличение расхода плазмообразующего газа способствует контрагированию дуг за счет охлаждения периферийной зоны плазменного столба, что позволяет уменьшить магнитное взаимодействие плазменных дуг и отклонение их от оси плазмотрона. За счет этого снижается доля тепла, теряемого в плазмотронах и камере установки и увеличивается количество тепла, передаваемого металлу. Таким образом, расход плазмообразующего газа поддерживали в оптимальных пределах.

Затем плазмотроны включают, и заготовка подается в зону действия плазменных дуг, металл начинает капать в кристаллизатор, где кристаллизуется в так называемом захвате «ласточкин хвост». После заполнения кристаллизатора металлом включается механизм вытягивания. Слиток вытягивается со скоростью 8...10 мм/мин. В ходе плавки поддерживали значение тока 300...400 А, напряжения — 40...50 В. В процессе переплава заготовки контролировали газовую фазу печи методом хроматографического анализа с использованием прибора «Газохром 3101». Отбор проб производили из патрубка в верхней части установки [8].

Как видно из рис. 3, в первые минуты переплава резко увеличивается концентрация водорода и снижается массовая доля кислорода. Очевидно, что при работе плазмотронов в результате нагрева плавильного пространства со стенок камеры и с заготовки происходит испарение влаги. Попадая в зону горения дуг и нагретого металла, она разлагается на водород и кислород. В результате водород скапливается в камере, а кислород окисляет часть металла.

В ходе дальнейшего проведения переплава содержание кислорода в газовой фазе начинает возрастать, что можно объяснить разложением оксидов металлов в пятне дуги. Причиной снижения массовой доли водорода является промывка камеры аргоном, используемым в качестве плазмообразующего газа.

При компактировании под током расходуемого электрода использовали неочищенную от СОЖ стружку. Однако в составе газовой фазы не зафиксировано присутствие моно- и диоксида углерода, что позволяет утверждать об удалении углеродсодержащих компонентов СОЖ при нагреве в процессе компактирования.



Рис. 4. Слитки круглого (а) и квадратного (б) сечений, полученные в результате ПДП

Для получения конечного продукта при ПДП использовали кристаллизаторы двух типов: круглый диаметром 125 мм и квадратный со стороной 125 мм. Такой размер кристаллизаторов выбран в соответствии с работами [1, 3], поскольку соотношение диаметров заготовки и слитка не должно превышать 0,7...0,8 при скорости переплава 2,5...15,0 мм/мин.

В результате проведенных экспериментов получено два типа слитков круглого и квадратного сечения (рис. 4), из которых вырезаны продольные и поперечные темплеты. На указанных образцах проведены металлографические исследования, изучены механические свойства и химический состав.

Исследования химического состава показали, что в процессе ПДП все легирующие элементы находятся в пределах, допускаемых ГОСТ 977–98, в том числе титан и углерод (табл. 1). При сравнении результатов химического анализа металла, полученного при ПДП, выявлено повышенное содер-

жание азота в металле (табл. 1). По-видимому, насыщение азотом происходит на стадии компактирования заготовки в открытой атмосфере. Для снижения содержания азота в металле заготовки необходимо защищать зону нагрева и компактирования аргоном.

Механические свойства металла, полученного в результате переплава электродов, скомпактированных из стружки, приведены в табл. 2, из которой видно, что механические свойства выплавленного металла не ниже требований, предъявляемых ГОСТ 977–98, а по некоторым показателям превосходят их.

Из поперечных темплетов изготовили макрошлифы диаметром 125 мм и квадратные со стороной 125 мм, представленные на рис. 5, а, б. На поперечных темплетах видно, что металл плотный, каких-либо дефектов не обнаружено, однако на продольных образцах слитков (рис. 5, в) выявлены одиночные крупные включения шлака диаметром 5...7 мм. Это происходит, по-видимому, из-за компактиро-

Таблица 1. Химический состав аустенитной стали, выплавленной разными способами

Способ выплавки	Массовая доля элементов, %						Содержание газов, мас. %		
	Ni	Cr	Ti	Si	Mn	C	[O]	[N]	[H]
ЭШП, Ø175 мм	10,0	17,0	0,3	0,67	1,3	0,11...0,13	0,016	0,049	0,0003
ПДП, Ø125 мм	10,5	18,4	0,6	0,63	1,3	0,11	0,075	0,052	0,0005
ПДП, квадрат 125 мм	10,5	18,4	0,6	0,63	1,3	0,12	0,022	0,055	0,0005
ГОСТ 977–98	8...11	17...20	≥5С	0,2...1,0	1,0...2,0	<0,12	–	–	–

Таблица 2. Механические свойства стали X18H10T, выплавленной разными способами

Способ выплавки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	KCV, Дж/см ²	ϕ , %
ЭШП, Ø175 мм	220,0	468	50	173	60,5
ПДП, Ø125 мм	242,0	475	48	245	76,0
ПДП, квадрат 125 мм	215,5	513	60	330	69,5
ГОСТ 977–98	196,0	441	25	59	32,0

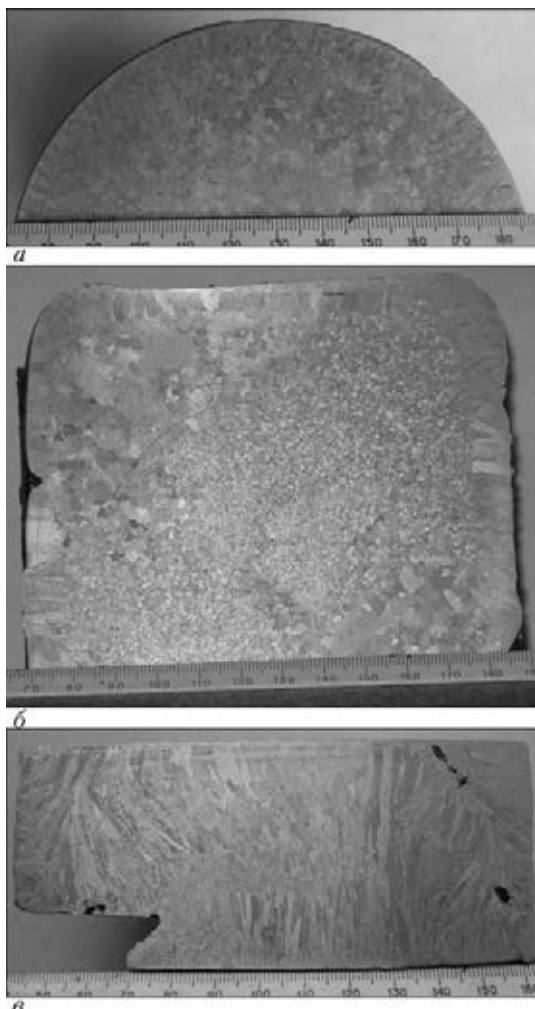


Рис. 5. Макрошлифы поперечных круглого (а), квадратного (б) и продольного (в) темплетов

вания непромытой стружки, в результате чего в заготовке образуется шлаковая фаза, которая при высоких скоростях переплава не успевает всплывать и запутывается в теле слитка. После переплава на поверхности слитка образуется шлаковая корка. На боковых поверхностях ее толщина достигает 1 мм, а на верхнем торце слитка — 10 мм (рис. 6), что мешает формированию ровной поверхности слитка. Следовательно, для получения более качественных слитков, выплавленных способом ПДП, стружку аустенитных нержавеющей сталей перед компактированием необходимо промывать от СОЖ и снижать скорость вытягивания слитка при переплаве до 2...4 мм/мин.

Technological peculiarities of plasma-arc remelting of billets, compacted of chips of austenitic stainless steels of Kh18N10T type, are determined. To remelt the 100 mm diameter billets, round mould of 125 mm diameter and rectangular mould with 125 mm wall were selected. Optimum conditions of remelting of billets were established under conditions of plasma-arc remelting in furnace UPP-3. It was found that to produce the more quality ingots, it is necessary to wash away the lubrication-cooling fluids from chips of austenitic stainless steels before compacting. Basing on the metallographic examinations it is necessary to protect the zone of compacting by argon to reduce the nitrogen content in a ready metal. To decrease the amount of non-metallic inclusions and to improve the quality of ingot surface, the remelting of billets should be performed at speeds of not more than 2...4 mm/min. Ref. 8, Tables 2, Figures 6.

Key words: plasma-arc remelting; compacted billets; stainless austenitic steel; quality of ingots; mould, charge

Поступила 02.12.2013

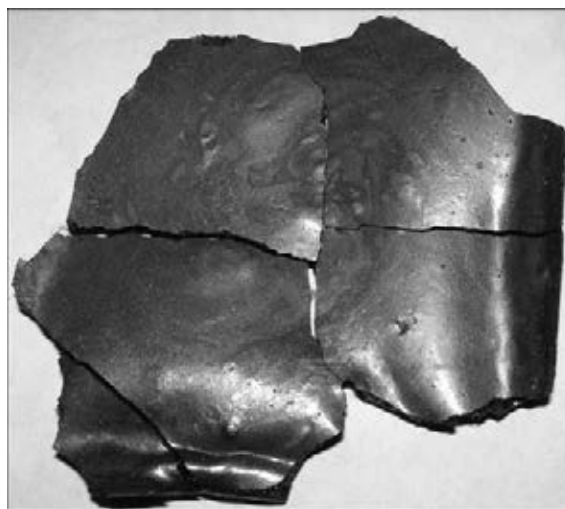


Рис. 6. Шлак с поверхности слитка

В заключение следует отметить, что при переплаве заготовок, скомпактированных из стружки аустенитных сталей, с учетом результатов химического анализа и значений механических свойств возможно получение слитков для дальнейшего использования в промышленности.

Исходя из металлографических исследований для повышения качества слитков необходимо промывать стружку перед компактированием заготовок, защищать зону компактирования аргоном и уменьшать скорость переплава заготовок.

1. Лакомский В. И. Плазменно-дуговой переплав / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Техніка, 1974. — 336 с.
2. Ерохин А. А. Плазменно-дуговая плавка металлов и сплавов. Физико-химические процессы. — М.: Наука, 1978. — 188 с.
3. Клюев М. М. Плазменно-дуговой переплав. — М.: Металлургия, 1980. — 256 с.
4. Дембовский В. Плазменная металлургия / Пер. с чеш. — М.: Металлургия, 1981. — 280 с.
5. Пат. 7997 Украина, МПК С 22 В 1/24. Спосіб компактування металеві шихти / Б. Є. Патон, М. Л. Жадкевич, В. О. Шаповалов та ін. — Опубл. 10.08.2007; Бюл. № 12.
6. Плазменно-дуговой переплав заготовки, скомпактированной из стружки стали ЭП609-Ш / В. А. Шаповалов, Ф. К. Биктагиров, В. Р. Бурнашев, Ю. А. Никитенко // Современ. электрометаллургия. — 2011. — № 3. — С. 21–23.
7. Грановский В. К. Исследование физико-химических процессов и разработка технологии плазменно-дуговой гарнисажной плавки высокозотистых сталей и сплавов: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1982. — 241 с. (Машинопись).
8. Поведение газовых примесей при плазменно-дуговом переплаве заготовки, скомпактированной из стружки аустенитных нержавеющей сталей / В. А. Шаповалов, В. Р. Бурнашев, Д. М. Жиров и др. // Современ. электрометаллургия. — 2012. — № 2. — С. 45–46.