



УДК 669.-187.58

ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ ПЕРЕПЛАВ ЗАГОТОВКИ, СКОМПАКТИРОВАННОЙ ИЗ СТРУЖКИ СТАЛИ ЭП609-Ш

В. А. Шаповалов, Ф. К. Биктагиров,
В. Р. Бурнашев, Ю. А. Никитенко

Приведены результаты экспериментов по плазменно-дуговому переплаванию заготовки, скомпактированной из стружки жаропрочной стали ЭП609-Ш. Определены технологические особенности переплава, получены слитки при литье в изложницу и плавке в проходной кристаллизатор. Исследованы химический состав и качество полученных слитков.

The results of experiments on plasma-arc remelting of a billet, compacted of EP609-Sh heat-resistant steel chips, are given. The technological peculiarities of remelting were determined, ingots were produced in casting into mould and melting into a through-passage mould. Chemical composition and quality of produced ingots were investigated.

Ключевые слова: компактирование стружки; плазменно-дуговой переплав заготовки; изложница; проходной кристаллизатор

Для изготовления газотурбинных двигателей (ГТД), эксплуатируемых в качестве силового привода газоперекачивающих агрегатов, используют различные коррозионно-стойкие стали и сплавы. На предприятии ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», специализирующемся на производстве ГТД, роторов компрессоров низкого давления двигателей ДН80Л и ДГ90, широко применяют сталь ЭП609-Ш [1]. В случае достаточной коррозионной стойкости она хорошо механически обрабатывается и сваривается способами электронно-лучевой и аргоно-дуговой сварки, что важно при сборке ротора из отдельных деталей.

Увеличение объема производства изделий из этой стали привело к накоплению на предприятии отходов, преимущественно в виде стружки, что вызвало необходимость ее эффективной утилизации.

Одним из перспективных путей переработки стружки высоколегированных сталей является разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины технология компактирования под электрическим током в проходной матрице в длинномерные заготовки [2], подвергаемые затем переплаванию способами спецэлектрметаллургии. Вторая, рафинирующая стадия, необходима для получения качественного металла, пригодного к непосредственному использованию в производстве.

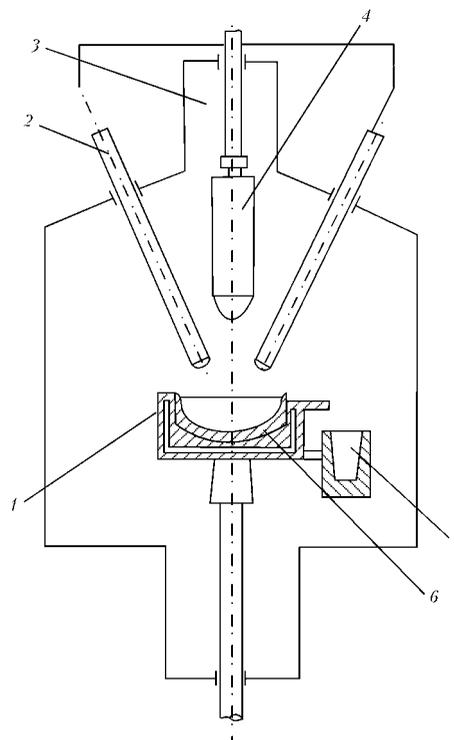


Рис. 1. Схема плазменно-дугового переплава и литья в изложницу: 1 — медный водоохлаждаемый тигель; 2 — две пары плазмотронов постоянного тока; 3 — колонна с механизмом подачи расходимой заготовки; 4 — расходимая заготовка; 5 — изложница; 6 — гарнисажный слой, который образуется на поверхности холодного тигля в процессе плавления

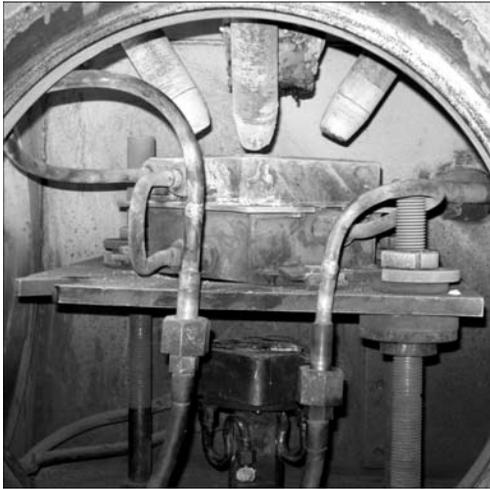


Рис. 2. Подготовка установки УПП-3 для плавки расходимой заготовки в проходной кристаллизатор квадратного сечения

Ранее исследовали электрошлаковый переплав расходимой заготовки, полученной способом компактирования стружки стали ЭП609-Ш [3]. В настоящей работе приводятся результаты другого рафинирующего переплава спрессованной стружки — плазменно-дугового (ПДП). При ЭШП основным рафинирующим компонентом является шлаковый расплав, и качество металла определяется массообменными процессами в системе шлак–металл. Особенность ПДП заключается в том, что рафинирование происходит за счет перераспределения элементов в системе газ–металл.

Возможность переплава металла при нормальном или даже избыточном давлении в инертной атмосфере позволяет осуществлять ПДП заготовок с повышенной газонасыщенностью или большим содержанием элементов с высокой упругостью пара без нарушения процесса и существенных потерь легирующих в результате испарения. Высокотемпературный плазменно-дуговой нагрев дает возможность получать слитки с хорошей поверхностью,

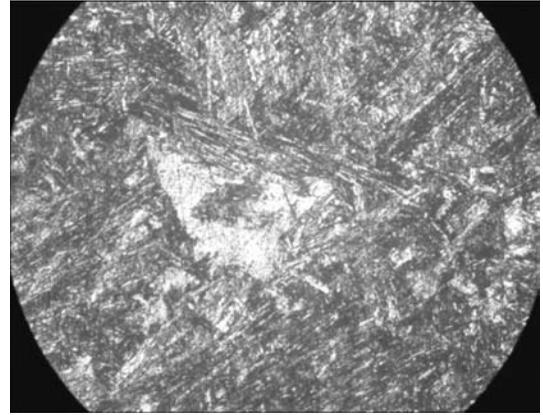


Рис. 4. Микроструктура (X500) слитка плазменно-дугового переплава и литья в изложницу

высоким выходом годного металла, низким содержанием газов и неметаллических включений.

Переплав скомпактированной заготовки производили на четырехплазмотронной многофункциональной печи УПП-3 [4]. Плазмотроны прямого действия устанавливали радиально для того, чтобы плазменные струи направлялись на ванну жидкого металла и образовывали вихревое вращение расплава. Уровень тока каждого плазмотрона составлял 350 А, напряжение — около 40 В. Плавку выполняли в аргоне с избыточным давлением 10...20 кПа и постоянной циркуляцией газа, а также с обновлением атмосферы камеры.

Радиальное расположение четырех плазмотронов позволило распределять тепловую нагрузку по поверхности ванны, осуществлять ее перемешивание и регулировать обогрев отдельных зон ванны (особенно периферийных участков).

Важным преимуществом радиальной схемы расположения плазмотронов является экранирование заготовкой излучения плазменных струй и ванны. В итоге заготовка воспринимает на себя значительную долю излучения, что способствует уменьшению энергии, необходимой для ее плавления.

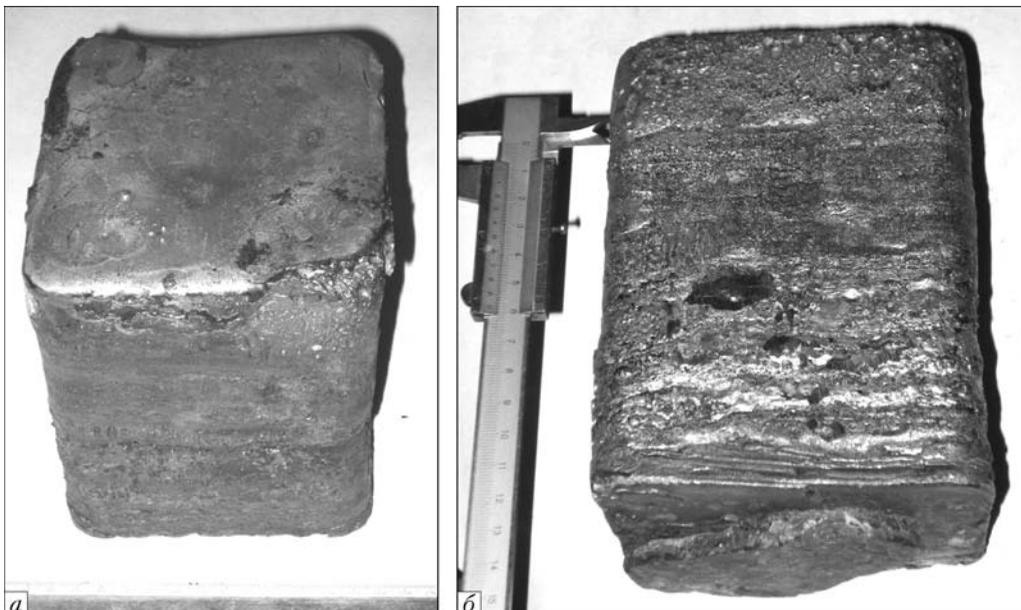


Рис. 3. Слиток плазменно-дугового переплава 120×120×155 мм



Химический состав жаропрочного сплава ЭП609-Ш

Вид переплава	Массовая доля элементов, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	V
ПДП	0,017...0,02	0,23...0,25	0,30...0,35	0,025	0,02	11,2...11,4	0,4	1,67...1,70	0,1	0,2
ЭШП	0,084...0,088	0,39...0,52	0,29...0,30	0,03	0,002	10,8...11,0	0,4	1,61...1,64	0,007	0,2
ТУУ-27.1-00190414-030-2004	0,05...0,09	≤ 0,6	≤ 0,6	≤ 0,03	≤ 0,02	10,5...12,0	0,35...0,5	1,4...1,8	0,05...0,15	0,15...0,25

В процессе плавки заготовку, закрепленную на колонне с механизмом перемещения, подавали между четырьмя плазмотронами. Входя в зону действий плазменных дуг, она оплавлялась, и металл в результате капельного переноса попадал в жидкую ванну.

Спрессованные из стружки заготовки подвергали двум видам переплава. Первый заключался в переплаве заготовки с накоплением жидкого металла в тигле и последующем его сливе в литейную форму (изложницу), второй — в переплаве заготовки в медный водоохлаждаемый проходной кристаллизатор квадратного сечения 125×125 мм.

Схема ПДП по первому виду переплава приведена на рис. 1. Для осуществления второго вида ПДП печь УПП-3 переоборудовали, а вместо поворотного тигля установили кристаллизатор (рис. 2). В этом случае для вытягивания слитка из кристаллизатора использовали нижний шток, на который крепили водоохлаждаемый поддон с зацепом типа «ласточкин хвост». Слиток фиксировался на поддоне и в процессе плазменно-дугового переплава он перемещался вместе с ним. Скорость вытягивания слитка согласовывали со скоростью подачи заготовки в зону плавки. Она составила 3...4 мм/мин.

В процессе переплава на поверхности металлического расплава и на боковых поверхностях слитка образовался небольшой слой шлака, что свидетельствовало о переходе неметаллических включений из переплавляемой заготовки в шлаковую фазу.

Плавное регулирование мощности плазмотронов дало возможность получить плотный квадратный слиток практически без усадочной раковины (рис. 3). Общий удельный расход электроэнергии на переплав составил около 2,0...2,2 кВт·ч/кг, при промышленном внедрении и увеличении сечения слитка эти расходы могут быть уменьшены.

При визуальном осмотре поверхности слитков ПДП, полученных в проходном кристаллизаторе и отлитых в изложницу, не выявлены какие-либо грубые дефекты типа заворотов корки, трещин, наплывов и т.п. Макроструктура полученного металла плотная и однородная (рис. 4, 5), поры, ликвация и иные дефекты отсутствуют.

Химический состав металла полученных слитков полностью отвечает требованиям заводских технических условий на сталь ЭП609-Ш. В таблице для сравнения приведены данные химического состава того же металла после ЭШП спрессованных из этой стружки заготовок [3].

Обращает внимание более низкое содержание углерода и кремния в металле ПДП, по сравнению с металлом ЭШП, а также на 20...30 % меньшее



Рис. 5. Макроструктура поперечного сечения квадратного слитка стали ЭП609-Ш плазменно-дугового переплава в проходной кристаллизатор

содержание газов (кислорода, водорода и азота). В то же время при ПДП отмечено более высокое содержание хрома и серы. Объясняется это особенностями рафинирования металла и протекания массообменных процессов в этих видах плавки.

Таким образом, можно сделать вывод, что способ плазменно-дугового переплава позволяет эффективно переплавлять скомпактированные заготовки из стружки стали ЭП609-Ш с сохранением химического состава металла и повышением его качества за счет снижения содержания в нем газов и неметаллических включений. Выбор способа переработки таких заготовок (ПДП, ЭШП или др.) зависит от конкретных требований к металлу, из которого изготавливают то или иное изделие.

1. Романов В. В., Коваль В. А. Применение новых материалов при конвертации корабельных и авиационных ГТД в стационарные ГТУ // Вост.-Европ. ж-л передовых технологий. — 2010. — № 3/2. — С. 4-7.
2. Пат. 79977 Украина, МПК С 22 В 1/248, В 22 F 3/12. Спосіб компактування металевих шихти / Б. Є. Патон, М. Л. Жадкевич, В. О. Шаповалов та ін. — Оpubл. 10.08.07; Бюл. № 12.
3. Переработка стружки жаропрочной стали ЭП609-Ш способом компактирования под электрическим током с последующим электрошлаковым переплавом / В. А. Шаповалов, В. Р. Бурнашев, Ф. К. Биктагиров и др. // Современ. электрометаллургия. — 2009. — № 3. — С. 43-45.
4. Получение расходуемых электродов компактированием титановой губки под током / М. Л. Жадкевич, В. А. Шаповалов, В. С. Константинов и др. // Там же. — 2005. — № 3. — С. 64-67.

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

Поступила 17.06.2011