



от уровня атмосферного давления осуществляется механическим насосом РВН-6. Благодаря его производительности в камере плавки остаточное давление $3 \cdot 10^4$ Па достигается в течение 10 мин. Для дальнейшего вакуумирования установки и удаления газов и паров металла во время плавки используется основная магистраль, состоящая из механических насосов НВЗ-300 (2 шт.), 2ДВН 1500 (2 шт.), а также пароструйного 2НВБМ 630 (1 шт.) и диффузионного Н-160 (3 шт.) насосов.

Вакуумная система установки УЭ-121 позволяет создать в объеме плавильной камеры давление $1 \cdot 10^{-2}$ Па, а в пушках — $1 \cdot 10^{-3}$ Па, что обеспечивает бесперебойную работу пушек и сохранение необходимого уровня рафинирования переплавляемого металла в течение всего технологического процесса.

Таким образом, электронно-лучевая установка УЭ-121 является высокопроизводительным агрегатом промышленного типа для плавки металлов и сплавов с промежуточной емкостью. В качестве

шихтовых материалов могут быть использованы как цельные расходуемые заготовки, так и кусковые отходы или насыпные материалы. Благодаря оперативной замене технологической оснастки на установке можно выплавлять слитки круглого и прямоугольного сечений из сплавов на основе железа, никеля, титана и тугоплавких металлов

1. *Электронно-лучевая плавка* / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. — Киев: Наук. думка, 1997. — 265 с.
2. *Утилизация* отходов титанового производства методом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью / А. Л. Тихоновский, Н. П. Тригуб, А. Н. Калинюк и др. // Пробл. спец. электрометаллургии. — 1991. — № 1. — С. 59–63.
3. *Структура* и свойства титанового сплава ВТ6С электронно-лучевой выплавки / А. Н. Калинюк, О. Н. Козловец, И. В. Цыбань, Н. П. Тригуб // Там же. — 1999. — № 2. — С. 45–50.

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

Поступила 06.03.2003

УДК 669.187.526.001.5

УСКОРЕННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ СЛИТКОВ ТИТАНА ПОСЛЕ ЭЛП

**А. М. Касумов, Н. Ф. Наконечный,
В. Н. Федоров, В. А. Щекин-Кротов**

Реализовано сокращение времени охлаждения слитков титана после ЭЛП в три раза. Эффект достигнут за счет повышения излучательной способности поверхности слитков при окислении потоком воздуха. Описана возможность переплава стружки. Увеличение производственной мощности плавильного участка составляет 21 %.

Time of cooling titanium ingots after EBM was 3 times reduced. Effect was attained by increasing radiation capability of surface of ingots in oxidizing by air flow. The feasibility of chips remelting is described. Increase in production capacity of the melting shop bay is 21 %.

Ключевые слова: титан; слиток; охлаждение; электронно-лучевая плавка

Охлаждение слитков титана в вакууме после электронно-лучевой плавки (ЭЛП) до температуры поверхности 300 °С, безопасной для извлечения из плавильной установки, длится около 6 ч и составляет существенную часть всего цикла их изготовления. Сократить время охлаждения слитков можно путем дополнительного отбора тепла. Выбор способа такого отбора определяется как его эффективностью, так и возможностью совмещения с принятой

технологией выемки и последующей обработки слитков. В настоящей работе дан пример реализации такого подхода, примененного на заводе электронно-лучевой металлургии АОЗТ «ФИКО».

Эффективность различных способов отбора тепла определялась по времени, затрачиваемому на охлаждение слитков диаметром 640 мм и рассчитываемому по методике работы [1] для постоянной температуры окружающей среды. Было установлено, что время охлаждения слитков в рассмотренных способах соотносится следующим образом: охлаждение

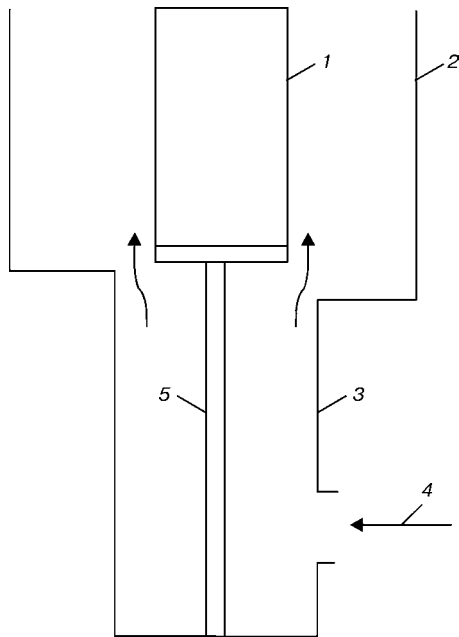


Рис. 1. Схема охлаждения слитка при обдуве воздухом: 1 — слиток, 2 — камера плавки, 3 — камера слитка, 4 — поток воздуха, 5 — шток с поддоном

в вакууме — 1; аргоне — 0,91; гелии — 0,87; воздухе при нахождении слитка в своей камере, без обдува вентилятором — 0,37; с обдувом — 0,35; в воздухе при нахождении слитка в более широкой камере плавки, без обдува — 0,26; с обдувом — 0,25. Не рассматривались выемка слитка из плавильной установки сразу после окончания плавки, а также процесс охлаждения с последующим оплавлением поверхности ввиду конструктивных особенностей плавильной установки, исключающих возможность проведения таких операций.

Охлаждение слитка начиналось сразу после завершения операции по выведению усадочной раковины и состояло из этапов: напуска воздуха в рабочий объем плавильной установки, вскрытия камеры, подъема слитка в плавильную камеру, равномерного обдува его поверхности вентилятором. Схема охлаждения слитка в плавильной камере представлена на рис. 1.

Контакт раскаленной поверхности слитка с воздухом приводил к образованию слоя окалины, повышающего степень черноты титана с 0,3 [2] до 0,9 [3] и соответственно отдачу тепла излучением в три раза. Поскольку, как показывает расчет, именно потери на излучение составляют основной механизм охлаждения слитка в рассматриваемых условиях, то и время данного процесса также сокращалось в три раза по сравнению с охлаждением в вакууме.

На рис. 2 представлены кривые снижения температуры поверхности слитков в процессе охлаждения в вакууме и при обдуве воздухом в камере плавки. Температура измерялась дифференциальными термопарами в области поверхности, соответствующей нижнему торцу кристаллизатора. Из рисунка видно, что именно в начальный период охлаждения на воздухе, когда образуется слой окали-

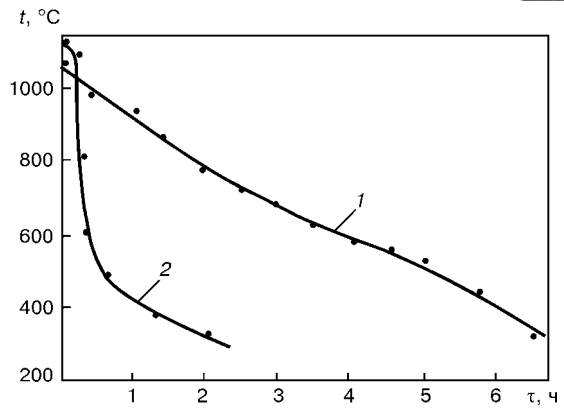


Рис. 2. Изменение температуры поверхности слитка в зависимости от времени охлаждения: 1 — в вакууме; 2 — в камере плавки при обдуве воздухом

ны, происходит наибольшее снижение температуры поверхности слитка. Дополнительно быстрому охлаждению способствует и расположение слитка в широкой камере плавки, где прием его излучения увеличивается за счет большей площади водоохлаждаемых стенок.

Численная оценка роли конвекционного механизма охлаждения при используемых условиях обдува показывает, что теплоотдача конвекцией приблизительно в 20 раз уступает теплоотдаче излучением. Тем не менее, обдув слитка не был исключен из технологии процесса, поскольку способствовал быстрому выводу горячего воздуха из плавильной установки, предохраняя тем самым резиновые прокладки от деструкции.

Из изложенного выше ясно, что управление излучательной способностью поверхности слитка позволяет изменять время его охлаждения в широком диапазоне.

Ускоренное охлаждение слитков титана благоприятно отражается на их макроструктуре, приводя к некоторому уменьшению размера кристаллов. На рис. 3 показано изменение площади кристаллов по радиусу темплетов, вырезанных из слитков, охлажденных в течение 6 ч в вакууме и 2 ч при обдуве воздухом. Темплеты вырезали на расстоянии 150 мм от верхнего торца слитков, то есть вне области действия усадочных эффектов, и протравливали согласно методике работы [4]. На основании рисунка было подсчитано, что средняя площадь кристаллов в первом случае составляет 255 мм², размер кристалла — 16 мм, а во втором случае соответственно 153 мм² и 12,4 мм, то есть наблюдаемое при быстром охлаждении уменьшение кристаллов составляет 22 %.

Быстрое охлаждение слитков до низких температур хорошо сочетается с традиционной для предприятия технологией их выемки из плавильной установки за верхний торец с помощью грузозахватного устройства. Напряжения, создаваемые в местах захвата, составляют 2,5 кгс/мм², то есть намного меньше их предельных значений для титана при рассматриваемой температуре 300 °C ($\sigma_{0,2} =$

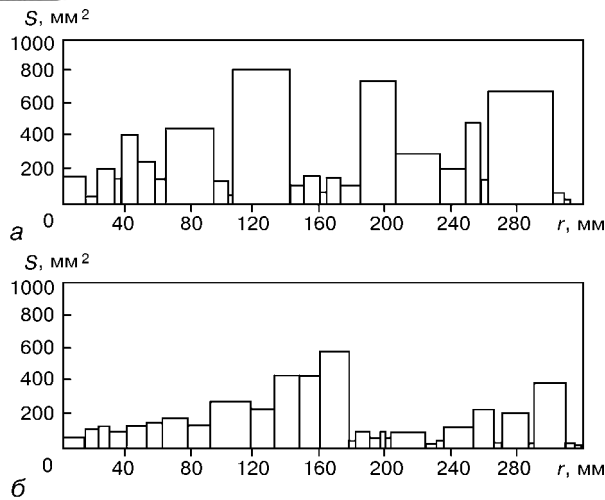


Рис. 3. Распределение площади кристаллов по радиусу темплетов из слитков, охлажденных: *а* — в вакууме за 6 ч; *б* — при обдуве воздухом за 2 ч

= 50... 70 кгс/мм²) [5], и не могут привести к деформации и проскальзыванию слитка. Кроме того, низкая температура позволяет персоналу работать с грузозахватным устройством непосредственно вблизи слитка.

С другой стороны, воздушное охлаждение сочетается с применяемой на предприятии токарной обточкой слитка. Слой окалины, образующийся на поверхности при контакте с воздухом, имеет малую толщину, до 50 мкм, поэтому при его удалении обточкой потери массы слитка также невелики и не превышают 1 %.

Снятый слой верхней стружки сильно загазован, например, содержание азота в нем достигает 0,05... 0,06 % при допустимом для BT1-0 уровне 0,04 %. Поэтому такая стружка непригодна к повторному переплаву. Однако стружка, снимаемая с более глубоких слоев с целью удаления поверхностных дефектов слитка, не содержит избытка газовых примесей и допускается к переплаву. С целью предотвратить загрязнение стружки при токарной обточке тщательно подбирался режим проходки резца для устранения перегрева и вызываемого им окисливания металла, не допускалось попадание машинного масла, что могло привести к науглероживанию, производилась сушка стружки в спрессованном состоянии в течение 2 ч при обдуве теплым (80 °С) воздухом для удаления остатков охлаждающей резец воды, способной повысить содержание кислорода и водорода в титане. Масса стружки, снятой с глубоких слоев, составляла до 3 % массы слитка.

Содержание примесей в слитках после воздушного охлаждения, выплавленных с использованием стружки

№ слитка	Материал слитка	Масса стружки, %	Содержание примесей, %		
			N	O	C
40	BT1-0	11,6	0,017	0,15	0,044
			0,029	0,18	0,054
41	BT1-0	6,3	0,035	0,19	0,058
			0,018	0,15	0,046
22	BT1-0	3,3	0,020	0,17	0,050
			0,028	0,18	0,054
31	BT1-0	2,3	0,027	0,15	0,039
			0,020	0,17	0,047
17	Gd2	3,7	0,016	0,18	0,027
			0,024	0,21	0,030
16	Gd2	3,1	0,018	0,19	0,030
			0,023	0,20	0,025

Примечания: 1. Над чертой приведено содержание в головной части слитка, под чертой — в донной части. 2. Содержание водорода в обеих частях слитка составляло менее 0,008 %.

В таблице приведено содержание указанных примесей в металле слитков, выплавленных с использованием стружки глубоких слоев. Как видно из таблицы, даже при добавлении в слитки большого количества стружки, до 12 % массы слитка, содержание примесей в металле не превышает нормы.

Положительный эффект, достигнутый за счет сокращения времени охлаждения слитков с 6 до 2 ч, выражается в увеличении производственной мощности плавильного участка на 21,1 %. При этом потери, обусловленные снятием верхнего слоя окисленной стружки, сравнимы с выигрышем, получаемым от сокращения расходов по эксплуатации плавильной установки, и взаимно компенсируются.

1. Тайц Н. Ю. Технология нагрева стали. — М.: ГНТИ по черной и цветной металлургии, 1962. — 567 с.
2. Козелкин В. В., Усольцев Ф. Основы инфракрасной техники. — М.: Машиностроение, 1974. — 335 с.
3. Самсонов Г. В. Физико-химические свойства окислов. — М.: Металлургия, 1978. — 472 с.
4. Борисов Е. А. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов. — М.: Металлургия, 1980. — 464 с.
5. Еременко В. Н. Титан и его сплавы. — Киев: Изд-во АН УССР, 1960. — 500 с.

АОЗТ «ФИКО», г. Киев
Поступила 20.12.2002