

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Приводятся современные промышленные методы получения слитков из нелегированного титана и сплавов на его основе.

Up-to-date industrial methods of cake production from unalloyed titanium and titanium alloy are given in this paper.

Благоприятное сочетание уникальных свойств: малая плотность, немагнитность, сопротивление коррозии, высокая удельная прочность, радиационная стойкость и ряд других, – сделали титан и его сплавы перспективным конструкционным материалом для широкого использования в ряде новых областей современной техники.

В 1951 г. во Всесоюзном НИИ авиационных материалов (Москва) были проведены большие работы по исследованию возможности плавки титана методом *вакуумной дуговой плавки* (ВДП) в индукционных печах с тиглями из различных материалов. Однако из-за высокой реакционной способности титана, особенно при температуре плавления, в дальнейшем проводились работы по аргонодуговому методу плавки в медных охлаждаемых водой кристаллизаторах. Аргонодуговые печи с нерасходуемым вольфрамовым электродом обладали существенными недостатками: образование вольфрамовых включений в металле из-за эрозии электрода, быстрый износ последнего, неустойчивость плавки, неравномерность вытягивания слитка, что приводило к нарушению сплошности поверхности и дефектам. Учитывая это, в ЦНИИ КМ «Прометей» были разработаны основные параметры ВДП, которые легли в основу многочисленных последующих конструкций вакуумных печей различной емкости и назначения (см. таблицу). Плавка в аргоне была заменена плавкой в вакууме, что обеспечило рафинирование металла от летучих приме-

сей и водорода; плавку в кристаллизаторе с вытягиванием слитка заменили изложницей с разъемным поддоном. Эти изменения сделали плавку устойчивой и простой в исполнении.

Печи предусматривали наличие соленоида, который кроме стабилизации горения электрической дуги и вращения жидкой ванны создает благоприятные условия для растворения тугоплавких компонентов шихты и усреднения химического состава слитка, резко снижает возможность прожогов изложницы, следовательно, улучшает безопасность работы вакуумно-дуговой печи ВДП.

Технология получения слитков методом вакуумной дуговой плавки прессованного расходуемого электрода электрической дугой в водоохлаждаемом кристаллизаторе была внедрена на Ступинском металлургическом комбинате, Подольском химико-металлургическом заводе и Верхнесалдинском заводе по обработке цветных металлов. Этот метод является основным в нашей стране. Современная технология выплавки слитков включает производство и подготовку к плавке шихтовых материалов (титановой губки, легирующих материалов и отходов); изготовление расходуемого электрода для первого переплава методом прессования шихты на прессах через проходную матрицу; подготовку плавленого расходуемого электрода ко второму переплаву и собственно второй переплав; подготовку слитка к дальнейшим metallurgическим переделам.

Сравнительные характеристики различных видов плавки

Вид плавки	Назначение	Масса слитков, т	Отличительные особенности
ВДП (рекомендуемый электрод)	Круглые слитки и передельные заготовки	< 18	<ul style="list-style-type: none"> • Высокое качество металла. • Стандартизация технологического процесса. • Сравнительно низкая энергоемкость. • Широкое применение в промышленном производстве
ВДП (нерасходуемый электрод)	Получение передельных заготовок. Переплав отходов и скрапа	8-10	<ul style="list-style-type: none"> • Использование для плавления медных водоохлаждаемых электродов различного типа: с вращением электрода, с вращением дуги. • Отсутствие необходимости в прессовом оборудовании. • Возможность переплава до 100 % отходов
Гарнисажная плавка	Фасонное литье и расходуемые электроды	< 5 (литье), < 8 (электродов)	<ul style="list-style-type: none"> • Разделен процесс плавки и процесс кристаллизации. • Разливка из-под дуги и с погашенной дугой. • Разливка в керамическую форму и кокиль, центробежное литье. • Разливка в изложницу
ЭЛП	Круглые слитки, полые заготовки, слябы	< 5	<ul style="list-style-type: none"> • Разделены процессы плавки и кристаллизации. • Переплав до 100 % крупногабаритной шихты. • Рафинирование от тугоплавкой и труднорастворимой части шихты. • Сравнительно высокий угар летучих компонентов шихты. • Автоматизация процесса плавки. • Высокая энергоемкость и сравнительно низкая производительность

Широкое распространение получил метод вакуумной дуговой плавки расходуемого электрода в гарнисаже с разливкой либо с погашенной дугой, либо с обогревом поверхности ванны в процессе слива горящей дугой для получения фасонных отливок, а также и как заготовительная операция при изготовлении слитков титановых сплавов, которые могут быть использованы в качестве электродов при ВДП.

Методы плавки ВДП и гарнисажная плавка обладают рядом недостатков: ограниченные возможности для вовлечения в шихту возвратных отходов и лома отработавших ресурс изделий, получение слитков только цилиндрической формы и совмещение в изложнице процесса расплавления металла и процесса кристаллизации. В связи с этим производители титановых слитков постоянно работают над созданием отличных от ВДП методов получения компактного титана.

Одновременно с созданием ВДП с расходуемым электродом был разработан метод ВДП с нерасходуемым электродом и специальные печи, оборудованные бунке-

рами для подачи измельченной шихты в зону плавки. Подобные печи давали возможность переплавлять до 100 % отходов. На первом этапе использовали нерасходуемые электроды из графита или вольфрама, однако из-за эрозии электродов в процессе плавки в слитках обнаруживали дефекты в виде включений графита или вольфрама. Наличие дефектов привело к тому, что этот метод плавки не получил широкого распространения. Печи с нерасходуемыми электродами используются, главным образом, для переплава отходов и скрапа.

В последние годы все большее применение находит метод *электронно-лучевой плавки* (ЭЛП). Основное преимущество ЭЛП заключается в разделении процессов плавления и кристаллизации, высокая плотность энергии в пучке, возможность распределения энергии по поверхности и высокий вакуум в зоне плавления (10^{-2} - 10^{-4} мм рт.ст.). Перспективность этого метода возрастает в результате перехода от прямого переплава расходуемой заготовки в кристаллизатор к переплаву с применением промежуточной емкости (ЭЛПЕ).

Промежуточная емкость предназначена для улучшения рафинирования переплавляемого металла, усреднения его химического состава и предотвращения попадания нерасплавившихся кусков в слиток. Печи оборудованы кристаллизаторами с вытягиванием и позволяют получать промышленные слитки как цилиндрической, так и прямоугольной формы. При ЭЛПЕ для переплава могут быть использованы заготовки в виде слитков, отлитых в изложницу, или наборных отдельных пластин, штанг, прутков, а также стружка (лучше в брикетах), титановая губка, таблетки, гранулы и другие кусковые материалы (лом и крупногабаритные отходы).

Однако в условиях электронно-лучевого нагрева и высокого вакуума при ЭЛП происходит испарение металлов шихты пропорционально упругости их пара над расплавом, что приводит к заметным потерям отдельных легирующих компонентов. Поэтому в настоящее время появились новые конструкции электронно-лучевых пушек, позволяющих производить процесс плавления при вакууме в зоне плавления при 10^{-2} мм рт.ст., что резко уменьшает испарение компонентов шихты титановых сплавов.

В настоящий момент на территории СНГ производство слитков методом ЭЛП

сосредоточено на производственной базе Института электросварки им. Е.О.Патона (Киев, Украина).

Метод производства слитков методом *электрошлакового переплава* (ЭШП), широко применяемый при выплавке специальных сталей, позволяет не только рафинировать металл от таких вредных примесей, как сера, фосфор и др., но и получить качественную поверхность слитков.

Применение ЭШП для титана и его сплавов по сравнению с ВДП имеет ряд преимуществ: не требуются дорогостоящие источники постоянного тока; качественная поверхность слитков не требует дополнительной обработки; получаются слитки не только круглого, но и прямоугольного сечения.

Электрошлаковая плавка производится в вакуумных печах в атмосфере аргона. Наличие инертного газа и слоя флюса снижает эффект удаления летучих примесей, кроме того, предъявляются высокие требования к качеству флюса, так как исследования структуры слитка ЭШП в ЦНИИ КМ «Прометей» показали наличие модифицирования металла слитка компонентами флюса, что сказалось на снижении отдельных механических свойств (по сравнению с металлом ВДП). Поэтому применение ЭШП для титана и его сплавов не нашло промышленного развития.