

УДК 669.187.56.001.5

ЕЛЕКТРОШЛАКОВА ПЛАВКА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ¹

М. П. Солопчук

*Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”*

Розглянута технологія електрошлакової плавки титанових сплавів під дією магнітного поля.

Рассмотрена технология электрошлаковой плавки титановых сплавов под воздействием магнитного поля.

The electroslag melting technology of titanium alloys under the influence of a magnetic field is considered.

Вступ

Зростаючі вимоги до експлуатаційних властивостей і ресурсу титанових виробів вимагають створення нових металургійних композицій титанових сплавів і технологічних процесів їхнього виробництва. При цьому хімічна й структурна однорідності металу є найважливішими характеристиками, що визначають експлуатаційні властивості виробів; їхнє поліпшення варто вважати одним з основних напрямків у розвитку технології плавки.

Постановка задачі дослідження

Основними видами напівфабрикатів з конструкційних титанових матеріалів є: плити, штампування, прутки, труби, дріт. Тому головна увага при розробці технології плавлення й лиття приділяється злиткам, з яких виготовляють всі види деформованих напівфабрикатів. Головним плюсом титанових сплавів є висока корозійна стійкість і висока питома міцність при звичайних, низьких і підвищених температурах. Крім того, титанові сплави мають такі цінні властивості, як немагнічюванність, малий коефіцієнт лінійного розширення, висока температура плавлення та ін.

Звичайно, ці переваги проявляються повною мірою тільки в тому випадку, якщо розроблена високоефективна технологія одержання злитків

¹-Робота виконана під керівництвом доктора технічних наук, професора Я.Ю.Компана, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ і кандидата технічних наук, доцента М.О.Кравченко, НТУУ „КПІ”

сплавів з високою хімічною й структурною макро- і мікрооднорідністю й технологічні процеси виготовлення високоякісних напівфабрикатів потрібних розмірів і форм. Разом з тим висока температура плавлення титану в сполученні з високою хімічною активністю створюють великі труднощі при плавці й литті сплавів на основі титану.

Розроблено кілька методів плавки титану, що запобігають шкідливому забрудненню металу газами або вогнетривкими матеріалами: вакуумно-дугова плавка, плавка в печі з гарнісажем, плавка в електрошлаковій печі, плазменно-дугова плавка, індукційна плавка в охолоджуваному тиглі, електронно-променева плавка. Всі види плавки застосовують для формування злитка титану мідний водоохолоджуваний кристалізатор, а при гарнісажній плавці - графітовий тигель або охолоджуваний мідний.

Висока реакційна здатність титану не дозволяє здійснити процес плавлення його в атмосфері повітря, тому що в розплавленому стані він бурхливо взаємодіє з киснем й азотом. Розплавлений титан реагує практично з усіма відомими вогнетривками на базі оксидів алюмінію, магнею, кремнію, берилія й інших металів - відновлюючи оксиди, титан окислюється. Для виробництва титанових сплавів використовують вакуумні печі або печі з інертною атмосферою.

Найбільш ефективними з погляду економічності є вакуумно-дугова й електрошлакова плавка. Ці види плавки титану мають досить просту конструкцію, легко обслуговуються, немає необхідності створення складної вакуумної системи.

У свою чергу розроблена в інституті електрозварювання ім. Е.О.Патона технологія магнітокеруваної електрошлакової плавки (МЕП) (рис.1) титанових сплавів [1,2]. Використання при МЕП електромагнітного керування гідродинамікою металургійного розплаву дозволяє впливати на основні процеси металургійного переділу - плавлення електрода, що витрачається, перенесення електродних крапель крізь шлакову ванну, кристалізацію злитка. Таким чином, створюється можливість активізувати процеси хімічної взаємодії шлаків і металу, керувати напрямком й інтенсивністю руху шлаків і рідкого металу, формою й об'ємом рідкометалевої ванни, а в кінці плавки одержувати хімічно й фізично однорідні злитки із дрібнозернистою структурою.

Методика проведення експериментів

Для одержання злитків титанових сплавів використали подвійний електрошлаковий перепад на модернізованій установці А-1494. Пресування витратних електродів проводиться на гідравлічному пресі через прохідну матрицю. При пресуванні використовуються спеціально

приготовлені порції титанової губки ТГ-90 з додаванням легуючих елементів. Пресування ведеться із зусиллям 4-5 тонн/см² для електродів діаметром 45 мм й 3,5-3 тонн/см² для електродів діаметром 75-100 мм, що дозволяє одержувати пресовані електроди досить високої щільності, які мають задовільні характеристики з міцності.

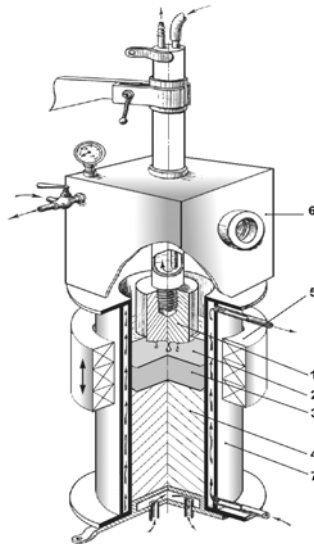


Рис. 1. Установка МЕР [3]: 1 – витратний електрод; 2 – рідкий шлак; 3 – ванна розплавленого метала; 4 – зливоч; 5 – пристрій електромагнітного впливу; 6 – вакуумна камера; 7 – водоохолоджуваний кристалізатор.

Переплав пресованого витратного електрода здійснюється в камерній електрошлаковій печі в атмосфері захисного газу - аргону. Для переплаву титанових сплавів використовується безкисневий флюс на основі Ca_2F попередньо прожарений при температурі 420°C протягом 4-х годин. Електрошлаковий переплав дозволяє одержати однорідний по щільності й хімічному складі злиток, який буде використовуватись для повторного переплаву.

Злиток першого переплаву прокочують на пруток і проточують на електроди для другого переплаву.

Другий переплав ведеться за технологією магнітокерованої електрошлакової плавки. Плавка під впливом зовнішнього магнітного поля дозволяє одержувати злитки із гладкою бічною поверхнею, високою хімічною однорідністю та з подрібненою макроструктурою злитка. Для цього були розроблені спеціальні режими плавки з імпульсним впливом поздовжнього магнітного поля, які дозволяють одержати значне подрібнення макроструктури й практично не погіршують якості формування бічної поверхні злитка.

Результати досліджень

Методом МЕР були виготовлені і досліджені високоміцні і жароміцні титанові сплави з інтерметалідами. В таблиці 1 показані механічні властивості сплавів, що є матрицею з титанового сплаву ВТ22 з дисперсійним інтерметалідним зміцненням [3]. У цих сплавах інтерметалідне зміцнення досягається за рахунок утворення дисперсних сполук титану з малорозчинними елементами - вуглецем, бором і кремнієм.

В порівнянні з традиційними сплавами ці сплави відрізняються не тільки вищими характеристиками міцності і пластичності, але і модуля нормальної пружності, що у ряді випадків надзвичайно важливо.

Застосування жароміцних сплавів з інтерметалідним типом зміцнення відкриває широкі можливості для виготовлення виробів, призначених для роботи при високих температурах аж до 700...800°C. Прикладом таких сплавів можуть служити сплави з «жорстким каркасом» із хімічної сполуки, який утворюється в пластичній матриці в процесі тривалої термічної обробки металу. Рівень міцності і пластичності цих сплавів може гнучко регулюватися хімічним складом металу за допомогою зміни співвідношення в нім твердорозчинної і інтерметалідної складових.

Таблиця 1. Механічні властивості титанових сплавів з дисперсійним інтерметалідним зміцненням (пруток діаметром 25 мм) після гартування і старіння

Сплав	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	E_d , ГПа
ВТ22+0,2С	1288...1366	14,8...16,6	37...40	20...22	130
ВТ22+0,2В	1330...1340	8,0...11,5	27...36	22...24	132
ВТ22+0,1%Si-0,1%С-0,1%B	1300...1370	8,6...14,0	22...30	18...22	132

У таблицях 2 і 3 представлені механічні властивості сплаву з матрицею на основі твердого розчину ніобію і молібдену, дисперсно зміцненого хімічними сполуками, а також сплаву з додатковим каркасним зміцненням за рахунок евтектоїду TiFe [3].

Таблиця 2. Механічні властивості жароміцних сплавів (пруток діаметром 25 мм) при кімнатній температурі

Сплав	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
Ti-4,5% Al-25% Nb-5% Mo-0.15% B-0.15% C-0.15% Si	1230	4,5	6,5	18
Ti-4,5% Al-25% Nb-5% Mo-0.1% B-0.1% C-0.1% Si-4% Fe	1380	3,5	5.5	14

Таблиця 3. Механічні властивості жароміцного сплаву (пруток діаметром 25 мм) при високих температурах

Сплав	$T_{\text{вип}}, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\sigma_{\text{д}}^{100}, \text{МПа}$
Ti-6% Al-25% Nb-5% Mo-4%	650	520	485	450
Fe-0,1% Si-0,1% C-0,1% B	750	435	340	320

Виходячи з даних цих таблиць, можна зробити висновок про те, що шляхом інтерметалідного зміцнення твердорозчинних титанових сплавів можна істотно підвищити їх міцність, жароміцність і зберегти при цьому необхідну пластичність. Розроблена технологія МЕР дозволяє реалізувати переваги титанових сплавів з інтерметалідним типом зміцнення перш за все за допомогою їх гомогенізації.

Висновки

1. Технологія магнітокерованої електрошлакової плавки високоміцних і жароміцних титанових сплавів з інтерметалідами забезпечує високу однорідність і точно заданий хімічний склад металу злитків.

2. Шляхом інтерметалідного зміцнення твердорозчинних титанових сплавів можна істотно підвищити їх міцність, жароміцність і зберегти при цьому необхідну пластичність. Так, сплав Ti-4,5% Al-25% Nb-5% Mo-0,1% B-0,1% C-0,1% Si-4% Fe технології МЕР має межу міцності 1380 МПа і відносне подовження 3,5% при кімнатній температурі і тривалу жароміцність $\sigma_{\text{д}}^{100} = 320$ МПа при температурі 750°C.

3. Спосіб МЕР має ряд технологічних переваг. Це простота й надійність використовуваного устаткування, гнучкість технологічних параметрів плавки, висока якість поверхні злитків, можливість одержання злитків різного поперечного перерізу. Для плавки за способом МЕР можна використати устаткування, призначене для електрошлакового і вакуумно-дугового переплавів, після відповідної його реконструкції.

Література

1. Компан Я.Ю., Протокилов И.В. Некоторые технологические аспекты магнитоуправляемой электрошлаковой плавки (МЭП) титановых сплавов // Специальная металлургия: вчера, сегодня, завтра: Материалы междунар. науч.-техн. конф. (8-9 окт. 2002 г., Киев). – Киев, 2002. – С. 56-62.
2. Kompan Ya. Yu., Protokovilov I. V. Peculiarities of process of magnetically-controlled electroslag melting (MEM) of titanium alloys // Proceedings of the 9th World Conference on Titanium, St. Peterburg, Russia, June 7-11, 1999.
3. Компан Я.Ю., Протокилов И.В., Моисеев В.Н. Высокопрочные и жаропрочные титановые сплавы с интерметаллидами технологии МЭП // Современная электрометаллургия. – 2004. - №2. – С. 3-9.