

УДК 626.74

Поступила 11.09.2017

## ПРИМЕНЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ПЛАВИЛЬНО-ЗАЛИВОЧНЫХ УСТАНОВОК С ВОДООХЛАЖДАЕМЫМ ТИГЛЕМ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТЛИВОК ИЗ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

### APPLICATION OF VACUUM MELTING AND CASTING FACILITIES WITH A WATER-COOLED CRUCIBLE FOR MAKING CASTINGS OF INTERMETALLIC TITANIUM ALLOYS

Н. И. ДАШКЕВИЧ, В. Д. БЕЛОВ, А. В. ФАДЕЕВ, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), Москва, Россия, Ленинский проспект, 4

N. I. DASHKEVICH, V. D. BELOV, A. V. FADEEV, National Research Technological University «MISiS», Moscow, Russia, 4, Leninskii ave.

Проведена плавка сплава определенного состава, рассчитанного с использованием программы Thermo-Calc, на базе сплава TNM-B1 с добавлением легирующих элементов. Для выплавки использовали плавильно-заливочную установку с медным водоохлаждаемым тиглем Consarc. Определены механические свойства образцов отливок, подверженных горячему изостатическому прессованию (ГИП), которое было проведено выше температуры эвтектоидного превращения. Показаны особенности использования индукционной плавки в печах с холодным тиглем при изготовлении отливок из интерметаллидных титановых сплавов.

Melting alloy of a particular composition was held, calculated with using the program Thermo-Calc, on the basis of alloy TNM-B1 with the addition of alloying elements. For melting there was used melting and casting facility with copper water-cooled crucibles Consarc. There was determined mechanical properties of specimens of castings subject to hot isostatic pressing (hip), which was carried out above the temperature of eutectoid transformation. The features of using induction melting furnaces with cold crucible in the manufacture of castings of intermetallic titanium alloys were revealed.

В настоящее время все большую популярность приобретают сплавы на основе алюминидов титана TiAl. Титан-алюминиевые интерметаллиды демонстрируют хорошее сочетание высокотемпературной прочности и невысокой плотности, что позволяет широко использовать их в ответственных конструктивных элементах, применяемых в автомобильной, аэрокосмической промышленности и энергетике.

Алюминиды титана обладают высокой химической активностью по отношению к большинству оксидных материалов, что осложняет их выплавку и приводит к удорожанию процесса их получения. Среди технологий получения указанных сплавов точное литье представляет собой эффективный низкостоимостной процесс, позволяющий получать имеющие сложную форму детали из титан-алюминиевых сплавов.

Как правило, для выплавки используется метод гарниражной плавки, который обеспечивает высокую чистоту расплава. При этом данный метод имеет значительный недостаток: невозможность обеспечить значительный перегрев расплава выше температуры ликвидуса сплава (см. рисунок), что вызывает сложности при изготовлении фасонных отливок.

В последние годы учеными рассматривается задача получения отливок двигателя ПД-14 из готового сплава, предусматривающая решение проблем, возникающих при

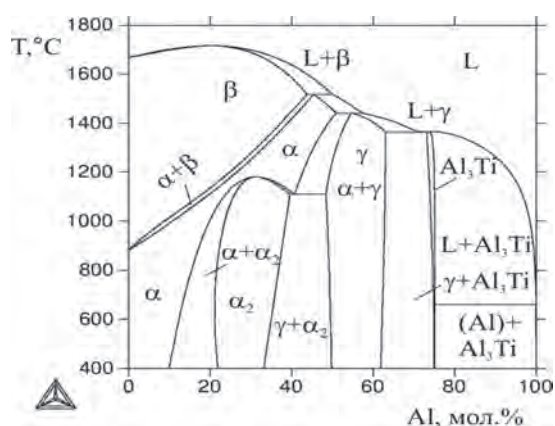


Диаграмма Ti-Al

приготовлении сплава из свежих составляющих или подшихтовки сплава до требуемого химического состава.

В рамках работы решалась задача: выплавить сплав определенного химического состава, рассчитанного методом Thermo-Calc путем использования основы (сплав TNM-B1) и легирующих в виде свежих элементов (см. таблицу).

**План 1-й серии плавков сплавов на основе алюминид титана  
(базовый сплав TNM Ti-43Al4Nb1Mo) и фактический состав (TESCAN)**

Номер серии	Al	Nb	Mo	Cr	Zr	Al	Nb	Mo	Cr	Zr
	Атомные %					Мас.%				
1	43	4	1	–	–	28,15	9,02	2,33	–	–
	42,99	4,52	1,07			27,99	10,12	2,48		
2	40	4	1	–	–	25,79	8,88	2,29	–	–
	39,82	4,34	1,02			25,57	9,61	2,33		
3	43	4	1	1		28,12	9,01	2,33	1,26	–
	42,98	4,56	1,01	0,83		27,96	10,22	2,33	1,04	
4	43	4	1	1	1	27,83	8,92	2,30	1,25	2,18
	43,01	4,31	1,02	0,90	0,92	27,76	9,57	2,33	1,11	2,11

Основные особенности индукционной плавки в печах с холодным тиглем на примере плавно-заливочной установки с медным водоохлаждаемым тиглем Consarc заключаются в следующем.

Индукционная гарнисажная печь производства компании «Consarc» основана на инновационном процессе плавки. Плавильный тигель состоит из 30 водоохлаждаемых сегментов в вакуумной камере или в камере с контролируемой атмосферой. Это исключает возможность загрязнения металла и позволяет производить очень чистый продукт.

Магнитное поле, генерируемое индуктором, проходит через тигель, благодаря чему образуется тепло в садке металла и начинается процесс плавления. Когда тигель, частота и уровень мощности спроектированы и подобраны соответствующим образом, стенки ванны жидкого металла проталкиваются внутрь от боковых стенок тигля. Ванна жидкого металла поддерживается магнитным способом без контакта с внутренними боковыми стенками тигля, предохраняя, таким образом, сегменты тигля от электрических переключений и сокращая потерю тепла на тигле. Магнитное поле производит интенсивное перемешивающее действие, с помощью которого плавятся любые высокотемпературные шихтовые материалы, а также гомогенизирует плавку как по химическому составу, так и по температуре. Данные процессы в свою очередь вызывают сложные проблемы, с которыми на практике очень трудно бороться.

Из таблицы видно, что в состав теоретически рассчитанных сплавов вошли такие элементы, как ниобий, молибден, хром, цирконий. Скорость растворения в основном расплаве (сплав TNM –B1, у которого расчетная температура ликвидус 1539 °С, а температура солидус 1492 °С) очень низкая, а для создания перегрева в медном тигле требуется значительное повышение мощности индуктора.

Как показали результаты проведенных экспериментов, легирующие элементы, загруженные в тигель вместе с основной шихтой и также введенные в жидкую ванну через загрузочный дозатор ввиду их большего удельного веса, опускались на дно тигля в зону наиболее интенсивного охлаждения и не расплавились, и не растворялись.

С использованием разработанной конструкции блоков, материал оболочки которой изготовлен из оксида иттрия, были получены отливки. Отливки и, тем более, деформированные полуфабрикаты гамма-сплавов практически всегда подвергаются термообработке. Последняя охватывает диапазон от ~600 до ~1400 °С. Следует также отметить, что отливки гамма-сплавов, как правило, подвергаются горячему изостатическому прессованию (ГИП), которое проводят выше температуры эвтектоидного превращения.

Перед определением механических свойств сплавов все отлитые образцы прошли ГИП-обработку.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что технология изготовления из сплавов типа TNM образцов и отливок лопаток КВД, рассмотренная выше, может быть рекомендована для опытно-промышленного опробования в серийном производстве с учетом всех особенностей индукционной плавки в печах с холодным тиглем.

### Выводы

1. Расплавление тугоплавких легирующих составляющих возможно при значительном запасе мощности индуктора.
2. Получение сплава нужного состава возможно при повторном переплаве и перегреве, если это не приведет к значительному угару более легкоплавких составляющих.
3. Наиболее рациональный способ использования индукционной установки – работать на готовом химически однородном сплаве.
4. Получение интерметаллидных сплавов необходимо вести в дуговых плавильных установках (слитки минимум второго переплава).
5. Изготовление отливок из интерметаллидных сплавов обеспечивается использованием литниково-питающих систем с керамическими оболочками литейных форм из оксида иттрия.