

Изобретение относится к конструкционным металлическим материалам, в частности к титановым сплавам, применяемым для создания крупногабаритного сварного оборудования из титановых сплавов для работы в особо агрессивных средах.

Известно, что коррозионная стойкость титана определяется исключительно устойчивостью его пассивного состояния. К легирующим добавкам, в основном, воздействующим непосредственно на изменение характера пассивности титанового сплава, относятся следующие элементы: тантал, молибден, ниобий, цирконий, дафний, ванадий, вольфрам, хром, алюминий, кремний.

Известен сплав (системы титан-алюминий-ниобий) [1]. Сплав относится к двухфазным термически нестабильным сплавам и не может применяться для создания крупногабаритных сварных конструкций. Он предназначен для изготовления имплантантов, а также медицинского инструмента и оборудования.

Наиболее близким по технической сути является титановый сплав серии АТ-сплав АТЗ, содержащий следующие компоненты в мас. %: алюминий - 2,9%, железо - 0,6%, хром - 0,5%, кремний - 0,4%, титан - остальное. [2]. Сплав средней прочности АТЗ разбавляется и применяется для изготовления сварной химической аппаратуры, так как имеет коррозионную стойкость близкую к стойкости технического титана, а прочность значительно выше ( $\sigma_B = 600-750$  МПа). Однако сегрегация элементов, ограничено растворимых в  $\alpha$ -титане (алюминия, железа, хрома, кремния), за счет обогащения границ зерен FeSi отрицательно сказывается на его коррозионной стойкости и особенно его сварных соединениях. Кроме этого, при работе в агрессивных средах, происходит сильное наводороживание, как металла швов, так и основного металла, что приводит к коррозионному растрескиванию и преждевременному выходу аппаратов из эксплуатации. К этому следует добавить, что сплав термически нестабилен и вся аппаратура, изготовленная из него, требует последующего отжига для снятия сварочных и других напряжений, возникающих в процессе изготовления.

Задачей настоящего изобретения является изыскание такого состава сплава, который обладал бы средней прочностью (предела 850 МПа), высокой пластичностью и коррозионной стойкостью, значительно превышающей коррозионную стойкость известных сплавов, а также был бы термически стабильным сплавом, не требующим последующего отжига для снятия сварочных и других напряжений, возникающих в процессе изготовления сварного оборудования.

Эта задача решена созданием титанового сплава, содержащего алюминий, ниобий, в который, согласно изобретению, введен цирконий, а указанные компоненты взяты в следующем соотношении, мас. %: алюминий - 3,0-4,0; ниобий 4,2-5,3; цирконий 2,6-3,5; титан - остальное.

Известно, что алюминий является сильным упрочняющим элементом титана, особенно в указанных пределах (3,0-4,0). При содержании алюминия в сплаве менее 3%, сплав будет иметь низкую прочность, что заметно снизит эффективность его применения. При введении в сплав алюминия более 4% снижается его технологичность и коррозионная стойкость. Ниобий и цирконий введены в сплав, так как обладают более высокой коррозионной стойкостью чем титан, вследствие их более легкой пассивируемости и большей устойчивости пассивного состояния. Кроме этого, легирование сплава ниобием в указанных пределах значительно повышает ударную вязкость как сплава, так и его сварных соединений в состоянии после сварки. Последнее обстоятельство очень существенно, так как сплав термически стабилен и крупногабаритные сварные конструкции могут не переходить последующий отжиг. Введение в сплав ниобия менее 4% снижает коррозионную стойкость и ударную вязкость сплава, а введение в сплав ниобия более 5,5% существенно удорожает сплав.

Легирование цирконием улучшает коррозионную стойкость титана в соляной кислоте любой концентрации, а также 75% серной кислоте. Введение циркония в сплав в указанных пределах полностью компенсирует недостающее содержание в сплаве более дорогого и дефицитного ниобия. Кроме этого, цирконий взят как нейтральный упрочнитель для уменьшения отрицательного воздействия влияния газовых примесей, в частности кислорода, а также измельчения структуры в сплав.

Предлагаемый сплав может быть получен существующими в настоящее время способами, а именно - двойным переплавом по схеме: плазменно-дуговая плавка - первый переплав и вакуумно-дуговая плавка - второй переплав.

При первичной выплавке на плазменно-дуговой печи слитка в ячеистый бункер загружается губчатый титан и легирующие компоненты. Под воздействием плазменных факелов происходит расплавление, дегазация и частичное усреднение легирующих элементов в ванне жидкого металла.

При повторном переплаве на вакуумно-дуговой печи происходит глубокая дегазация расплава и полное растворение легирующих в объеме ванны, что способствует их равномерному распределению по сечению и высоте слитка.

Для экспериментального исследования были изготовлены и опробованы пять опытных партий предложенного сплава следующих составов (таблица 1).

В таблице 2 приведена коррозионная стойкость этих сплавов, а также коррозионная стойкость серийно выпускаемых коррозионно-стойких титановых сплавов, определенная по стандартным методикам в наиболее распространенных средах.

Применение рекомендуемого сплава, по сравнению с существующими, позволит выполнить технические проекты нового поколения и создать аппараты для получения особо агрессивных компонентов, применяемых в специальных производствах, снизить их массу, повысить рабочее давление в фильтровальном оборудовании, что приведет к значительному сокращению технологического цикла фильтрования, даст большой экономический эффект. Основные области применения: пластинчатые теплообменники, выпарные аппараты, роторно-пленочные колонные аппараты, фильтровальное оборудование, центрифуги, насосы, работающие в особо агрессивных средах.

Таблица 1

Номер сплава	Химический состав, % мас.			
	титан	алюминий	ниобий	цирконий
прототип	95,5	3,0+0,8Fe + 0,4Cr + 0,3Si		
I	92,0	2,5	3,5	2,0
II	90,2	3,0	4,2	2,6
III	88,7	3,5	4,8	3,0
IV	87,2	4,0	5,3	3,5
V	85,4	4,6	6,0	4,0

Продолжение табл. 1

Номер сплава	Механические свойства				
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_s$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
прототип	700	625	12	26	50
I	710	640	24	56	120
II	790	732	22	50	110
III	830	776	18	44	98
IV	870	810	16	42	90
V	920	865	10	25	60

Таблица 2

Сплав	Скорость коррозии ( $V_k$ ), мм/год						$V_k$ , мм/год - 1000 ч						
	5% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50°-100 ч	10% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 25°-330 ч	5% HCl 50°-100 ч	10% HCl 25°-330 ч	10% HCl 50°-100 ч	0,9% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 100°-100 ч	морск. вода, полное погруж. без нагрузки		атм. камера, 35 °С, мор. атмос.		морск. вода, 28 °С, с перем. погруж.		время выдержки в СН <sub>3</sub> ОН+ +0,4% HCl $\sigma = 0,9 \sigma_s$
							без нагрузки	$\sigma = 0,9 \sigma_s$	без нагрузки	$\sigma = 0,9 \sigma_s$	без нагрузки	$\sigma = 0,9 \sigma_s$	
I	0,5281	0,0031	0,1073	0,0091	0,986	0,671	0	0	0,0005	0,0003	0,0005	более 2000 ч	
II	0,1473	0,0051	0,0481	0,0029	0,357	0,140	0	0	0,0003	0,0002	0,0002	"	
III	0,1205	0,0031	0,0270	0,0023	0,272	0,009	0	0	0,0002	0,0001	0,0001	"	
IV	0,1304	0,0049	0,0306	0,0018	0,250	0,007	0	0	0,0001	0,0001	0,0001	"	
V	0,1842	0,0062	0,1834	0,0035	1,269	0,532	0	0	0,0004	0,0002	0,0003	"	
AT3	3,950	0,551	3,21	0,470	3,148	13,30	0,0092	0,021	0,033	0,0083	0,0095	220 (трещины)	
BT1-0	2,013	0,314	1,35	0,254	2,309	12,00	0,0005	0,0008	0,0008	0,0001	0,0002	более 1000	
PT3B	3,310	0,483	1,44	0,424	3,247	6,397	0,0005	0,0005	0,0005	0,0003 (питинги)	0,0003 (питинги)	264 (трещ.)	