

Установлено, что увеличение времени выдержки в межкритическом интервале температур приводит к повышению в структуре количества остаточного аустенита и частичной сфероидизации карбидной фазы, при этом происходит снижение твердости стали и незначительное повышение характеристик пластичности. Оптимальное количество и стабильность аустенита по отношению к ДДМП и, как следствие, достаточно высокий комплекс механических свойств обеспечивает закалка от 930 °С, 5 мин с охлаждением на воздухе после предварительной выдержки при 820 °С, 60 мин и последующий отпуск при 180 °С, 60 мин ( $\sigma_{02}=1524$  МПа,  $\sigma_B=2174$  МПа,  $\delta=7,0$  %,  $\Psi=8$  %, КСУ=0,65 МДж/м<sup>2</sup>) и в меньшей степени закалка из МКИТ от 820 °С, 120 мин и последующий отпуск при 180 °С, 60 мин ( $\sigma_{02}=1304$  МПа,  $\sigma_B=2102$  МПа,  $\delta=5,0$  %,  $\Psi=10$  %, КСУ=0,58 МДж/м<sup>2</sup>)

Влияние времени выдержки в МКИТ на абразивную износостойкость неоднозначно, однако при оптимальном количестве остаточного аустенита в структуре, которое достигается в результате закалка от 930 °С, 5 мин с охлаждением на воздухе после предварительной выдержки при 820 °С, 60 мин и последующий отпуск при 180 °С, 60 мин происходит повышение износостойкости более чем на 40 % в сравнении с эталоном.

### ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫЕ ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ НА ОСНОВЕ ПОРОШКА ГИДРИДА ТИТАНА ГУБЧАТОГО

*Овчинников А.В.1, Осипенко А.В.2, Быков И.О.3, Капустян А.Е.1*

*1Запорожский национальный технический университет*

*2ГП «Запорожский титано-магниевого комбинат»*

*3ОАО «Мотор Сич»*

Введение. Титан и сплавы на его основе с каждым годом завоевывают все больше новых рынков сбыта и областей применения (автомобилестроение, медицина, строительство, специальный армейский и спортивный инвентарь, товары широкого народного потребления), где до недавнего времени использовали другие конструкционные материалы. Увеличивается «титановая» доля и в ставших уже традиционными областях применения титановых сплавов, таких как: авиационная, космическая, химическая и судостроительная отрасли промышленности. Однако по-прежнему остаётся острой проблема трудоёмкости, энергозатратности и рентабельности производства как самого титана и его сплавов, так и полуфабрикатов, готовых изделий из него.

Наиболее рациональным, для увеличения доли потребления титана в промышленности и завоевания новых сегментов рынка, является ориентация,

при производстве титановых сплавов, на сплавы с простыми системами легирования и составом. Необходимо также использование в качестве лигатуры, при производстве титановых сплавов, не дорогих, желательных сопутствующих производству титана (примесных) легирующих элементов.

Целью данной работы являлось исследование и разработка технологии получения экономнолегированных титановых сплавов методами порошковой металлургии с использованием в качестве сырья порошков гидрида титана губчатого, различных, в зависимости от назначения, составов, с заданными, в оптимальном количестве, легирующими примесными элементами: кислородом, железом, никелем и хромом. Работа проводилась на ГП «Запорожский титано-магниевого комбинат» при участии специалистов ОАО «Мотор Сич», а также Научно-исследовательского центра «Титан Запорожье» при ЗНТУ.

Результаты исследований и их обсуждение. В настоящее время рядом научно-исследовательских и производственных организаций ведутся работы по поиску рациональных и экономичных систем легирования, составов титановых сплавов и производству новых экономнолегированных титановых сплавов, обладающих свойствами, находящимися на уровне, а в некоторых случаях превышающих свойства существующих титановых сплавов (табл. 1).

Из данных приведенных в табл. 1 видно, что легирующие элементы представленных систем титановых сплавов относятся к не дорогим и широко применяемым материалам, а также используются элементы, являющиеся примесями в сырье для производства титановых сплавов – титане губчатом.

Основываясь на полученных данных (таблица 2), сделан вывод о высоких прочностных показателях исследуемых сплавов по сравнению с аналогичными материалами, при сохранении удовлетворительных значений пластичности.

Таблица 1 – Экономнолегированные титановые сплавы

Страна	Организация	Сплав	Состав сплава
Россия	ФГУП «ВИАМ»	LOW-COST	Ti-0,50-0,049N-1-1,5Fe
	Институт металлургии им. Байкова	AT3	Ti-3Al-1,5Cr, Fe, Si
		AT6	Ti-6Al-1,5Cr, Fe, Si
Украина	Институт металлофизики им Г.В. Курдюмова	-	TiH <sub>2</sub> -6Al-4V
		-	TiH <sub>2</sub> -5Al-2,5Fe
		-	TiH <sub>2</sub> -8Mn
	НИЦ «Титан Запорожье» ЗНТУ		TiH <sub>2</sub>
			TiH <sub>2</sub> -0,5O
США	TIMET	timetal*62S	Ti-6Al-1,7Fe-0,1Si
		timetal*LCB	Ti-1,5Al-4,5Fe-6,8Mo-0,15O
			Ti-0,2O-0,1N-0,5Fe
Япония	-	-	Ti-0,9-2,3Fe-0,05N-0,25Cr-0,25Ni
		-	

Таблица 2 – Свойства разрабатываемых титановых сплавов в сравнении с аналогичными материалами

Материал	Механические свойства		
	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Разрабатываемые титановые сплавы			
TiH <sub>2</sub> -0,5O-1,5Fe-0,1Ni-0,1Cr	880 - 920	7 - 10	18 - 23
Аналогичные титановые сплавы			
LOW-COST	1000	20	50
2M2A	686	6	20
Ti-6Al-4V (основа порошок Ti)	880	3	7
Ti-6Al-4V (основа TiH <sub>2</sub> )	970	12,5	29
Ti-5Al-2,5Fe (основа TiH <sub>2</sub> )	960	9	18
Ti-8Mn (основа TiH <sub>2</sub> )	990	7,4	26
Ti (технически чистый, гидрированный)	549 - 571	21,8 - 30,7	37,7 - 44,3

Выводы. Получены порошки гидрида титана губчатого с заданным составом и равномерным распределением легирующих элементов-примесей (O, Fe, Ni, Cr), а также экономнолегированные титановые сплавы на их основе.

Разрабатываемые экономнолегированные титановые сплавы имеют высокий уровень механических свойств, не уступающий существующим и разрабатываемым аналогичным титановым сплавам. Предел прочности  $\sigma_B$  до 920 МПа,  $\delta = 7-10\%$  и  $\psi = 20-23\%$ . Использование в качестве сырья для производства экономнолегированных титановых сплавов порошков гидрида титана губчатого, с заданным составом легирующих элементов-примесей, в комплексе с применением методов порошковой металлургии титановых сплавов, технологически реализуемо и экономически выгодно по причине исключения целого ряда технологических операций и низкой себестоимости используемых сырья и материалов.

### ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРІВ З'ЄДНАННЯ ТІЛА СКЛОПЛАСТИКОВОЇ НАСОСНОЇ ШТАНГИ ЗІ СТАЛЕВОЮ ГОЛОВКОЮ

*Конеї В.Б., Панчук А.Г.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

Експлуатація штангових свердловинних насосних установок для видобутку нафти часто ускладнена відмовами колони насосних штанг, які працюють в складних умовах циклічного навантаження (осьового та згину), зношування та корозії. Заміна сталевих штанг склопластиковими дозволяє підвищити опір колони корозійній втомі, корозії, зменшити навантаження

на обладнання, уникнути смолисто-парафінистих утворень на поверхні штанг та підвищити продуктивність видобутку нафти. Проте існують певні труднощі у впровадженні склопластикових штанг, пов'язані з проблемами проектування надійного з'єднання склопластикового тіла із сталеву головою, яка призначена для з'єднання штанг між собою за допомогою різьби. Найбільшого поширення отримали два типи з'єднання: адгезійно-клинове і пресове [1, 2, 3]. На даний час не існує ефективних методик проектування таких з'єднань.

Пресове з'єднання виконується шляхом пластичного обтискання зовнішньої циліндричної поверхні сталеву головки. Воно простіше адгезійно-клинового технологічно, але для досягнення максимальної міцності з'єднання потребує оптимізації зусилля обтискання, механічних характеристик сталі, геометричних параметрів з врахуванням радіальної і осьової міцності склопластикового тіла. При проектуванні бажано міцність з'єднання максимально наблизити до міцності склопластикового тіла (границя міцності  $\sigma_g = 500...600$  МПа).

Для оптимізації пресового з'єднання авторами розроблено його параметричну осесиметричну скінченно-елементну модель в системі Abaqus® CAE 6.10, яка дозволяє моделювати пластичність сталі головки, ортотропію механічних характеристик склопластику та контакт між тілом і головкою. Для автоматизації перебудови моделі із заданими параметрами та отримання результатів розрахунку використовувалась програма-сценарій мовою Python. Геометричні параметри з'єднання: діаметр склопластикового тіла – 22 мм, зовнішній діаметр головки – 34 мм, довжина обтискання  $l = 100$  мм. Матеріал головки штанги - сталь з такими механічними характеристиками: модуль пружності  $2,1 \cdot 10^{11}$  Па, коефіцієнт Пуассона 0,28. Характеристики пластичності (ГОСТ 13877-96) вводяться в Abaqus® у вигляді пластичної ділянки істинної діаграми деформування (ділянка  $\sigma_m - \sigma_g$ ), яка задавалась у вигляді степеневу залежності. Характеристики матеріалу склопластикового тіла: модуль пружності в осьовому напрямку  $E_y = 0,5 \cdot 10^{11}$  Па, в радіальному напрямку  $E_x = 0,1 \cdot 10^{11}$  Па, коефіцієнт Пуассона  $\nu_{xy} = 0,22$ . Коефіцієнт тертя між поверхнями контакту  $f = 0,1$ .

Моделювання проводилось в два кроки навантаження. На першому задавався тиск обтискання головки  $p = 300...600$  МПа. На другому кроці тиск  $p$  задавався рівним нулю, а на торці склопластикового тіла задавалась гранична умова осьового переміщення  $\Delta$ . Другий крок розбивався на підкроки (фрейми), на кожному з яких переміщення  $\Delta$  поступово збільшувалось. Фрейм з максимальним значенням напруження на торці відповідає моменту руйнування з'єднання.

Алгоритм програми-сценарію мовою Python включає кілька вкладених циклів. Для прикладу, в зовнішньому циклі змінюється значення тиску обтискання  $p$ , у внутрішньому - границя текучості сталі  $\sigma_m$ , довжина обтискання