

**О возможности применения титановых сплавов в
Автомобилестроении**

*Доц., к.т.н. Давыденко Л.В., асп. Давыденко Р.А.,
Московский государственный технический университет «МАМИ»*

*Проф., д.т.н. Егорова Ю.Б., доц., к.т.н. Белова С.Б.,
«МАТИ» - Российский государственный технологический университет
имени К.Э. Циолковского (Ступинский филиал)*

В статье дана характеристика титановых сплавов, приведены существующие и перспективные направления использования титановых сплавов в автомобилестроении.

In current article you can find characteristic of titanium alloys, present and perspective tendency of using titanium alloys in the area of motor car construction.

Титан и его сплавы относятся к числу тех новых металлических материалов, которые получили промышленное производство и применение после второй мировой войны в связи с развитием новой техники, прежде всего авиационной и ракетной. Комплекс его свойств (малая плотность, достаточная прочность, необычно высокая коррозионная стойкость, сравнительно большая распространенность в природе) послужил основанием, в первые годы его промышленного освоения, заключения о том, что это - "металл будущего", который заменит многие другие металлические материалы. Однако трудности извлечения титана из руд, его плавки и переработки слитков в полуфабрикаты и изделия оказались столь значительными, что первоначальный "ореол" победителя постепенно исчез. Тем не менее, титан нашел и занял свое достойное место среди других металлических материалов.

Чистый титан обладает довольно высокой температурой плавления (1668°C); температура его кипения – 3169°C. По плотности, равной 4,505 г/см³ при комнатной температуре, он занимает промежуточное место между железом и алюминием (табл. 1).

Таблица 1

**Сопоставление уровня прочности сталей,
титановых и алюминиевых сплавов [1, 2, 3]**

Класс сплавов		σ_B , МПа	ρ , г/см ³	σ_B/ρ , МПа · см ³ /г
Титановые сплавы	Малопрочные	400-700	4,5-4,55	88,4-154,6
	Средней прочности	700-1000	4,4-4,5	157-225
	Высокопрочные	>1000	4,65-4,75	>213
Алюминиевые сплавы	Малопрочные (термически не упрочняемые)	130-300	2,7	48,1-114
	Средней прочности (термически упрочняемые)	350-500	2,85	123-175
	Высокопрочные	>500	2,85	>175
Стали	Углеродистые	300-700	7,8	38,5-89,7
	Малолегированные (малопрочные)	400-850	7,8	89,7-109
	Среднелегированные (средней прочности)	850-1500	7,8	109-192
	Высокопрочные	>1500	7,8	>192

Титан плохо проводит тепло, поэтому имеет низкий коэффициент теплопроводности, но обладает значительным электросопротивлением. Коэффициент линейного расширения титана невелик: он меньше, чем у магния, алюминия, меди, железа, никеля. Титан и его сплавы не обладают ферромагнитными свойствами, он парамагнитен.

Титан и титановые сплавы обладают исключительно высоким сопротивлением коррозии, превышающим коррозионную стойкость нержавеющей сталей, что обусловлено образованием на поверхности титана плотной оксидной пленки [1-3]. Он активно реагирует лишь с четырьмя неорганическими кислотами: плавиковой, соляной, серной и ортофосфорной. Титан и его сплавы устойчивы во всех природных условиях: атмосфере, почве, пресной и морской воде, даже в условиях жаркого влажного морского климата. В морской воде за 4000 лет растворился бы слой титана, равный по толщине листу писчей бумаги.

Титан и титановые сплавы совместимы со многими органическими веществами. Они устойчивы к солнечной радиации, не требуют специальной защиты от воздействия природных условий (например, окраски лаками). Кроме этого на поверхности титана можно создавать слои различной цветовой гаммы, в частности путем регулируемого азотирования, оксидирования, ионно-плазменной обработки.

Титан высокой чистоты обладает малой прочностью и высокой пластичностью ($\sigma_b \approx 240$ МПа; $\delta \approx 60$ %; $\psi \approx 70$ %) [1-3]. Для получения заданных механических свойств титан легируют алюминием, ванадием, марганцем, молибденом, хромом, железом и некоторыми другими элементами. Введение легирующих элементов в определенных сочетаниях и количествах, а также целенаправленное термическое воздействие, позволяют изменять свойства сплавов в широких пределах. Временное сопротивление разрыву промышленных титановых сплавов может изменяться в пределах от 400 МПа для малолегированных мягких сплавов до 1600 МПа для высоколегированных термически упрочненных сплавов (табл. 1).

Титановые сплавы сохраняют свойственные им прочностные свойства до сравнительно высоких температур. Наилучшие жаропрочные титановые сплавы могут работать до температур 600-650°C. Вместе с тем некоторые титановые сплавы могут применяться для работы при криогенных температурах, вплоть до температуры жидкого водорода.

Сравнительно небольшая плотность в сочетании с довольно высокими прочностными характеристиками обеспечивает титановым сплавам более высокую удельную прочность (отношение прочностных характеристик к плотности) в широком интервале температур, по сравнению с алюминиевыми сплавами, сталями и жаропрочными никелевыми сплавами (табл. 1). Это обстоятельство является решающим фактором, определяющим предпочтительность применения титана в авиационной и аэрокосмической технике. Однако титан и сплавы на его основе можно применять в самых различных областях промышленности. Благодаря развитию крупного оптимизированного производства он стал более доступным и экономически выгодным материалом. Его высокие эксплуатационные характеристики в совокупности с современными технологическими и производственными достижениями открывают широкие возможности для использования в автомобилестроении.

К титановым сплавам, используемым в автомобилестроении, предъявляют следующие требования: а) высокая прочность; б) сохранение функциональных характеристик деталей в различных системах автомобиля; в) безопасность, длительный срок эксплуатации деталей; г) повторное использование титана, обусловленное возможностью переплава деталей после их износа. Надежность автомобильных деталей из титана и его сплавов проверена их применением в гоночных автомобилях [5].

В табл. 2 приведены наиболее характерные механические свойства различных отечественных титановых сплавов, применение которых возможно в автомобилестроении. В автомобилестроении наиболее целесообразно использовать титановые сплавы для высоконагруженных деталей. Для несущей конструкции автомобилей рекомендованы сплавы средней прочности, для ходовой части – сплавы средней прочности и высокопрочные, для деталей двигателя – сплавы средней прочности и жаропрочные.

Таблица 2.

Химический состав и механические свойства титановых сплавов [1, 2]

Марка сплава	Химический состав	Класс	Полуфабрикат*	Термообработка**	Механические свойства	
					σ_b , МПа	δ , %
1	2	3	4	5	6	7
Малопрочные сплавы						
BT1-00	99,6 Ti	α	л	0	300-450	30
BT1-0	99,5 Ti	α	л	0	400-550	30
OT4-0	1Al-1,5Mn	псевдо- α	л	0	500-650	30
OT4-1	2Al-1,5Mn	" - "	л	0	600-750	20
OT4-1B	3Al-2,5V	" - "	л	0	600-750	≥ 15
ПТ-7М	2Al-2,5Zr	α	т	0	480-680	≥ 20
Сплавы средней прочности						
BT5-1	5Al-2,5Sn	α	л	0	750-900	15
OT4	4Al-1,5Mn	псевдо- α	л	0	700-900	15
OT4B	4,75Al-2,5V	псевдо- α	л	0	700-900	≥ 10
ПТЗВ	4Al-2V	" - "	л	0	700-900	≥ 11
BT6C	5Al-4V	$\alpha+\beta$	л	0	850-1000	12
BT6	6Al-4V	" - "	Пр	0	920-1070	10
BT20	6Al-2Zr-1Mo-1V	" - "	л	0	950-1080	8
BT14	5Al-3Mo-1,4V	" - "	л	0	900-1070	8
BT16	2,5Al-5Mo-4,5V	" - "	Пр	0	850-950	14
Высокопрочные сплавы						
BT18Y	6,5Al-4Zr-0,5Mo-1Nb-2Sn-0,15Si	псевдо- α	Пр	0	950-1150	10
BT8	6,5Al-3,5Mo-1,3Sn-1,3Zr-0,2Si	$\alpha+\beta$	Пр	0	1000-1200	8
BT9	6,5Al-1,5Zr-3Mo-0,3Si	" - "	Пр	0	1000-1250	7
BT3-1	6Al-2,5Mo-1,5Cr-0,5Fe-0,3Si	" - "	Пр	0	1000-1200	10
BT25Y	6,5Al-3,8Mo-3,8Zr-2Sn-0,8W-0,3Si	$\alpha+\beta$	Пр	0	1050-1250	10
BT23	5,5Al-2Mo-4,5V-0,3Cr-0,6Fe	" - "	л	з+с	1400	5
BT22	5,5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe	псевдо- β	Пр	0	1050-1300	8
BT22И	2,5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe	" - "	Пр	0	1000-1250	12
BT19	3Al-5,5Mo-3,5V-5,5Cr-1Fe	" - "	л	з+с	1400	7
BT32	2,5Al-8,5Mo-8,5V-1,2Fe-1,2Cr	" - "	л	з+с	1350	8
BT35	15V-3Cr-3Sn-3Al-1Mo-1Zr	" - "	л	з+с	1200-1400	6

Примечаний: *л – лист; пр – прутки; ** о – отжиг; з + с – закалка + старение.

В табл. 3 приведены существующие и перспективные направления использования титановых сплавов для изготовления деталей автомобиля [5].

Применение высокопрочных титановых сплавов позволяет повысить мощность автомобильных двигателей из-за уменьшения массы деталей возвратно-поступательных систем.

Изготовление шатунов из титановых сплавов приводит к снижению на 30 % нагрузки на шатунные подшипники, что значительно повышает их надежность и долговечность [4, с.1; 5].

Таблица 3

Обзор существующих и возможных областей применения титановых сплавов в автомобилестроении [5]

Критерии применения	Титановые сплавы	Область применения
Масса, коррозионная стойкость, жесткость, формуемость, внешний вид	Технический титан	Теплообменники, системы выхлопных газов, кондиционирования воздуха, радиаторы, конструкционные детали, элементы жесткости, спойлеры
Масса, высокотемпературная прочность, сопротивление окислению, износостойкость, жесткость	$\alpha+\beta$ -сплавы, алюминиды титана	Детали двигателя (клапаны, шатуны, кулачковые валы, болты, кривошипные валы); компоненты трансмиссий (шестерни, валы, сателлиты, болты); компоненты сцепления (корпусы, диски сцепления), пружины клапанов и шасси; системы выхлопных газов, предохранительные диски, втулки, оси, рычаги, инструмент
Масса, высокая прочность, пружинные характеристики, формуемость в холодном состоянии	β -сплавы	Пружины клапанов, пружины шасси
Жаропрочность	Алюминиды титана	Турбонагреватель
Масса, коррозионная стойкость	Сплавы системы титан-ниобий	Титановые крепления с пластиком
Способность к выполнению операций под воздействием температурных изменений (эффект запоминания формы)	Сплавы системы титан-никель	Детали управления (пружины) для распределения масла в автоматических трансмиссиях, системы кондиционирования воздуха
Топливные баки малых объема и массы	Сплавы-аккумуляторы водорода, сплавы систем титан-железо, титан-марганец	Топливные баки (нулевая эмиссия)

Применение титановых сплавов в автомобилях связывают с надеждой сделать их более экологически чистыми благодаря сокращению количества выхлопных газов при использовании выхлопных фильтров, изготовленных из спеченного титанового порошка, турбо- и ката-

литических преобразователей для усиления процесса сгорания топлива, устройств для полной ликвидации выхлопных газов с помощью сплавов-накопителей водорода на основе титана [5].

Специфические особенности и необычные функциональные характеристики специальных титановых сплавов существенно расширяют область их использования. Например, алюминиды титана и сплавы на их основе обладают высокотемпературной стабильностью и сопротивлением износу, а сплав титан-ниобий имеет хорошую способность к холодной формовке, высокое сопротивление коррозии; из него можно изготавливать крепеж для соединения титана с пластиками и армированными углеродным волокном. Из сплавов с памятью формы на основе TiNi изготавливают детали, которые в процессе эксплуатации выполняют повторяющиеся операции под воздействием температурных изменений и применяются, например, в коммутационных устройствах.

Помимо непосредственного изготовления деталей из титановых сплавов, их широко применяют в различных отраслях промышленности при нанесении покрытий на различные изделия. В автомобильной промышленности титан используется или как подложка (в частности, для защиты от кислорода или повышения износостойкости), или как материал покрытия (с целью увеличения коррозионной стойкости).

В 2002 году американская автомобильная промышленность использовала 1100 тонн титана (в 1995 году - 100 тонн) для изготовления клапанов двигателей, шатунов, выхлопных систем, шпилек для установки ободьев колес, подвесных рессор [6].

Основным препятствием к внедрению титана и его сплавов в автомобилестроении является высокая их стоимость по сравнению с традиционными материалами. Эти затруднения могут быть преодолены благодаря разработке более дешевых сплавов, более широкому использованию отходов титана в производстве, совершенствованию технологии обработки и производства. В будущем области применения титана и его сплавов, несомненно, будут расширяться, так как далеко не все возможности использования их привлекательных свойств реализованы [4, с. 2999].

Литература

1. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшкин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. - М.: ВИЛС-МАТИ. 2009. - 520 с.
2. Колачев Б.А., Польшкин И.С., Талалаев В.Д. Титановые сплавы разных стран. - М.: ВИЛС – 2000 – 316 с.
3. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. 3-е издание. - М.: МИСИС. 4^{ое} издание, 2005 – 432 с.
4. Titanium' 2003. Sci. and Technol. Proc. 10th World Conf. on Titanium, 13-18 July 2003. Hamburg, Germany, v. 1-5, 3425 pp.
5. Фишер Д., Зибум Х. Применение перспективных титановых сплавов в автомобилестроении// Титан, 1993, № 1, 82-85 с.
6. Опыт применения титана в автомобилестроении// American Machinist, 2002, 146, №1, с. 22-24.