



Титан — полиморфный металл серебристо-белого цвета. Кристаллическая решетка его до 882,5 °С — гексагональная плотноупакованная (α-титан), при более высоких температурах — кубическая объемноцентрированная (β-титан).

Свойства титана. Сочетание небольшой плотности с достаточной прочностью и отличной коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах является важнейшим свойством титана как конструкционного материала. Немаловажную роль играет и тот факт, что по распространенности в природе титан занимает среди конструкционных материалов четвертое место после алюминия, железа и магния. По плотности (4505 кг/м³) титан занимает промежуточное положение между сплавами алюминия и сталями — двумя важнейшими конструкционными материалами. По удельной прочности (отношение временного сопротивления к плотности — σ/ρ) титан при комнатной температуре превосходит все металлы и даже многие легированные стали.

Механические свойства титана зависят от содержания в нем примесей — кислорода, азота, углерода. Они повышают прочность, но значительно снижают его пластичность. Вредной примесью для титана является и водород, снижающий ударную вязкость. Титан наибольшей чистоты получают иодидным способом. Основную массу титана для производства полуфабрикатов и сплавов на его основе получают магнием-термическим способом.

Титан обладает высокой удельной прочностью не только при комнатной температуре, но и в условиях глубокого холода. Несмотря на высокую температуру плавления ($1668\pm 5^\circ\text{C}$), чистый титан не является жаропрочным материалом (при повышении температуры до 250 °С его временное сопротивление на разрыв снижается почти в 2 раза).

Титан технической чистоты обладает исключительно высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах. По коррозионной стойкости он превосходит коррозионно-стойкую (нержавеющую) сталь и приближается к благородным металлам. Титан практически не подвергается воздействию атмосферного воздуха (до 500 °С), пресной и морской воды. Он не растворяется во многих органических и минеральных кислотах, в том числе и в царской водке. В ряде производств титан — единственный стойкий против коррозии конструкционный материал (во влажном хлоре, в водных соединениях хлора и др.).

Титан интенсивно взаимодействует лишь с четырьмя неорганическими кислотами: соляной, серной, плавиковой и ортофосфорной. Он нестойк во фтористых соединениях, в сухом хлоре и бrome, перекиси водорода и других агрессивных средах.

При температурах выше 500 °С титан легко окисляется, а при температурах выше 600—700 °С поглощает азот, окись углерода и углекислый газ. При низких температурах он абсорбирует большие количества водорода.

Чрезвычайно высокая химическая активность расплавленного титана требует при плавке или сварке плавлением применения вакуума или защитной атмосферы инертных газов.

Титан обладает неплохими технологическими свойствами. Он хорошо обрабатывается

давлением: легко прокатывается, куется, штампуется. Металл хорошо сваривается точечной и аргоно-дуговой сваркой.

Однако у титана как конструкционного материала имеется и ряд недостатков. Один из них уже рассмотрен — высокая химическая активность с газами при повышенных температурах. Правда, этот недостаток титана удачно используют в электронной и вакуумной технике,

1 Царская водка — смесь концентрированных кислот: азотной HNO_3 (1 объем) и соляной HCl (3 объема). Сильнейший окислитель, растворяет золото («царь металлов») и платину, которые нерастворимы в каждой из этих кислот.

где титан применяется в качестве поглотителя газов для обеспечения в замкнутом объеме высокого вакуума. Существенные недостатки титана — низкий модуль упругости (102 000—145 000 МПа), что затрудняет получение жестких конструкций; склонность к ползучести при комнатной температуре; низкая теплопроводность (примерно в 15 раз ниже, чем у алюминия), что затрудняет проведение термической обработки и обработки резанием; низкие антифрикционные свойства; плохая обрабатываемость резанием (титан налипает на инструмент и быстро его изнашивает).

Деформируемые сплавы титана. Некоторые из указанных недостатков титана могут быть устранены при помощи его легирования, т. е. получения сплавов на основе титана. Для получения сплавов титан легируют алюминием, молибденом, ванадием, хромом, марганцем, цирконием, кремнием, железом, оловом и др. элементами. Титан легируют в основном для повышения прочности и жаропрочности, реже — для улучшения коррозионной стойкости.

По влиянию на стабильность α - и β -твердых растворов легирующие элементы в сплавах титана разделяются на три группы: α -стабилизаторы, β -стабилизаторы и нейтральные упрочнители. α -Стабилизаторы (Al, C, N, O) повышают температуру полиморфного превращения, и расширяют область твердых растворов на основе Ti. Практическое значение среди α -стабилизаторов имеет один алюминий, так как азот, кислород и углерод снижают технологичность, пластичность, свариваемость титановых сплавов, повышают их чувствительность к хладноломкости и концентраторам напряжений.

Введение алюминия в сплавы титана удешевляет их, снижает их плотность (алюминий легче титана), повышает удельную прочность, жаростойкость и жаропрочность, уменьшает склонность сплавов к водородной хрупкости, повышает модуль упругости.

β -Стабилизаторы (Mo, V, Cr, Mn, Fe, Si) понижают температуру полиморфного превращения титана и расширяют область твердых растворов на основе Ti.

Легирующие элементы, являющиеся β -стабилизаторами, повышают прочность, жаропрочность и термическую стабильность титановых сплавов. Кроме этого, сплавы, легированные элементами, повышающими стабильность β -фазы, значительно упрочняются в результате термической обработки.

Нейтральные упрочнители (Zr, Sn и др.) мало влияют на температуру полиморфного превращения и на стабильность α - и β -фаз. Добавка олова упрочняет титановые сплавы, повышает их сопротивление окислению и ползучести. Цирконий увеличивает сопротивление ползучести и длительную прочность сплава.

ГОСТ 19807—74 * распространяется на титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением, предназначенные для изготовления полуфабрикатов. Марки и химический

состав титана и титановых сплавов приведены в табл. 6.27.

- По структуре, которая образуется при отжиге, титановые сплавы классифицируются на:

а-сплавы, структура которых представлена α -фазой; псевдо-а-сплавы, структура которых представлена α -фазой и незначительным количеством В-фазы (не более 5 %);

(α + β)-сплавы, структура которых представлена α - и β -фазами;

псевдо-В-сплавы со структурой в отожженном состоянии, представленной α -фазой и большим количеством В-фазы;

В-сплавы, структура которых представлена В-фазой.

а-Сплавы. К этой группе относятся: титан технической чистоты (ВТ1-00, ВТ1-0), двойные сплавы системы Ti — Al (ПТ-1М, ВТ5), а также сплавы, легированные, помимо алюминия, нейтральными упрочнителями — оловом (ВТ5-1) и цирконием (ПТ-7М).

В целом а-сплавы характеризуются средней прочностью при комнатной температуре, высокими механическими свойствами при криогенных температурах, достаточной жаропрочностью (кроме технического титана и низколегированного сплава ПТ-1М).

а-Сплавы имеют высокую термическую стабильность, хорошую свариваемость и коррозионную стойкость.

Сплавы данной группы не упрочняются при термической обработке, что является их существенным недостатком.

Двойной сплав системы Ti — Al марки ВТ5 (4,3— 6,2 % Al) превосходит титан технической чистоты по прочности и жаропрочности, но технологичность его невелика. Сплав прокатывается, штампуется и куется в горячем состоянии, сваривается контактной и аргоно-дуговой сваркой, обладает хорошей коррозионной стойкостью в морской воде и в концентрированной азотной кислоте. Он поставляется в виде прутков, труб и поковок. Применяется для деталей, длительно работающих при температуре до 400 °С.

Сплав ВТ5-1, дополнительно легированный оловом, более технологичен и жаростоек, чем сплав ВТ5. Идет на изготовление всех видов полуфабрикатов. Применяется для сварных силовых узлов, подвергающихся длительным нагрузкам при температуре до 450 °С. Может быть

использован для работы при криогенных температурах (до -253 °С).

Сплав ПТ-7М, легированный алюминием и цирконием, поставляется в виде холоднодеформированных и горячекатаных труб. Применяется для трубопроводов, работающих при комнатной и повышенных температурах в агрессивных средах.

Псевдо-а-сплавы (ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, ПТ-3В, ВТ20). Структура сплавов марок ОТ4, ОТ4-0 и ОТ4-1 системы Ti — Al — Мп при комнатной температуре представлена α -фазой и небольшим количеством β -фазы вследствие дополнительного легирования марганцем (0,2—2 %). Сохраняя все достоинства а-сплавов, псевдо-а-сплавы системы Ti — Al — Мп обладают высокой технологической пластичностью. Они хорошо обрабатываются давлением в горячем и холодном состоянии.

Недостатками рассмотренных сплавов являются: невысокая прочность и жаропрочность, большая склонность к водородной хрупкости.

Сплав ОТ4-0 используется вместо технического титана в химической, пищевой и других отраслях промышленности.

Сплавы ОТ4-1 и ОТ4 (с большей массовой долей алюминия и марганца, чем сплав ОТ4-0) применяются в качестве конструкционных и обшивочных материалов. Из них изготавливают тонкостенные детали сложной формы, которые могут длительно работать до температур 350—400 °С.

Сплав ПТ-ЗВ отличается от сплавов серии ОТ тем, что вместо марганца содержит ванадий. Сплав идет на изготовление листов, профилей, труб, поковок и других полуфабрикатов. Применяется для валов, лопаток паровых турбин, корпусов химических реакционных колонок, ферменных сварных конструкций и других изделий. Сплав ВТ20, легированный алюминием, б-стабилизаторами (молибденом и ванадием) и нейтральными упрочнителями (цирконием), отличается значительной прочностью и жаропрочностью. Сплав хорошо сваривается, однако из-за большого содержания алюминия (5,5—7,0 %) его технологическая пластичность невелика. Выпускается в основном в виде листов и прутков. Листовую штамповку сплава проводят лишь при 800—900 °С. Применяется для штампосварных конструкций, работающих длительно до 500 °С и кратковременно — до 800 °С.

($\alpha + \beta$)-Сплавы (ВТ6, ВТ3-1, ВТ9, ВТ14, ВТ16, ВТ22). Двухфазные ($\alpha + \beta$)-сплавы обладают наиболее благоприятным сочетанием механических и технологических свойств по сравнению с другими сплавами на основе титана, поэтому они получили широкое распространение. Они хорошо обрабатываются давлением, имеют более высокую прочность и жаропрочность, чем сплавы с α -структурой. Важно и то, что ($\alpha + \beta$)-сплавы упрочняются термической обработкой (закалкой и старением), что позволяет регулировать их свойства. Двухфазные сплавы удовлетворительно обрабатываются резанием и ограниченно свариваются. После сварки необходима термообработка (отжиг) сварных швов для восстановления пластичности.

Во всех промышленных сплавах данной группы содержится алюминий. Он не только упрочняет α -фазу при комнатных и повышенных температурах, но и повышает термическую стабильность β -фазы. Алюминий уменьшает также плотность двухфазных сплавов, тем самым компенсируя увеличение плотности в связи с введением в сплавы тяжелых β -стабилизаторов.

Увеличение содержания β -стабилизаторов в сплаве приводит к увеличению прочности при незначительном ухудшении пластичности. Наиболее сильным упрочнителем является железо, несколько меньше упрочняют сплав хром, молибден и ванадий. Чем больше β -фазы содержится в структуре сплава, тем сильнее он упрочняется при термообработке.

Сплав ВТ6 системы Ti — Al — V сочетает высокие прочностные, пластические и технологические свойства. Ванадий — единственный из β -стабилизаторов, повышающий не только прочностные, но и пластические свойства сплавов. Из сплава ВТ6 изготавливают листы, прутки, плиты, профили, поковки, штамповки и другие полуфабрикаты.

Сплав ВТ6 превосходит сплавы с α -структурой по циклической прочности. По сравнению с другими двухфазными сплавами хорошо сваривается. Применяют сплав в отожженном и термически упрочненном состоянии.

Режимы упрочняющей термической обработки (α+β)-титановых сплавов приведены в табл. 6.28. Сплав ВТ6 применяется для сварных конструкций, длительно работающих до 400 °С и кратковременно—до 750 °С.

Такую же область применения имеет и сплав ВТ14 системы Ti — Al — Mo — V, выпускаемый в виде листов, плит, поковок и штамповок. Сплав чувствителен к перегреву в процессе термической обработки и горячей обработки давлением. Применяется в отожженном и термически упрочненном состоянии.

Сплав той же системы марки ВТ16 отличается от сплава ВТ 14 меньшей массовой долей алюминия и большей массовой долей В-стабилизаторов (молибдена и ванадия).

Применяется в отожженном и термически упрочненном состоянии. Благодаря высокому содержанию В-фазы сплав имеет высокую технологичность в отожженном состоянии. Основные виды полуфабрикатов — прутки и листы. Предназначен для деталей крепления

(болтов, винтов, заклепок и др.) и других изделий, длительно работающих при температурах до 350 °С.

Сплав ВТ22, легированный алюминием, молибденом, ванадием, хромом и железом, имеет в отожженном состоянии высокую прочность, равную прочности сплавов марок ВТ6 и ВТ14 после закалки и старения. Сплав можно использовать для изготовления крупногабаритных изделий, для которых затруднена упрочняющая термическая обработка. Выпускается в виде поковок, штамповок, прутков, профилей и других полуфабрикатов. После упрочняющей термической обработки применяется для нагруженных деталей и конструкций, работающих при 500 °С.

Сплав ВТ9 легирован значительным количеством алюминия (5,8—7,0 %), Р-стабилизаторами (молибденом и кремнием) и нейтральным упрочнителем — цирконием. Добавка циркония в сплавы системы Ti — Al — Mo — Si приводит к повышению прочности без заметного снижения пластичности при сохранении достаточно высокой термической стабильности.

Благодаря высокому содержанию алюминия и наличию циркония сплав обладает наиболее высокой жаропрочностью по сравнению с другими двухфазными сплавами. Используется в основном в отожженном состоянии. Основным видом полуфабриката — штамповки. Применяется для деталей, длительно работающих до 560 °С.

Сплав системы Ti — Al — Cr — Mo — Fe — Si марки ВТ3-1 также относится к жаропрочным сплавам титана с высокой длительной прочностью и сопротивлением ползучести. Он может длительно работать при 450—500 °С. Сплав обладает малой плотностью (благодаря значительному содержанию алюминия), высокой коррозионной стойкостью, хорошо обрабатывается давлением в горячем состоянии. Сплав обычно подвергают изотермическому отжигу для получения наиболее высокой термической стабильности и наибольшей пластичности. Сплав подвергают также упрочняющей термической обработке, однако эффект термического упрочнения сплава невелик. Применяется для нагруженных деталей и конструкций.

6-Сплавы. Однофазные В-сплавы не нашли промышленного применения из-за дороговизны и пониженной удельной прочности (они должны быть легированы большим количеством дефицитных элементов, обладающих повышенной плотностью — Мо, Та, Nb и др.). Однако В-сплавы могут быть использованы в качестве высококоррозионно-стойких материалов. Так, например, полупромышленный сплав марки 4201 (Ti + 33 % Mo) в ряде агрессивных сред может заменить дефицитный тантал и даже благородные металлы (золото и платину).

Механические свойства листов и плит из титана и некоторых титановых сплавов приведены в табл. 6.29.

Литейные титановые сплавы. Для фасонного литья применяют технический титан и титановые сплавы ВТ5Л, ВТ14Л, ВТ6Л, ВТ9Л, ВТЗ-1 Л, которые по химическому составу почти совпадают с аналогичными деформируемыми сплавами (см. табл. 6.27). В литейных сплавах допускается большее содержание примесей. Механические свойства литейных сплавов ниже, чем деформируемых.

Сплавы на основе титана имеют хорошие литейные свойства. Небольшое значение температурного интервала кристаллизации обеспечивает им хорошую жидкотекучесть и достаточно высокую плотность отливок. Сплавы титана обладают незначительной склонностью к образованию горячих трещин и малой линейной усадкой (2-3%).

Недостатками титановых литейных сплавов являются: склонность расплавленного титана к быстрому поглощению газов, содержащихся в атмосфере; высокая активность при взаимодействии со всеми известными формовочными и огнеупорными материалами. В связи с этим плавка и разливка сплавов ведется в вакууме, а формы изготовляют из графита, корунда или магнезита — материалов, минимально взаимодействующих с расплавленным металлом.

Наиболее широко для фасонного литья используется α -сплав ВТ5Л. Он имеет хорошие литейные свойства, отличается простотой химического состава, удовлетворительной пластичностью и ударной вязкостью отливок. Литейные дефекты сплава хорошо завариваются аргонно-дуговой сваркой. Недостаток сплава — невысокая прочность отливок (700 МПа). Сплав, применяется без термической обработки (отжига) и используется для изготовления отливок, длительно работающих при температурах до 400 °С.

Наиболее прочен промышленный литейный сплав ВТЗ-1Л. Микроструктура его в литом состоянии пред

ставляет смесь α - и β -фаз. Литейные свойства и пластичность сплава ниже, чем у α -сплава ВТ5Л. Для стабилизации структуры отливки отжигают при 650 °С в течение 1—2 ч. Сплав обладает высокой жаропрочностью, отливки из него могут длительно работать при температурах до 450 °С. Прочность литого сплава приближается к прочности деформируемого, однако предел выносливости в литом состоянии ниже, чем в деформируемом. Отливки также менее пластичны по сравнению с деформированными полуфабрикатами из того же сплава.

Сплав ВТ9Л — литейный вариант жаропрочного сплава ВТ9. Он предназначен для работы при температурах до 560 °С.

Применение титана и его сплавов. Титан и его сплавы благодаря высокой удельной прочности и хорошей сопротивляемости коррозии используются в самых различных

отраслях промышленности.

Широкое применение сплавы титана нашли в авиа-и ракетостроении. В конструкциях самолетов из сплавов титана делают панели (в том числе сотовые), лонжероны, шпангоуты, рули поворота, детали шасси, монорельсы, топливные баки, крепежные детали и т. п. Из сплавов титана делают также обшивку фюзеляжа и крыльев сверхзвуковых самолетов. В конструкциях авиационных реактивных двигателей сплавы титана применяются для изготовления деталей воздухосборника и направляющего аппарата, корпуса, дисков и лопаток компрессора и т. д.

В ракетной технике из титановых сплавов изготавливают корпуса двигателей, баллоны и шаробаллоны для сжатых и сжиженных газов, сопла и т. д. Титан и его сплавы являются перспективным материалом для объектов, монтируемых непосредственно в космическом пространстве.

Очень широкое применение титан и его сплавы нашли в химической промышленности (теплообменники, выпарные аппараты, реакторы для агрессивных сред, разделительные колонны, насосы, емкости, трубопроводы для агрессивных жидкостей, опреснительные установки и т. д.) и в цветной металлургии (насосы по перекачке агрессивных сред, трубопроводы, вентиляционные трубы для выброса агрессивных газов, запорная арматура на трубопроводах по перекачке агрессивных растворов, автоклавы, теплообменники для агрессивных растворов и пара, холодильники и другое оборудование на предприятиях никель-кобальтовой и титано-магниевого промышленности, а также в производстве меди, цинка, свинца, ртути и других металлов). Широкое применение титан и его сплавы нашли в пищевой промышленности (аппаратура для переработки пищевых продуктов, варочные котлы, холодильники, бочкотара, резервуары для органических кислот и ряда пищевых сред — рассолов, маринадов и др.).

Титан и его сплавы используются в судостроении (обшивка корпуса и подводных крыльев морских и речных судов, гребные винты, насосы, детали морских гидротурбинных двигателей и др.); в энергомашиностроении (диски и лопатки турбин и мощных компрессоров); в нефтяной промышленности (трубы, теплообменники и другие узлы плавучих платформ, облицовка стальных эстакад на морских нефтепромыслах и т. д.); в радиоэлектронике и вакуумной технике (газопоглотители, детали электронно-вакуумных приборов, конденсаторы, металлокерамические лампы); в медицинской промышленности (аппаратура для изготовления медикаментов, внутренние протезы, хирургические инструменты).

Титан и его сплавы применяются также в криогенной технике, приборостроении. Титан используется для приготовления титановых белил; в качестве легирующего элемента в цветной и черной металлургии. Карбид титана входит в состав спеченных твердых сплавов.

Более широкое применение титана и его сплавов в промышленности сдерживается пока еще их относительно высокой стоимостью.