

19. Титан и его сплавы

Титан и его свойства

Титан – серебристо-белый металл с малой плотностью ($4,5 \text{ г/см}^3$) и высокой температурой плавления ($1672 \text{ }^\circ\text{C}$). По распространенности он занимает четвертое место после алюминия, железа и магния. Рост производства титана, обеспеченный развитием самолето- и ракетостроения обусловлен сочетанием таких ценных свойств, как малая плотность, высокая удельная прочность, коррозионная стойкость, технологичность при обработке давлением и свариваемость (контактной и дуговой сваркой в защитной атмосфере), хладостойкость высокая стойкость против солнечной радиации, немагнитность и ряд других ценных свойств. Недостатком титана является плохая обрабатываемость резанием.

Титан имеет две аллотропические модификации:

- α -низкотемпературная с плотноупакованной гексагональной решеткой ($t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$);
- β -высокотемпературная с кубической объемноцентрированной решеткой ($t = 900 \text{ }^\circ\text{C}$).

Температура перехода $\alpha \leftrightarrow \beta$ равна $882 \text{ }^\circ\text{C}$.

Механические свойства титана существенно зависят от чистоты металла и примесей. Различают примеси внедрения – кислород, азот, углерод, водород и примеси замещения, к которым относятся железо и кремний. Хотя примеси повышают прочность, но одновременно они резко снижают пластичность, причем наиболее сильное отрицательное действие оказывают примеси внедрения, особенно газы.

Чистый титан с малым содержанием водорода (менее $0,002 \%$) не обладает хладноломкостью при прочности 1300 МПа и сохраняет высокую пластичность даже при температуре жидкого гелия ($\delta = 15\text{-}20 \%$).

По удельной прочности в интервале температур $300\text{-}600 \text{ }^\circ\text{C}$ сплавы титана не имеют себе равных; при температуре ниже $300 \text{ }^\circ\text{C}$ они уступают алюминиевым сплавам, а выше $600 \text{ }^\circ\text{C}$ – сплавам на основе железа и никеля.

Хотя титан относится к числу химически активных металлов, он обладает высокой коррозионной стойкостью, т.к. на его поверхности образуется стойкая пассивная пленка оксида титана, прочно связанная с основным металлом и исключая его непосредственный контакт с окружающей средой. Благодаря оксидной пленке титан и его сплавы не корродируют в атмосфере, пресной и морской воде, устойчивы против кавитационной коррозии и коррозии под напряжением, а также в кислотах органического происхождения.

При технологических и эксплуатационных нагревах необходимо принимать меры защиты титана от газонасыщения. Кроме газов, вредной примесью для титана является углерод, образующий карбиды.

Основной целью легирования титановых сплавов является повышение прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости. Широкое применение

нашли сплавы титана с алюминием, хромом, молибденом, ванадием, марганцем, оловом и некоторыми другими элементами.

Легирование титана

Как и в случае легирования железа, так и в данном случае основное значение имеет способность к растворению легирующего элемента в титане и влияние его на положение критической точки.

В соответствии с этим все элементы можно разделить на две группы: неограниченно растворимые (кислород, азот, ванадий, цирконий, ниобий, молибден, олово) и ограниченно растворимые, которые образуют химические соединения (бор, алюминий, углерод, хром, марганец, железо, никель, кремний, вольфрама, золото).

Кроме того, легирующие элементы повышают температуру перехода $\alpha \leftrightarrow \beta$ (1) или понижают ее (2) (**слайд**).

Если элемент изоморфен α -стабилизаторы, т.е. имеет гексагональную кристаллическую решетку, то он расширяет α -область; если элемент изоморфен β -титану, т.е. имеет о.ц.к. решетку, то он расширяет β -область. Элементы I класса называют α -стабилизаторами, элементы второго класса β -стабилизаторами.

Фазовые превращения в титановых сплавах

Полиморфное $\beta \leftrightarrow \alpha$ -превращение может иметь два различных механизма. При высоких температурах, т.е. при небольшом переохлаждении относительно равновесной температуры, превращение происходит обычным диффузионным путем, а при значительном переохлаждении и, следовательно, при низкой температуре, когда подвижность атомов мала, - по бездиффузионному мартенситному механизму. В первом случае (**слайд**) образуется полиэрическая структура α -твердого раствора, во втором – игольчатая (пластинчатая) мартенситная структура.

Легирующие элементы, снижающие температуру $\beta \leftrightarrow \alpha$ -превращения, естественно, способствуют получению мартенсита, тогда как при малом легировании для этого требуется интенсивное охлаждение. При очень высоком содержании β -стабилизаторов температура $\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращения снижается до нуля и β -твердый раствор охлаждается до комнатной температуры без превращения.

Все β -стабилизаторы понижают точку M_n , как показано на **слайде**.

Промышленные титановые сплавы

Титановые сплавы по сравнению с техническим титаном имеют большую прочность, в том числе при высоких температурах, сохраняя при этом достаточно высокую пластичность и коррозионную стойкость.

Подобно классификации легированных сталей, титановые сплавы классифицируют по структуре, которую они получают после охлаждения на воздухе (нормализация) и соответственно с этим сплав разделяют на α -сплавы, $\alpha + \beta$ -сплавы и β -сплавы (**рис. 14.1**).

Современные α -сплавы сравнительно малопластичны, не охрупчиваются при термической обработке. К сплавам этого класса относится чистый титан и сплавы титана с алюминием.

β -сплавы наиболее пластичны, но наименее прочны: при нагреве не испытывают фазовых превращений.

Сплавы $\alpha+\beta$ более прочные, чем однофазные, хорошо куются и штампуются, поддаются термической обработке, охрупчиваются лишь при определенных режимах термической обработки.

Термическая обработка титановых сплавов

Рекристаллизационный отжиг титана и его сплавов проводят при 700...800 °С, что значительно превосходит температуру рекристаллизации (500 °С). Эта температура достаточна для быстрого устранения наклепа. Фазовые превращения в титане позволяют проводить различные операции закалки и отпуска (старения). Хотя при этом значительного изменения свойств не происходит как при ТО стали, тем не менее определенные изменения наблюдаются.

Наиболее важна ТО, в результате которой измельчаются зерна при фазовой перекристаллизации и повышаются пластические свойства.

Применение

Титановые сплавы получили широкое распространение в технике благодаря высокой удельной прочности, особенно в тех областях промышленности, где важное значение имеет масса (авиастроение, ракетостроение и др.). Из сплавов титана делают обшивку фюзеляжа и крыльев сверхскоростных самолетов, панели и шпангоуты ракет, диски лопатки турбин. Применение для изготовления ряда узлов и деталей высокопрочных титановых сплавов вместо алюминиевых позволило создать самолеты, преодолевающие звуковой барьер.

Сплавы титана имеют хорошие литейные свойства – высокую жидкотекучесть, плотность отливок и малую склонность к образованию горячих трещин. Из-за склонности к поглощению газов их плавку и разливку ведут в вакууме или в среде нейтральных газов. Механические свойства литейных титановых сплавов ниже, чем у деформируемых.

Титановые сплавы склонны к повышенному налипанию на инструмент, что в сочетании с их низкой теплопроводностью затрудняет процесс механической обработки. При обработке резанием целесообразно применение инструмента с твердосплавными пластинами.

При проведении сварки титановых сплавов во избежание появления дефектов в швах, основными из которых являются поры и холодные трещины, необходимо тщательное удаление поверхностной оксидной пленки основного и присадочного материала. Из-за химической активности титана обязательна защита инертными газами сварочной ванны и остывающих участков от соприкосновения с воздушной атмосферой.

Кроме того, титан обладает высокой коррозионной стойкостью в большом количестве агрессивных сред, превосходя в этом отношении нержавеющую сталь. Высокая коррозионная стойкость титана обусловлена образова-

нием на поверхности плотной защитной пленки (TiO_2). Если эта пленка не растворяется в окружающей среде, то можно считать, что титан в ней абсолютно стоек. Например, морская вода за 4000 лет растворит слой титана толщиной, равной листу бумаги. Легче перечислить среды, в которых титан не стоек: из неорганических сред – плавиковая, соляная, серная и ортофосфорная кислоты; из органических – щавелевая и уксусная кислоты. Все это обусловило применение титановых сплавов в судостроении, в первую очередь для оборудования подводных лодок, а также в химической промышленности.

Высокая коррозионная стойкость в различных средах делает сплавы титана перспективными для применения в пищевой промышленности. Некоторые пищевые продукты могут портиться от контакта со сталью, тогда как титан не придает им постороннего запаха, цвета или вкуса. Благодаря пластичности и вязкости при низких температурах, титановые сплавы применяются в холодильной и криогенной технике.

Титан используют в медицине благодаря полной биологической совместимости с тканями человеческого организма. Титан не отторгается костной и мышечной тканями и легко обрастает ими. В ортопедической хирургии титановые сплавы широко используются в качестве протезов для различных суставов.

Отжиг титановых изделий в атмосфере азота или ионно-плазменная обработка позволяют формировать на поверхности стойкие нитриды титана золотых оттенков. Эта технология использована для реставрации памятников и изготовления крестов на восстанавливаемых церковных зданиях Санкт-Петербурга.