

9 ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Химико-термическая обработка (ХТО) стали - совокупность операций термической обработки с насыщением поверхности изделия различными элементами (углерод, азот, алюминий, кремний, хром и др.) при высоких температурах.

Поверхностное насыщение стали металлами (хром, алюминий, кремний и др.), образующими с железом твердые растворы замещения, более энергоемко и длительнее, чем насыщение азотом и углеродом, образующими с железом твердые растворы внедрения. При этом диффузия элементов легче протекает в решетке альфа-железо, чем в более плотноупакованной решетке гамма-железо.

Химико-термическая обработка повышает твердость, износостойкость, кавитационную, коррозионную стойкость. Химико-термическая обработка, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения сжатия, увеличивает надежность, долговечность.

9.1 Виды химико-термической обработки

9.1.1 Цементация

Цементация стали - химико-термическая обработка поверхностным насыщением малоуглеродистой ($C < 0,2\%$) или легированных сталей при температурах $900...950^{\circ}\text{C}$ - твердым (цементация твердым карбюризатором), а при $850...900^{\circ}\text{C}$ - газообразным (газовая цементация) углеродом с последующей закалкой и отпуском. Цель цементации и последующей термической обработки - повышение твердости, износостойкости, также повышением пределов контактной выносливости поверхности изделия при вязкой сердцевине, что обеспечивает выносливость изделия в целом при изгибе и кручении.

Детали, предназначенные для цементации, сначала очищают. Поверхности не подлежащие науглероживанию, покрывают специальными предохранительными противоцементными обмазками.

1-ый состав простейшей обмазки: огнеупорная глина с добавлением 10% асбестового порошка, вода. Смесь разводят до консистенции густой сметаны и наносят на нужные участки поверхности изделия. После высыхания обмазки можно производить дальнейшую цементацию изделия.

2-ой состав применяемой обмазки: каолин - 25%, тальк - 50%: вода - 25%. Разводят эту смесь жидким стеклом или силикатным клеем.

Цементацию делают после полного высыхания обмазки.

Вещества, которые входят в состав обмазки, называют карбюризаторами. Они бывают твердые, жидкие и газообразные.

В условиях домашней небольшой мастерской удобнее осуществлять цементацию с помощью пасты. Это цементация в твердом карбюризаторе. В состав пасты входят: сажа - 55%, кальцинированная сода - 30%, щавелевокислый натрий - 15%, вода для образования сметанообразной

массы. Пасту наносят на нужные участки изделия, дают высохнуть. Затем изделие помещают в печь, выдерживая при температуре 900-920°C в течение 2-2,5 часов. При использовании такой пасты цементация обеспечивает толщину науглероженного слоя 0,7-0,8 мм.

Жидкостная цементация также возможна в небольшой мастерской при наличии печи-ванны, в которой и происходит науглероживание инструментов и других изделий. В состав жидкости входят: сода - 75-85%, 10-15% хлористого натрия, 6-10% карбида кремния. Печь-ванну наполняют этим составом и погружают изделие или инструмент. Процесс протекает при температуре 850-860°C в течение 1,5-2 часов; толщина науглероженного слоя достигает при этом 0,3-0,4 мм.

Газовую цементацию производят в смеси раскаленных газов, содержащих метан, окись углерода в специальных камерах при температуре 900-950°C и только в производственных условиях. После цементации детали охлаждают вместе с печью, затем закаляют при 760-780°C с окончательным охлаждением в масле.

9.1.2 Азотирование

Азотирование стали - химико-термическая обработка поверхностным насыщением стали азотом путем длительной выдержки ее при нагреве до 600...650°C в атмосфере аммиака NH_3 . Азотированные стали обладают очень высокой твердостью (азот образует различные соединения с железом, алюминием, хромом и другими элементами, обладающие большей твердостью, чем карбиды). Азотированные стали обладают повышенной сопротивляемостью коррозии в таких средах, как атмосфера, вода, пар.

Азотированные стали сохраняют высокую твердость, в отличие от цементованных, до сравнительно высоких температур (500...520°C). Азотированные изделия не коробятся при охлаждении, так как температура азотирования ниже, чем цементации. Азотирование сталей широко применяют в машиностроении для повышения твердости, износостойкости, предела выносливости и коррозионной стойкости ответственных деталей, например, зубчатых колес, валов, гильз цилиндров.

9.1.3 Нитроцементация (цианирование)

Нитроцементация (цианирование) стали - химико-термическая обработка с одновременным поверхностным насыщением изделий азотом и углеродом при повышенных температурах с последующими закалкой и отпуском для повышения износо- и коррозионной устойчивости, а также усталостной прочности. Нитроцементация может проводиться в газовой среде при температуре 840..860°C - нитроцианирование, в жидкой среде - при температуре 820...950°C - жидкостное цианирование в расплавленных солях, содержащих группу NaCN .

Нитроцементация эффективна для инструментальных (в частности, быстрорежущих) сталей; она используется для деталей сложной конфигурации, склонных к короблению. Однако, поскольку этот процесс

связан с использованием токсичных цианистых солей, он не нашел широкого распространения.

9.1.4 Борирование

Борирование стали - химико-термическая обработка насыщением поверхностных слоев стальных изделий бором при температурах 900...950°C. Цель борирования - повышение твердости, износостойкости и некоторых других свойств стальных изделий. Диффузионный слой толщиной 0,05...0,15 мм, состоящий из боридов FeB и Fe₂B, обладает весьма высокой твердостью, стойкостью к абразивному изнашиванию и коррозионной стойкостью. Борирование особенно эффективно для повышения стойкости (в 2...10 раз) бурового и штампового инструментов.

9.1.5 Диффузионная металлизация (насыщение металлами)

Диффузионная металлизация – это процесс диффузионного насыщения поверхности слоев стали различными металлами. Как и при других видах ХТО, диффузионную металлизацию можно проводить в твердых, жидких и газообразных средах.

При *твердой диффузионной металлизации* металлизатором является ферросплав (феррохром, ферросилиций, ферроалюминий – сплавы железа с хромом, кремнием, алюминием и т.д.с высоким содержанием этих элементов) с добавлением хлористого аммония (NH₄Cl). В результате реакции металлизатора с HCl и Cl₂ образуются летучие соединения хлора с металлом, которые при контакте с металлической поверхностью диссоциируют с образованием свободных атомов.

Жидкую диффузионную металлизацию проводят погружением детали в расплавленный металл.

Газовую диффузионную металлизацию проводят в газовых средах, являющихся хлоридами различных металлов.

Наиболее часто применяемые диффузионные процессы:

- *алитирование* – насыщение поверхности стали алюминием. В результате алитирования сталь приобретает высокую окислительную стойкость и коррозионную стойкость в атмосфере;

- *хромирование*- поверхностное насыщение хромом. Используют для повышения коррозионной стойкости, кислотостойкости, окислительной стойкости;

- *силицирование* – насыщение поверхности стали кремнием. Сталь приобретает высокую коррозионную стойкость в морской воде различных кислот, повышенную износостойкость.

В последние годы разработаны и получают промышленное внедрение титанирование (насыщение титаном) и цинкование - насыщение поверхности стали цинком.

10 ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Цветные металлы и сплавы имеют более высокую стоимость по сравнению с черными, обладают рядом ценных свойств. Ценные свойства цветных металлов обусловили их широкое применение в различных отраслях современного производства.

Медь, алюминий, цинк, магний, титан и другие металлы и их сплавы являются незаменимыми материалами для приборостроительной и электротехнической промышленности, самолетостроения и радиоэлектроники, ядерной и космической отраслей техники. Цветные металлы обладают рядом ценных свойств: высокой теплопроводностью, очень малой плотностью (алюминий и магний), очень низкой температурой плавления (олово, свинец), высокой коррозионной стойкостью (титан, алюминий). В различных отраслях промышленности широко применяются сплавы алюминия с другими легирующими элементами. Сплавы на магниевой основе отличаются малой плотностью, высокой удельной прочностью, хорошо обрабатываются резанием. Они нашли широкое применение в машиностроении и в частности в авиастроении.

В качестве конструкционных сплавов в машиностроении из числа цветных металлов наибольшее значение имеют сплавы на основе меди и легких металлов – титана, алюминия и магния.

Таблица 10.1- Краткая характеристика некоторых цветных металлов

Свойства	Fe	Cu	Ti	Al	Mg
γ , г/см ³	7,8	8,9	4,5	2,7	1,7
t пл, °C	1539	1083	1658	627	651
σ_B , кгс / мм ²	25-30	20-25	30-35	10-15	11
δ , %	50-60	50-70	20-25	30-40	18
НВ, кгс / мм ²	80	50	30	25	15
E, кгс / мм ²	21000	12000	1400	7100	4570
σ_B / γ	25 / 7,8	20 / 8,9	30 / 4,5	10 / 2,7	11 / 1,7

Сплавы легких металлов характеризуются высокой удельной прочностью, измеряемой отношением прочностных характеристик к плотности материала.

10.1 Алюминий и его сплавы

По распространенности в природе алюминий занимает третье место после кислорода и кремния и первое место среди металлов. По использованию в технике он занимает второе место после железа. В свободном виде алюминий не встречается, его получают из минералов — бокситов, нефелинов и алунитов, при этом сначала производят глинозем, а затем из глинозема путем электролиза получают алюминий. Механические свойства алюминия невысоки. Алюминий хорошо сваривается, однако трудно обрабатывается резанием, имеет большую линейную усадку — 1,8%. В чистом виде алюминий применяется редко, в основном широко используются его сплавы с медью, магнием, кремнием, железом и т. д. Алюминий и его сплавы необходимы для авиа- и машиностроения, линий электропередач, подвижного состава метро и железных дорог.

Алюминиевые сплавы подразделяются на *литейные* и *деформируемые*. Механические свойства сплавов зависят от их химического состава и способов получения. Химический состав основных компонентов, входящих в сплав, можно определить по марке. Например, сплав АК12 содержит 12% кремния, остальное — алюминий; АК7М2П — 7% кремния, 2% меди, остальное — алюминий.

Из всех легких металлов Al характеризуется наибольшим объемом производства, занимая в мировой промышленности второе место после производства стали. Алюминиевые сплавы имеют сравнительно невысокую стоимость, близкую к стоимости коррозионностойкой хромоникелевой стали.

Алюминиевые сплавы применяют в строительных конструкциях, судостроении, железной дороге, автотранспорте, летательных аппаратах, нефтяном и химическом машиностроении, электротехнике и т. д.

Алюминий кристаллизуется в гранцентрированной решетке, полиморфных превращений не имеет, обладает малой плотностью, низкой температурой плавления, высокой электро- и теплопроводностью, низкой σ_v , высокой δ , а также высокой коррозионной стойкостью.

Постоянные примеси алюминия Fe и Si. Хорошо деформируется и сваривается, но плохо обрабатывается резанием.

Технический алюминий применяется в электротехнике в качестве проводникового материала. Электропроводимость Al составляет 65% от электропроводности Cu при значительно меньшей плотности.

Высокая коррозионная стойкость в органических кислотах обусловлено широкое применение алюминия для бытовой посуды, транспортировки и хранения продуктов питания.

Тончайший слой алюминия, нанесенный на ткань, позволяет задерживать тепловые лучи, пропуская лишь световые. Из такой ткани изготавливают палатки, защитные костюмы, комбинезоны и т. д.

10.1.1 Классификация алюминиевых сплавов и маркировка

Из-за низкой прочности алюминий применяется для изготовления малонагруженных элементов конструкций. Более широкое применение в качестве конструкционных материалов имеют сплавы на основе алюминия.

Основными легирующими элементами в алюминиевых сплавах являются медь, кремний, магний, марганец. Легирующие элементы по-разному влияют на алюминий. Магний марганец снижают тепло- и электропроводность, повышают прочность. Железо снижает коррозионную стойкость. Алюминий высокой чистоты, применяемых для лабораторных целей (фольга, токопроводящие и кабельные изделия) содержит 99,9%Al, для технических целей 99,50%Al. Постоянные примеси алюминия железо и кремний.

Принцип маркировки: А99 (99,999% Al) – высокая чистота. Буква «А» в начале марки означает – технический алюминий; АК – ковкие алюминиевые сплавы; В – высокопрочные алюминиевые сплавы; АЛ – литейные алюминиевые сплавы. После этих букв следует условный номер сплава. За условным номером дают обозначение, характеризующее состояние сплава: М- мягкий (отожженный); Т- термообработанный (закалка + старение); Н- нагартованный и т.д.

Алюминиевые сплавы по технологическим свойствам подразделяются на: деформируемые и литейные.

- *деформируемые* сплавы предназначены для получения полуфабрикатов: листов, плит, прутков, профилей, труб и т.д.), а также поковок и штамповых заготовок путем прессования,ковки, штамповки.

- *литейные*, предназначены для фасонного литья.

Деформируемые сплавы по способности упрочняться делятся на сплавы:

- не упрочняемые термообработкой
- упрочняемые термообработкой

К не упрочняемым термообработкой алюминиевым сплавам относятся сплавы типа АМц (система Al – Mn) и типа АМг (Al – Mg).

Эти сплавы имеют сравнительно низкую прочность, но более высокую пластичность и коррозионную стойкость. Чаще используются Al + Mg сплавы, т.к. имеют меньшую плотность и достаточная прочность.

Например, АМц (1,0 – 1,6% Mn) $\sigma_b = 130\text{МПа}$, $\sigma_{0,2} = 50\text{МПа}$, $\delta = 23\%$.
АМг2 (0,2-0,6 Mn; 1,8–2,8% Mg) $\sigma_b = 200\text{МПа}$, $\sigma_{0,2} = 100\text{МПа}$, $\delta = 23\%$.

К *упрочняемым термообработкой* деформируемым сплавам относятся сплавы Al + Cu, которые называется *дуралюминами*. Кроме основных компонентов дуралюмины содержат Al + Cu + Mg + Mn + Fe + Si. Легирующие элементы, как марганец повышает коррозионную стойкость, медь и магний вводятся для упрочнения, могут присутствовать железо и кремний. Термообработка: закалка (495-510⁰С) + старение: естественное при комнатной температуре 7 суток или искусственное при 100-150⁰С 40-60 мин. Дуралюмины маркируются Д1, Д16, Д6 и др.

Сплавы для обработки давлением состоят из алюминия (основа), легирующих элементов (медь — 5%, магний — 0,1—2,8%, марганец — 0,1—0,7%, кремний — 0,8—2,2%, цинк — 2—6,5% и небольшого количества других примесей).. Из алюминиевых сплавов изготавливают полуфабрикаты — листы, ленты, полосы, плиты, слитки, слябы.

Литейные сплавы должны обладать высокой жидкотекучестью. Такие свойства имеют сплавы, имеющие в своей структуре эвтектику. К таким сплавам относятся сплавы алюминия и кремния, называемые **силуминами**. АЛ2, АЛ4, АЛ7, АЛ8, АЛ9, АЛ27. Кроме алюминия (основа) и кремния (10—13%), в этот сплав входят: железо — 0,2—0,7%, марганец — 0,05—0,5%, кальций — 0,7—0,2%, титан — 0,05—0,2%, медь — 0,03% и цинк — 0,08% (таблица 10.3). Из силуминов изготавливают различные детали для автомобилей, тракторов, пассажирских вагонов.

Прочность силуминов невелика, $\sigma_b = 140$ МПа. Для измельчения зерна и улучшения механических свойств литейные алюминиевые сплавы подвергают модифицированию. В качестве модификаторов применяют смеси солей NaF и NaCl. После модифицирования прочность повышается на 25%, пластичность повышается в два раза.

Силумины хорошо свариваются и почти не дают трещин от усадочных напряжений. Используются для деталей автомобилей: водяной насос, крышка распределительных шестерен, головки и блоки цилиндров, картер коробки передач, тормозные барабаны, поршни двигателей и т.д.

10.2 Медь и ее сплавы

Медь широко используется в электромашиностроении, при строительстве линий электропередач, для изготовления оборудования телеграфной и телефонной связи, радио- и телевизионной аппаратуры. Медь обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью, прочностью, вязкостью и коррозионной стойкостью. Физические свойства ее обусловлены структурой.

Она имеет кубическую гранцентрированную решетку. Обладая замечательными свойствами, медь в то же время как конструкционный материал не удовлетворяет требованиям машиностроения, поэтому ее легируют, т. е. вводят в сплавы такие металлы, как цинк, олово, алюминий, никель и другие, за счет чего улучшаются ее механические и технологические свойства. В чистом виде медь применяется ограниченно, более широко — ее сплавы.

По химическому составу медные сплавы подразделяют на *латуни*, *бронзы* и медноникелевые; по технологическому назначению — на *деформируемые*, используемые для производства полуфабрикатов (проволоки, листа, полос, профиля), и *литейные*, применяемые для литья деталей.

38% цинка. В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество легирующих элементов (в %) ставится после букв, их обозначающих. Например, литейная латунь ЛЦ40Мц3А содержит 40% цинка, 3% марганца, менее 1% алюминия и 56% меди. Латунни содержащие до 15% цинка Л90, Л85 называют *томпаком*, они имеют цвет золота и применяются для изготовления украшений.

10.2.2 Бронзы

Бронзы — сплавы на основе меди, в которых в качестве добавок используются олово, алюминий, бериллий, кремний, свинец, хром и другие элементы.

Бронзы обладают хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатываются давлением и резанием, широко используется как антифрикционные сплавы.

По технологическому признаку бронзы делят на деформируемые и литейные. Маркируются бронзы буквами Бр, за которыми ставится содержание легирующих элементов в %. Обозначения легирующих элементов и отличия в марках деформируемых и литейных сплавов у бронз такие же, как у латуней. Например, деформируемая бронза БрОФ6,5-0,4 содержит 6,5% олова и 0,4% фосфора. Литейная бронза БРО3Ц7С5Н – 3% олова, 7% цинка, 5% свинца, менее 1% никеля.

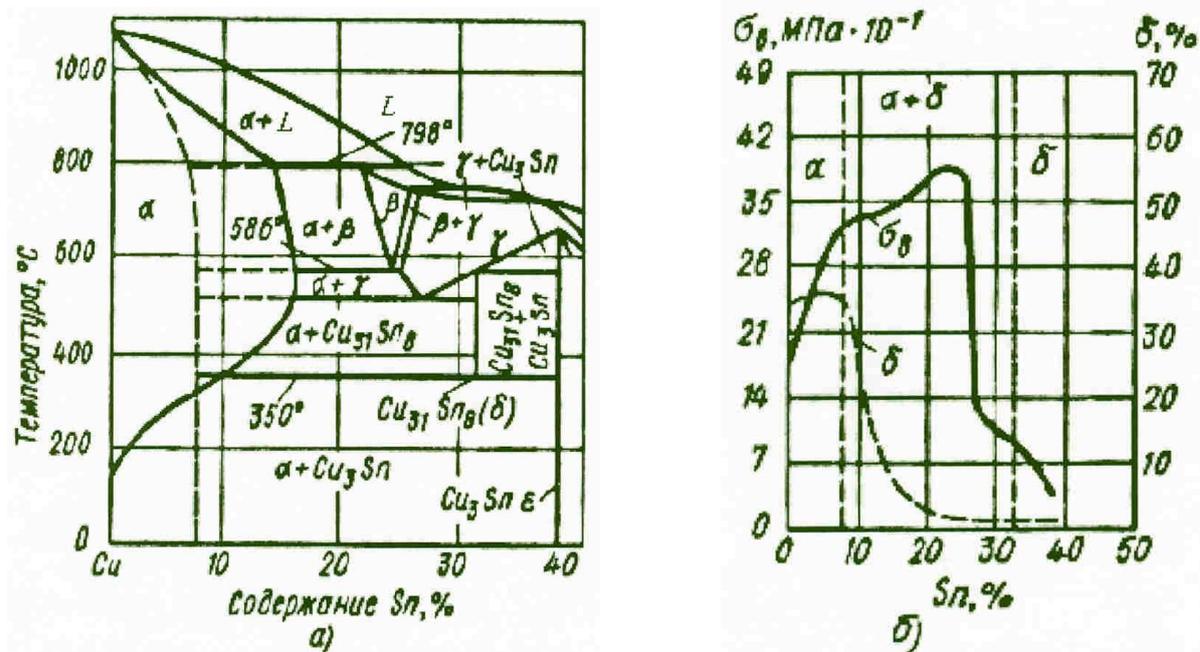


Рис.10.2- Диаграмма Cu-Sn (а) и влияние олова на механические свойства бронзы (б).

Особенно широко применяются в машиностроении оловянные бронзы. Они обладают высокими механическими и антифрикционными свойствами,

коррозионной стойкостью, хорошо отливаются и обрабатываются резанием. При содержании олова больше 7- 9% появляется вторичная фаза (10.2а), которая снижает пластичность (Рис.10.2б). Бронза с содержанием олова выше 12% не применяются.

Олово – дорогостоящий и дефицитный материал, поэтому стремятся использовать безоловянные бронзы, которые состоят из меди с алюминием (БрА5, БрА7 и др.) или кремнием (БрКН1-3, БрКМц3-1), бериллием, (БрБ2, БрБНТ1,7 и др.), свинцом (БрО30) и др. Бронзы используются для производства запорной арматуры (краны, вентили), различных деталей, работающих в воде, масле, паре, слабоагрессивных средах, морской воде.

10.3 Магний и его сплавы

Мягкий металл, т.к. имеет низкую плотность ($1,73\text{г/см}^3$). $t_{\text{пл}} = 650^{\circ}\text{C}$. Кристаллическая решетка ГПУ, полиморфных превращений не имеет. Различают деформируемые и литейные медные сплавы.

Деформируемые: МА (МА1, МА5, МА8, МА9 и др.) – подвергаются прессованию, ковке, прокатке, штамповке и др. видам обработки давлением.

Литейные: МЛ (МПЗ, МЛ5 и др.) – детали получают методом фасонного литья. Подвергаются термообработке: отжигу – $400-490^{\circ}\text{C}$, 10-24 часа; закалке – $380-540^{\circ}\text{C}$; старению – $150-200^{\circ}\text{C}$. При этом повышается прочность на 20-35%, понижается пластичность.

Основные сплавы на основе магния $\text{Mg} + \text{Al} + \text{Zn}$; Mn ; Zr . Алюминий и цинк с массовой долей до 7% повышают его механические свойства, марганец улучшает его сопротивление коррозии и свариваемость, цирконий, введенный в сплав вместе с цинком, измельчает зерно (в структуре сплава), повышает механические свойства и сопротивление коррозии.

В металлургии широко используется магний, с помощью которого осуществляют раскисление и обессеривание некоторых металлов и сплавов, модифицируют серый чугун с целью получения графита шаровидной формы, производят трудно восстанавливаемые металлы (например, титан), смеси порошка магния с окислителями служат для изготовления осветительных и зажигательных ракет в реактивной технике и пиротехнике. Благодаря высокой удельной прочности $\sigma_{\text{в}} / \gamma$ магниевые сплавы нашли применение в самолетостроении, ракетостроении, в автостроении (картеры двигателей, коробки передач), в электротехнике и радиотехнике для изготовления корпусов приборов и т.д.

Благодаря высокой теплоемкости (2,5 раза выше чем у стали) магниевые сплавы не успевают перегреться при кратковременной длительности полета.

Свойства магния значительно улучшаются за счет легирования. Из магниевых сплавов изготавливают фасонные отливки, а также полуфабрикаты — листы, плиты, прутки, профили, трубы, проволоки. Промышленный магний получают электролитическим способом из магнезита, доломита, карналлита,

Для защиты от коррозии детали из магниевых сплавов подвергают оксидированию или нанесению лакокрасочных покрытий и эмалей.

10.4 Титан и его сплавы

Титан — металл серебристо-белого цвета. Это один из наиболее распространенных в природе элементов. Среди других элементов по распространенности в земной коре (0,61%) он занимает десятое место. Титан легок (плотность его 4,5 г/см³), тугоплавок (температура плавления 1665 °С), весьма прочен и пластичен. На поверхности его образуется стойкая окисная пленка, за счет которой он хорошо сопротивляется коррозии в пресной и морской воде, а также в некоторых кислотах. При температурах до 882 °С он имеет гексагональную плотно упакованную решетку, при более высоких температурах — объемно-центрированный куб. Механические свойства листового титана зависят от химического состава и способа термической обработки. Предел прочности его — 300—1200 МПа (30—120 КГС/мм²), относительное удлинение — 4—10%. Вредными примесями титана являются азот, углерод, кислород и водород. Они снижают его пластичность и свариваемость, повышают твердость и прочность, ухудшают сопротивление коррозии. При температуре свыше 500 °С титан и его сплавы легко окисляются, поглощая водород, который вызывает охрупчивание (водородная хрупкость). При нагревании выше 800 °С титан энергично поглощает кислород, азот и водород, эта его способность используется в металлургии для раскисления стали. Он служит легирующим элементом для других цветных металлов и для стали. Благодаря своим замечательным свойствам титан и его сплавы нашли широкое применение в авиа-, ракето- и судостроении. Из титана и его сплавов изготавливают полуфабрикаты: листы, трубы, прутки и проволоку. Основными промышленными материалами для получения титана являются: ильменит, рутил, перовскит и сфен (титанит). Технология получения титана сложна, трудоемка и длительна: сначала вырабатывают титановую губку, а затем путем переплавки в вакуумных печах из нее производят ковкий титан. Губчатый титан, получаемый магниетермическим способом, служит исходным материалом для производства титановых сплавов и других целей. В зависимости от химического состава и механических свойств стандартом установлены следующие марки губчатого титана: ТГ-90, ТГ-100, ТГ-110, ТГ-120, ТГ-130. В обозначении марок буквы «ТГ» означают — титан губчатый, «Тв» — твердый, цифры означают твердость по Бринеллю. В губчатый титан входят примеси: железо — до 0,2%, кремний — до 0,04%, никель — до 0,05%, углерод — до 0,05%, хлор — до 0,12%, азот — до 0,04%, кислород — до 0,1%. Для изготовления различных полуфабрикатов (листы, трубы, прутки, проволока) предназначены титан и титановые сплавы, обрабатываемые давлением.

