

Исследование сверхпластичности сплавов титана в зависимости от состава, структуры и режимов обработки

Студент группы 10405517 Чернявская Е.Г.
Научный руководитель – к.т.н. Астрейко Л.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Титан — уникальный по своим свойствам металл. Основным потребителем титановой продукции является авиационная промышленность. Например, титановый корпус самолета при полете достигает скорости, которая намного больше, чем скорость звука. При этом нагревается до температуры свыше 300 °С и не плавится. Титан практически незаменим в ракетостроении и космической технике. [1-3].

Многие титановые сплавы «природно сверхпластичны», т.е. после серийной обработки в обычном состоянии листы из этих сплавов пригодны для сверхпластической деформации (СПДВ).

Сверхпластичность - это способность материалов при растяжении в определенных температурно-скоростных условиях воспринимать весьма значительные деформации, превышающие их значения при обычных условиях испытания в несколько раз. Одна из первых отраслей применения сверхпластичности-объемная штамповка: технология обработки материала в состоянии сверхпластичности применяется при изготовлении штампованных силовых узлов, облицовок автомобилей. Технология пневмотермической штамповки удешевляет производство деталей из сплавов титана. [4]

Сплавы титана имеют более низкий модуль упругости по сравнению со сталями. Кристаллическая структура α -фазы имеет анизотропность свойств. Двухфазные сплавы характеризуются микрозернистой сверхпластичностью. Оптимальное значение сверхпластичности обеспечивается при содержании β -фазы до 50 %. Для сохранения эффекта сверхпластичности необходимо контролировать получение ультра мелкозернистой (УМЗ) микроструктуры. Этого можно достичь введением легирующих элементов с высоким коэффициентом диффузии в титане, это обеспечит снижение температурного интервала сверхпластичности. К перспективным добавкам относят кроме основных еще железо и бор, вводимые для снижения температуры проявления сверхпластичности основного исследуемого сплава.

Основными легирующими элементами в титановых сплавах в настоящее время являются алюминий, олово, марганец, хром, молибден, ванадий и некоторые другие. Все они образуют с титаном твердые растворы замещения, вызывая упрочнение сплава. Кроме того, способствуют получению метастабильных структур при термической обработке, и такие структуры сохраняются в условиях длительной выдержки при высоких температурах.[3]

Алюминий, являющийся α -стабилизатором, входит в состав почти всех основных титановых сплавов. Алюминий обеспечивает высокую длительную прочность титановых сплавов. Сплавы титана с алюминием упрочняющей термической обработке не поддаются.

Молибден и ванадий неограниченно растворимы в титане и являются стабилизаторами твердого раствора. Они улучшают комплекс механических свойств титановых сплавов, особенно жаропрочных, повышая их термическую стабильность. Титановые сплавы, содержащие хром, марганец и железо, подвержены эвтектоидному охрупчиванию, состоящему в выделении интерметаллидов при повышенной температуре эксплуатации, особенно под действием напряжений. Молибден и ванадий подавляют развитие подобных процессов и обеспечивают стабильность свойств во времени.

Хром является элементом, образующим с титаном сплавы, содержащие эвтектоид. Хром образует с титаном непрерывный ряд твердых растворов. Фаза, которая содержит 15%

хрома, при 670°C распадается и образует эвтектоид—смесь твердого раствора и интерметаллида $TiCr_2$. Растворимость хрома в титане очень низка и составляет при температуре эвтектоида 0,5%. [6]

Своеобразным сплавом является соединение титана с железом, так называемый ферротитан, представляющий собой твердый раствор $TiFe_2$ в α -железе. Ферротитан облагораживающе действует на сталь, так как он, активно поглощая кислород, является одним из лучших раскислителей стали. Ферротитан так же активно поглощает из расплавленной стали азот, образуя нитрид титана, другие примеси, способствует равномерному распределению прочих примесей и образованию мелкозернистых структур стали. [8]

Известно, что малые добавки бора к обычным титановым сплавам изменяют их микроструктуру и свойства. Бор полностью растворяется в жидком титане, однако практически нерастворим в твердом ($\leq 0,05$ мас. % при 750 °C). При легировании титана бором (>14 мас. %) выделяется тугоплавкая TiB -фаза, упрочняющая металлическую матрицу. Бор применяется в качестве самостоятельной легирующей добавки (0,1-1,5 %) для повышения упругих свойств многокомпонентных титановых сплавов системы $Ti-Al-Sn-V-Cr-Mo$. В применяют в качестве рафинирующей добавки для повышения электропроводности алюминия. Бор в количестве до 0,1% используют как рафинирующую добавку при кристаллизации, но его действие эффективнее при совместном введении с титаном, которого должно быть в 5 раз больше бора. Таким образом, бор достаточно широко и успешно применяется для улучшения свойств титановых сплавов. [8]

Микроструктура титановых сплавов при СПД изменяется при нагреве до температуры деформации. Двухфазные сплавы в исходном состоянии имеют мелкозернистую микроструктуру с вытянутыми в направлении прокатки зернами α - и β -фаз и признаки рекристаллизации отмечаются уже при нагреве выше 800 °C. При повышении температуры нагрева (850 -1000°C) и при увеличении времени выдержки наблюдают укрупнение зерен α - и β -фаз, одновременно уменьшается их вытянутость. Наиболее интенсивный рост зерен происходит на начальных стадиях выдержки (30-60мин) и сменяется более медленным ростом размера зерен, зерна становятся более равноосным. Одновременно с рекристаллизацией происходят фазовые превращения направленные на увеличение количества β -фазы. Наиболее сильные изменения фазового состава отмечаются на начальных стадиях выдержки, поэтому температура СПД должна поддерживаться постоянной в объеме деформируемого металла в течение всего процесса штамповки.[5]

В процессе СПД титановых сплавов изменение фазового состава зависит также от скорости деформации. Наиболее значительные изменения фазового состава наблюдаются при малых и оптимальных для СПД скоростях деформации. Оптимальной является та скорость деформации, при которой успевает пройти рекристаллизация обработки, но так, чтобы в условиях повышенной температуры не происходил активный рост зерен вследствие собирательной рекристаллизации. Поэтому скоростной интервал СПД находится между скоростями высокотемпературной ползучести и традиционных процессов ОМД. [5]

Таким образом, микроструктура и фазовый состав двухфазных титановых сплавов претерпевает существенные изменения при нагреве в верхней части ($\alpha+\beta$)-области в результате развития рекристаллизации и фазовых превращений. Достижению наибольшей пластичности этих сплавов способствует формирование (в процессе нагрева) двухфазной ультрамелкозернистой (УМЗ) микроструктуры (рисунок 1).

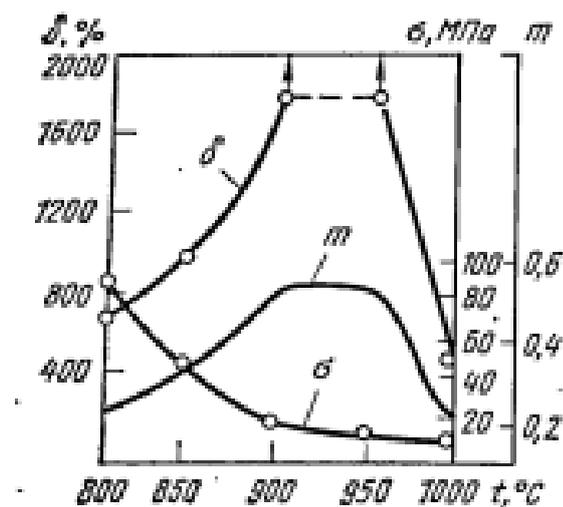


Рисунок 1-Зависимость напряжения течения σ , относительного удлинения δ и коэффициента m от температуры деформации сплава ВТ6 [7]

При оптимальной температуре СП сплава ВТ6 (900°C) и $\epsilon=3.1 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$ относительное удлинение $=1000\%$, а $m=0,54$. Максимальные значения удлинения получают при температурах, отвечающих $\alpha+\beta$ области.

Выводы:

1. Оптимальным составом сплавов титана для обеспечения сверхпластичности являются составы, легированные Fe и В в количестве 15%.
2. Оптимальная микроструктура должна содержать 50% β -фазы.
3. Температура СПД 900°C и скорость, при которой успевает пройти рекристаллизация, обеспечивают получение УМЗ микроструктуры.

Список использованных источников

1. Титановые сплавы: нюансы термической обработки. — URL: <https://1nerudnyi.ru/titanovye-splavy-01/>
2. Титан — металл. Свойства титана. Применение титана. Марки и химический состав титана. — URL: <https://ometalledo.ru/gde-ispolzuetsya-titan.html>
3. Титановые сплавы. / Глухова А. — URL: <https://stankiexpert.ru/spravochnik/materialovedenie/titanovye-splavy.html>
4. Сверхпластичность сплавов и его применение в промышленности. / Казачёк А.А. — «Белорусский национальный технический университет, Минск. — URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/39781/Sverhplastichnost_splavov_i_ego_primenenie_v_promyshlennosti.pdf?sequence=1&isAllowed=y
5. Моделирование технологических процессов сверхпластической формовки оболочек из двухфазных титановых сплавов. / Зунг Н. — Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, 2014 г. — URL: https://misis.ru/files/2666/Disser_Zung.pdf
6. Влияние на титан важнейших примесей и легирующих добавок. — URL: <http://pereosnastka.ru/articles/vliyanie-na-titan-vazhneishikh-primesei-i-legiruyushchikh-dobavok>
7. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов — М.: Металлургия, 1984г.—264с.
8. Сплавы титана. / Зубков Л.Б. — URL: <http://metallurgu.ru/books/item/f00/s00/z0000004/st010.shtml>