

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В.И. Крайнов, В.С. Кропачев

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Все большее применение в машиностроении находят легкие титановые сплавы, обладающие специальными служебными свойствами. Процесс обработки титановых сплавов давлением характеризуется сложной историей нагружения во времени. Конечные свойства готовой продукции определяются приобретенной в процессе деформации структурой, которая влияет на пластичность и сопротивление деформации в процессе нагружения. Для определения сопротивления деформации и пластичности титановых сплавов используется автоматизированный многокулачковый пластометр ЧПИ – ЮУрГУ, разработанный под руководством профессора, доктора технических наук В.Н. Выдрин. Пластометр позволяет проводить исследование черных, цветных металлов и их сплавов в достаточно широких пределах изменения термомеханических параметров процессов обработки металлов давлением: степени деформации от 5 до 85 %, скорости деформации от 0,1 до 100 с⁻¹, температуры деформации образцов от 20 до 1350 °С; количество рабочих кулачков – 3; число обжатий одним кулачком от 1 до 10, паузы при дробном нагружении от 1 с и более.

Исследована технологическая деформируемость титановых сплавов в интервале температур 800...1000 °С, средней скорости деформации 1...30 с⁻¹, конечной степени деформации 0,15...0,4. Установлены показатели пластичности сплавов, на основании планирования эксперимента и статистической обработки результатов исследования получены эмпирические зависимости для расчета сопротивления деформации сплавов ВТ3-1, ВТ5-1, ВТ-22, 3М. В результате проведенных исследований установлено неоднозначное влияние температуры испытаний на пластичность титановых сплавов. Наибольшим сопротивлением деформации обладает сплав ВТ5-1, а наименьшим сплав 3М, при температуре 1000 °С сопротивление деформации всех исследованных сплавов сближается при одинаковых деформационных и скоростных параметрах.

Ключевые слова: титановые сплавы; температура деформации; степень деформации; скорость деформации; пластичность; сопротивление деформации.

В настоящее время все более широкое применение получают сплавы, в том числе и цветные, со специальными служебными свойствами. В большинстве случаев данные сплавы подвергаются горячей обработке давлением, вид и режимы которой могут также существенно влиять на физико-механические свойства готовой продукции. Успешное использование титановых сплавов в современной технике, интенсификация процессов обработки давлением в большой степени зависит от наличия показателей их технологической деформируемости (пластичности, сопротивления деформации) во всем диапазоне термомеханических параметров реальных процессов обработки давлением.

Большинство процессов обработки металлов и сплавов давлением характеризуется сложными законами развития деформации во времени и сложной «историей нагружения». Формируемая при этом структура влияет на пластичность, сопротивление деформации и в итоге на конечные механические свойства готовой продукции.

Применение кулачковых пластометров позволяет моделировать законы развития деформации во времени, соответствующие реальным процессам ОМД.

Основной тенденцией современного машиностроения является всемерное облегчение веса деталей, использование материалов с высокой

удельной прочностью. Все шире находят применение более легкие, чем сталь, металлические материалы, такие как титан, алюминий, магний. Поэтому представляется важным проведение исследования технологической деформируемости сплавов на основе титана.

Имеется несколько классификаций титановых сплавов, которые базируются на структурах в отожженном состоянии и закаленном состоянии, при этом закаленные сплавы разбиваются на две подгруппы: твердеющие при закалке, когда при закалке получают α' -мартенситную структуру и мягкие после закалки, когда неравноосным состоянием является α'' -фаза. Среди титановых сплавов выделяют стареющие сплавы, то есть упрочняемые за счет фазовых переходов, и термически неупрочняемые сплавы. Сплавы со структурой β -фазы, получаемой в результате закалки сложных сплавов, разделяют на термические стабильные β -сплавы; механически стабильные β -сплавы.

По назначению титановые сплавы подразделяются на конструкционные, жаростойкие, жаропрочные и сплавы с особыми свойствами.

По способам производства в промышленности различают литейные и деформируемые сплавы. По прочности все титановые сплавы можно разделить на три группы: малопрочные сплавы, сплавы средней прочности и высокопрочные тита-

Обработка металлов давлением

новые сплавы. Основным видом классификации является классификация по структуре в отожженном состоянии.

В таблице приведена температура полиморфного превращения исследованных марок титановых сплавов.

Титановые сплавы находят все более широкое применение в промышленности, в разных областях в зависимости от их химсостава.

Исследование технологической деформируемости титановых сплавов было проведено на пластометре ЧПИ – ЮУрГУ на образцах с размерами $d \times h = 8 \times 12$ мм.

Пластичность определялась по появлению первой макротрещины на образующей образца, показателем пластичности служила критическая степень деформации

$$\varepsilon_p = l_n \frac{h_0}{h_p},$$

где h_0 – начальная высота цилиндрического образца; h_p – высота образца в момент начала разрушения.

На рис. 1–4 представлены кривые показателей пластичности сплавов ВТ3-1, ВТ5-1, ВТ-22 и 3М.

Как видно из рисунков показатель пластичности неоднозначно зависит от температуры для разных титановых сплавов. Для сплавов ВТ3-1 (рис. 1) и ВТ22 (рис. 3) характерно монотонное возрастание пластичности с ростом температуры деформации. Пластичность сплава 3М резко растет в температурном интервале 950...1000 °С, при дальнейшем повышении температуры рост пластичности незна-

Температура полиморфного превращения

Марка сплава	ВТ1-0	ВТ3-1	ВТ5-1	ВТ6	ВТ9	ВТ14	ВТ16	ВТ22	ОТ4	3М
Температура полиморфного превращения, °С	885–890	960–980	980–1030	980–1010	900–980	920–960	840–880	840–880	920–960	980–1000

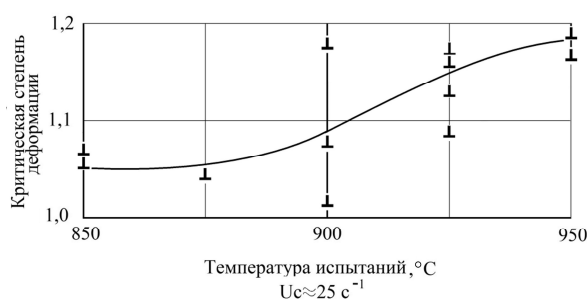


Рис. 1. Кривая показателя пластичности сплава ВТ3-1

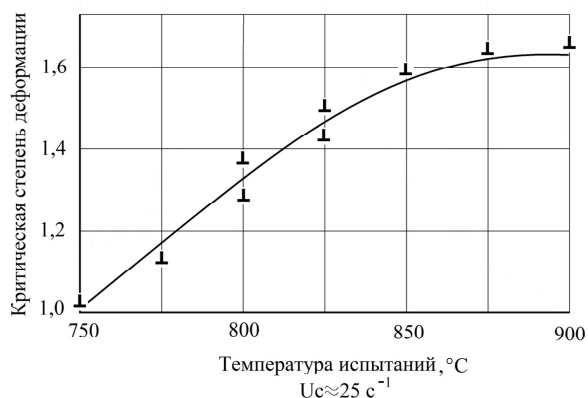


Рис. 3. Кривая показателя пластичности сплава ВТ-22

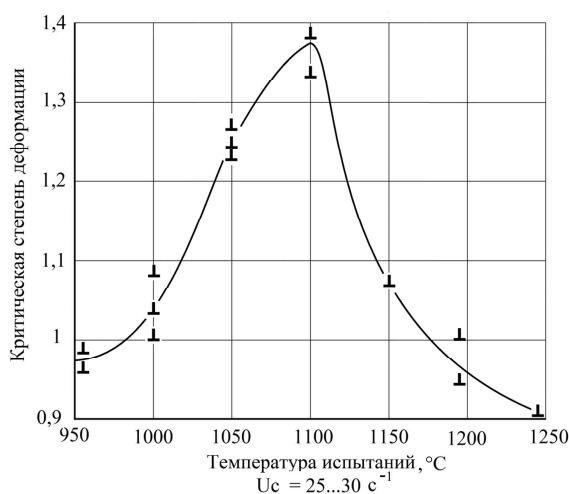


Рис. 2. Кривая показателя пластичности сплава ВТ5-1

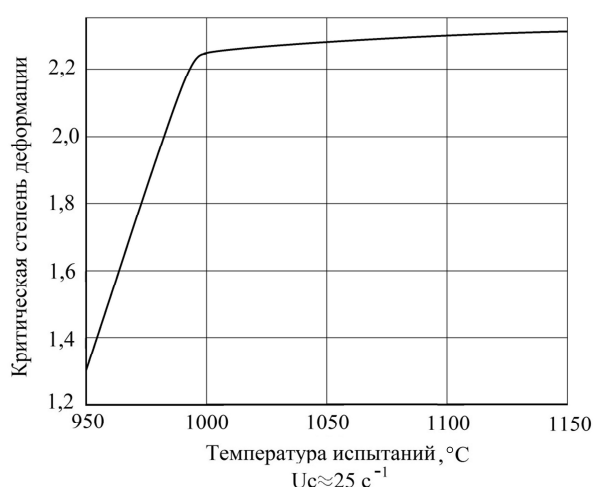


Рис. 4. Кривая показателя пластичности сплава 3М

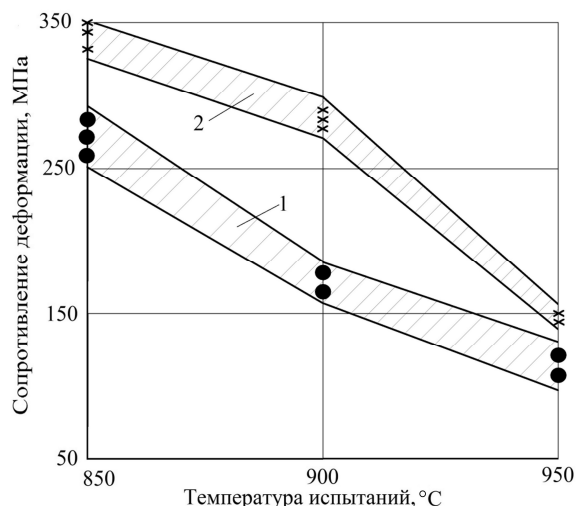


Рис. 5. Зависимость σ_{sc} от температуры и скорости деформации сплава ВТ3-1: 1 – $U_c = 3 \text{ c}^{-1}$, 2 – $U_c = 25 \text{ c}^{-1}$; $\varepsilon_1 = 0,35$

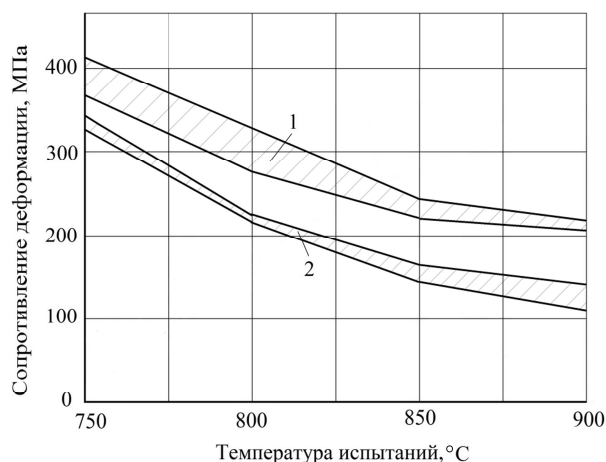


Рис. 7. Зависимость σ_{sc} от температуры и скорости деформации сплава ВТ22: 1 – $U_c = 20 \text{ c}^{-1}$, 2 – $U_c = 2 \text{ c}^{-1}$; $\varepsilon_1 = 0,4$

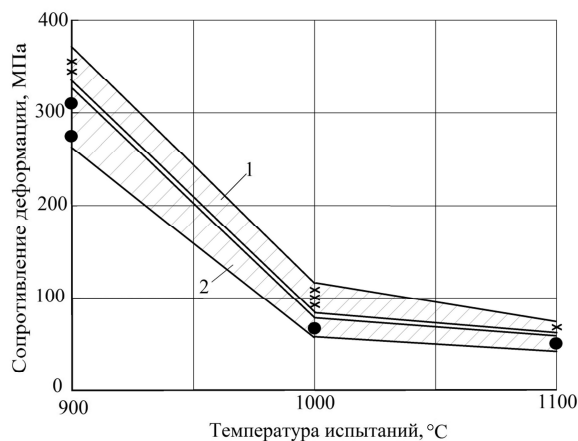


Рис. 6. Зависимость σ_{sc} от температуры и скорости деформации сплава ВТ5-1: 1 – $U_c = 20 \text{ c}^{-1}$, 2 – $U_c = 2 \text{ c}^{-1}$; $\varepsilon_1 = 0,35$

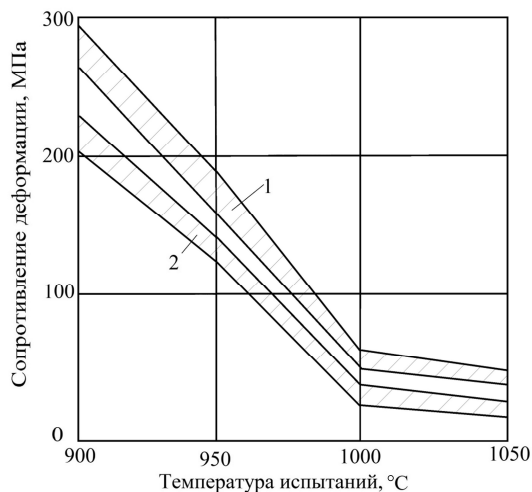


Рис. 8. Зависимость σ_{sc} от температуры и скорости деформации сплава 3М: 1 – $U_c = 20 \text{ c}^{-1}$, 2 – $U_c = 15 \text{ c}^{-1}$; $\varepsilon_1 = 0,35$

чительный (рис. 4). Показатель пластичности сплава ВТ5-1 имеет максимум $\varepsilon_p = 1,39$ при температуре 1100 °С (рис. 2), в интервале температур деформации 950...1100 °С наблюдается резкий рост показателя пластичности, а в интервале 1100–1250 °С такое же резкое снижение пластичности.

Была проведена оценка влияния скорости и температуры деформации на сопротивление деформации сплавов (рис. 5–8).

Увеличение скорости деформации с 3 до 25 c^{-1} при σ_{sc} испытаниях образцов из сплава ВТ3-1 оказывает существенное влияние на во всем диапазоне температур испытания (рис. 5). Так, при $t = 850 \text{ }^\circ\text{C}$ разница достигает 65 МПа, а при $t = 900 \text{ }^\circ\text{C}$ разница еще больше и равняется 115 МПа. С повышением температуры деформации увеличение скорости деформации оказывает

меньшее влияние на рост σ_{sc} . С увеличением температуры деформации σ_{sc} монотонно снижается и резких перегибов кривой не наблюдается.

С увеличением скорости деформации с 2 до 20 c^{-1} при испытании сплава ВТ5-1 сопротивление деформации увеличивается на 50 МПа при $t = 900 \text{ }^\circ\text{C}$, на 40 МПа при $t = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ и на 25 МПа при $t = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 6). Температура испытаний отказывает существенное влияние на сопротивление деформации сплава ВТ5-1, особенно в интервале температур 900...1000 °С, где σ_{sc} падает с 340 МПа при 900 °С до 100 МПа при 1000 °С и скорости деформации 20 c^{-1} . С увеличением температуры испытания ее влияние менее существенно на σ_{sc} , чем при низких температурах, и при $t = 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ $\sigma_{sc} = 65 \text{ МПа}$.

Обработка металлов давлением

Изменение скорости деформации с 2 до 20 с⁻¹ при испытаниях сплава ВТ22 приводит к значительному увеличению σ_{sc} и эта разница возрастает с увеличением температуры деформации во всем исследованном диапазоне (рис. 7). Если при $t = 750$ °С и средней скорости деформации 2 с⁻¹ $\sigma_{sc} = 340$ МПа, а при $U_c = 20$ с⁻¹ $\sigma_{sc} = 390$ МПа, то при $t = 900$ °С и $U_c = 2$ с⁻¹ $\sigma_{sc} = 125$ МПа, а при $U_c = 20$ с⁻¹ $\sigma_{sc} = 210$ МПа. С увеличением температуры деформации σ_{sc} монотонно убывает, но с приближением к температуре 900 °С интенсивность уменьшения падает.

Влияние скорости деформации на σ_{sc} при испытаниях сплава 3М примерно такое же, как и на сплаве ВТ5-1 (рис. 8). При $t = 900$ °С разница между σ_{sc} при $U_c = 1,5$ с⁻¹ и $U_c = 20$ с⁻¹ наибольшая и достигает 60 МПа, а при $t = 1050$ °С всего 20 МПа. Температура деформации оказывает существенное влияние на σ_{sc} в интервале 900...1000 °С, где сопротивление деформации уменьшается с 280 МПа до 55 МПа при $U_c = 20$ с⁻¹. Затем с повышением температуры деформации σ_{sc} уменьшается незначительно.

Крайнов Василий Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры машин и технологической обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kraiovvi@susu.ac.ru

Кропачев Валентин Семенович, старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kropachevvs@susu.ac.ru

Для расчета сопротивления деформации каждого сплава с целью дальнейшего использования этих данных в расчетах энергосиловых параметров и прочностных расчетах получены эмпирические зависимости в интервалах варьирования переменных: средняя скорость деформации 1...30 с⁻¹; конечная степень деформации 0,15...0,4; температура деформации 800...1100 °С вида:

сплав ВТ3-1

$$\sigma_{sc} = 95031 U_c^{0,2128} \varepsilon_1^{0,2195} e^{-0,0071 \cdot t};$$

сплав ВТ5-1

$$\sigma_{sc} = 1336211 U_c^{0,181} \varepsilon_1^{0,192} e^{-0,0094 \cdot t};$$

сплав ВТ22

$$\sigma_{sc} = 9595 U_c^{0,1585} \varepsilon_1^{0,0037} e^{-0,0048 \cdot t};$$

сплав 3М

$$\sigma_{sc} = 28704750 U_c^{0,0966} \varepsilon_1^{0,2148} e^{-0,0135 \cdot t}.$$

Полученные результаты пластометрических испытаний позволяют более достоверно производить технологические расчеты обработки давлением, выбирать рациональные температурно-деформационные и скоростные режимы обработки, как при интенсификации действующих технологий, так и при выборе новых технологических схем и оборудования.

Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.

TECHNOLOGICAL FORMABILITY OF TITANIC ALLOYS

V.I. Kraynov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, kraiovvi@susu.ac.ru,

V.S. Kropachev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, kropachevvs@susu.ac.ru

Light titanic alloys find numerous applications in mechanical engineering. They possess a number of specified properties. A record of loading in time characterizes the pressuring of titanic alloys. The final properties of the product are defined by the deformation structure the product acquires in the process of deformation. This structure influences plasticity and resistance of deformation under loading. To determine the resistance of deformation and plasticity of titanic alloys the automated multicam plastometer of SUSU was used. It was developed under the leadership of professor V. N. Vydrin. The plastometer allows studying ferrous and non-ferrous metals and alloys within a wide range of thermomechanical parameters of metal pressing where the degree of deformation is from 5 to 85 %, deformation speed is from 0.1 to 100 s⁻¹, the temperatures of sample deformation are from 20 to 1350 °С; the number of working cams is 3; the number of drafts by one cam is from 1 to 10, time intervals at fractional loading are from 1 s and more.

The technological formability of titanic alloys was investigated in the range of temperatures from 800 to 1000 °С, with an average speed of deformation from 1 to 30 s⁻¹, and with a critical degree of deformation from

0.15 to 0.4. Indicators of plasticity of alloys were defined experimentally. Empirical dependences to calculate the resistance of alloy deformation were obtained. The research results show a different influence of temperature on plasticity of titanic alloys. Alloy VT5-1 has the highest resistance to deformation and alloy 3M possesses the lowest one. The deformation resistance of all the alloys under study at 1000 °C is approximately the same if the deformation and high-speed parameters are identical.

Keywords: titanic alloys; deformation temperature; degree of deformation; deformation speed; plasticity; deformation resistance.

Received 11 March 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Крайнов, В.И. Технологическая деформируемость титановых сплавов / В.И. Крайнов, В.С. Кропачев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 115–119.

REFERENCE TO ARTICLE

Kraynov V.I., Kropachev V.S. Technological Formability of Titanic Alloys. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 115–119. (in Russ.)
