

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.774

DOI: 10.14529/met170209

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Е.А. Филяева¹, Я.И. Космацкий²

¹ ООО «ТМК НТЦ», г. Челябинск,

² ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности», г. Челябинск

Работа посвящена обзору некоторых технологических особенностей, присущих титану и его сплавам, связанных со специфическими физико-механическими свойствами в процессе пластической деформации. Все эти особенности необходимо учитывать при проектировании технологий изготовления продукции из сплавов на основе титана. В настоящей статье рассмотрены технологические особенности титановых сплавов применительно к трубной промышленности.

Ключевые слова: титановый сплав; труба; деформационная способность; температура полного полиморфного превращения; горячее прессование; пластическая деформация.

Титановые сплавы являются одними из основных конструкционных материалов, применяемых в разных отраслях промышленности. Широкое их использование связано с присущим титану и его сплавам комплексом свойств [1]:

– высокая прочность, низкий удельный вес и, как следствие, высокая удельная прочность;

– высокая температура плавления, являющаяся необходимым условием повышенной жаропрочности;

– низкий коэффициент теплового расширения, следовательно, хорошее сопротивление материала термической усталости;

– коррозионная стойкость во многих агрессивных средах.

Одним из основных потребителей титановой продукции является авиационная промышленность, чем определяется ряд технических требований к конструкционным материалам, используемым при изготовлении ответственных изделий [2]. Малый удельный вес ($4,505 \text{ г/см}^3$) и высокая прочность титана и его сплавов делают их весьма ценными материалами. Так, например, с повышением температуры вплоть до $430 \text{ }^\circ\text{C}$ титан обладает явным преимуществом в отношении прочно-

сти, в отличие от алюминия, который быстро утрачивает свою прочность [2].

Особое место в технике и технологии трубного производства занимает изготовление холоднодеформированных труб из титана и его сплавов. Это обусловлено, с одной стороны, обширным сортаментом холоднодеформированных труб с повышенными требованиями к точности геометрических размеров и качественных характеристик поверхности, а с другой стороны, многооперационностью и сложностью реализации технологического процесса их производства.

При разработке технологии производства холоднодеформированных труб существенное внимание уделяется обеспечению рационального соотношения горячего и холодного переделов, иными словами, задаче обоснованного выбора размеров горячедеформированных трубных заготовок для холодной прокатки на станах ХПТ. Решение этой задачи оказывает решающее влияние на показатели качества холоднодеформированных труб (точность геометрических параметров, механические свойства, шероховатость поверхности и др.), а также на величину основных технико-экономических показателей их производства (производительность, трудоемкость и себестоимость).

Для производства холоднодеформированных труб из титана и его сплавов используют, преимущественно, горячепрессованные трубы.

При изготовлении передельных горячепрессованных труб важным является соответствие энергосиловых параметров процесса прессования технологическим возможностям действующего оборудования и соблюдение температурного диапазона нагрева заготовки с учетом ее последующего деформационного разогрева.

Так, например, с целью оценки однородности свойств металла по сечению заготовки и определения величины сопротивления горячей деформации с учетом температурного диапазона полного полиморфного превращения ($T_{ППП}$) и прироста температуры в процессе пластической деформации проводилось исследование [3] деформационной способности титанового сплава на многофункциональном исследовательском комплексе «Gleeble 3800» [4].

Температура полного полиморфного превращения является одной из основных технологических особенностей, в связи с тем, что она необходима для установления рациональных режимов деформации и термической обработки [5].

В процессе нагрева заготовок перед горячим прессованием на их поверхности может возникать газонасыщенный слой, что в процессе горячей деформации может способствовать образованию различных дефектов поверхности (плены, рванины, риски). Газонасыщенный слой и дефекты на наружной поверхности горячедеформированных труб могут залегать на глубину до 0,3 мм, а на внутренней поверхности до 1,0 мм [6]. В связи с чем технологией предусматривается нанесение специального шликерного покрытия, например, на основе порошка эмали ЭВТ-24 и жидкого стекла [7]. В зависимости от назначения и требований, предъявляемых к готовым трубам, а также характера и глубины проникновения указанных дефектов, горячедеформированные трубы подвергают механической обработке, затем горячепрессованные трубы подвергают холодному переделу.

Реализация процесса холодной прокатки труб из титана и его сплавов так же связана с рядом неблагоприятных особенностей, к числу которых можно отнести [8]:

– интенсивное деформационное упрочнение обрабатываемого металла, сопровождающееся уменьшением его пластичности;

– высокая чувствительность обрабатываемого металла к редуцированию (т. е. к такой деформации, при которой уменьшение их диаметра происходит без обжатия стенки);

– интенсивная адгезия обрабатываемого металла к деформирующему инструменту.

Эти особенности холодной прокатки труб из титана и его сплавов на станах ХПТ связаны в основном с их специфическими физико-механическими свойствами [8], среди которых: относительно низкая пластичность титана и его сплавов в отожженном состоянии, низкая пластичность в нагартованном состоянии, низкая теплопроводность.

Пластичность металла является важнейшим фактором, определяющим выбор термомеханических режимов деформации (температура, степень и скорость деформации).

Поскольку пластичность зависит от схемы напряженного состояния, а внутри одной схемы – от показателя интенсивности нагрузок, то в теорию процессов обработки металлов давлением вводится понятие «технологическая пластичность». Она оценивается величиной максимальной деформации, достижимой в конкретном процессе обработки при определенных температурах и скоростях деформации.

В литературе, относящейся к титановым сплавам, часто приводятся «диаграммы технологической пластичности» [8] (рис. 1), которые в действительности представляют температурную зависимость условных показателей прочности и пластичности (временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение и сужение), полученных при испытаниях на растяжение или сжатие, а в ряде случаев еще и температурную зависимость ударной вязкости и величины деформации до появления первой трещины при испытаниях на осадку.

Особую ценность в диаграммах технологической пластичности представляют данные по пластическим характеристикам, по относительному удлинению и сужению. Объясняется это тем, что разрушение при пластической деформации происходит под действием растягивающих напряжений. В процессах, осуществляемых при всестороннем сжатии, источником растягивающих напряжений является развитая неравномерность деформации,

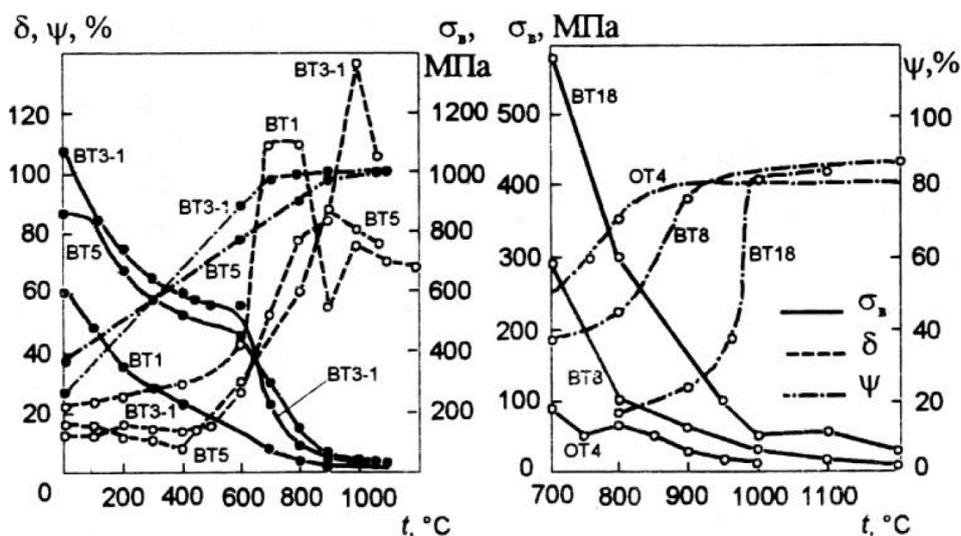


Рис. 1. Зависимость относительного удлинения (δ) и сужения (ψ) после разрыва и временного сопротивления (σ_b) титановых сплавов от температуры (t) [8]

при которой дополнительные растягивающие напряжения превышают по модулю основные сжимающие напряжения. Поэтому показатели, полученные в условиях линейного растяжения, характеризуют способность материала деформироваться без разрушения.

При определении деформационной способности материалов в процессе холодной пластической деформации необходимо учитывать, что данный процесс обработки металлов давлением сопровождается значительными изменениями структуры деформируемого материала и соответственно изменениями его механических свойств. Явление упрочнения деформируемого материала, характерное для холодной деформации, обусловлено отсутствием процессов рекристаллизации и возврата, и как следствие – деформированием зерен и образованием текстуры, в результате чего может появляться анизотропия механических свойств. При этом основным фактором, влияющим на увеличение временного сопротивления, предела текучести, твердости и уменьшение относительного удлинения и сужения, является степень деформации.

Так, например, с целью оценки влияния степени деформации на изменение механиче-

ских свойств проводилось экспериментальное исследование. В качестве исходного материала использовались образцы, отобранные от горячепрессованной трубы из сплава Ti-3Al-2.5V [9], из стенки которой в продольном направлении вырезались цилиндрические прутки диаметром 10,5 мм и длиной 250 мм в количестве 6 шт.

Требования, предъявляемые к механическим свойствам холоднодеформированных труб из титанового сплава Ti-3Al-2.5V [9], в состоянии после термической обработки должны соответствовать значениям, представленным в таблице.

Исследование влияния степени холодной деформации сплава Ti-3Al-2.5V [9] на изменение его механических свойств реализовывалось за счет прокатки в двухвалковой клети по схеме калибровки «овал – овал» с диаметром валков 110 мм. Следует отметить, что напряженно-деформированное состояние, характерное для данного процесса обработки давлением в большей степени схоже со схемой напряженного состояния реального процесса прокатки на стане ХПТ и позволяет получить сравнительно качественный результат [10].

Механические свойства холоднодеформированных труб из титанового сплава марки Ti-3Al-2.5V [9] согласно требованиям

Временное сопротивление (σ_b), МПа	Предел текучести (σ_t), МПа	Относительное удлинение (δ), %
	не менее	
621,0	517,0	15,0

Как показано в работе [10], холодная деформация велась в режиме последовательного увеличения величины обжатия. Коэффициент вытяжки определялся измерением площадей поперечного сечения заготовки и полученного деформированного прутка [11].

После каждого этапа холодной деформации от деформированного прутка отбирались полноразмерные пропорциональные образцы в количестве трех штук для проведения испы-

тания на статическое растяжение при комнатной температуре в соответствии с требованиями ГОСТ 1497–84 [12].

Результатами экспериментальных исследований влияния степени холодной деформации на механические свойства являются эмпирические зависимости, изображенные на рис. 2, которые представляют собой аппроксимированные численные данные.

При этом механические свойства сплава

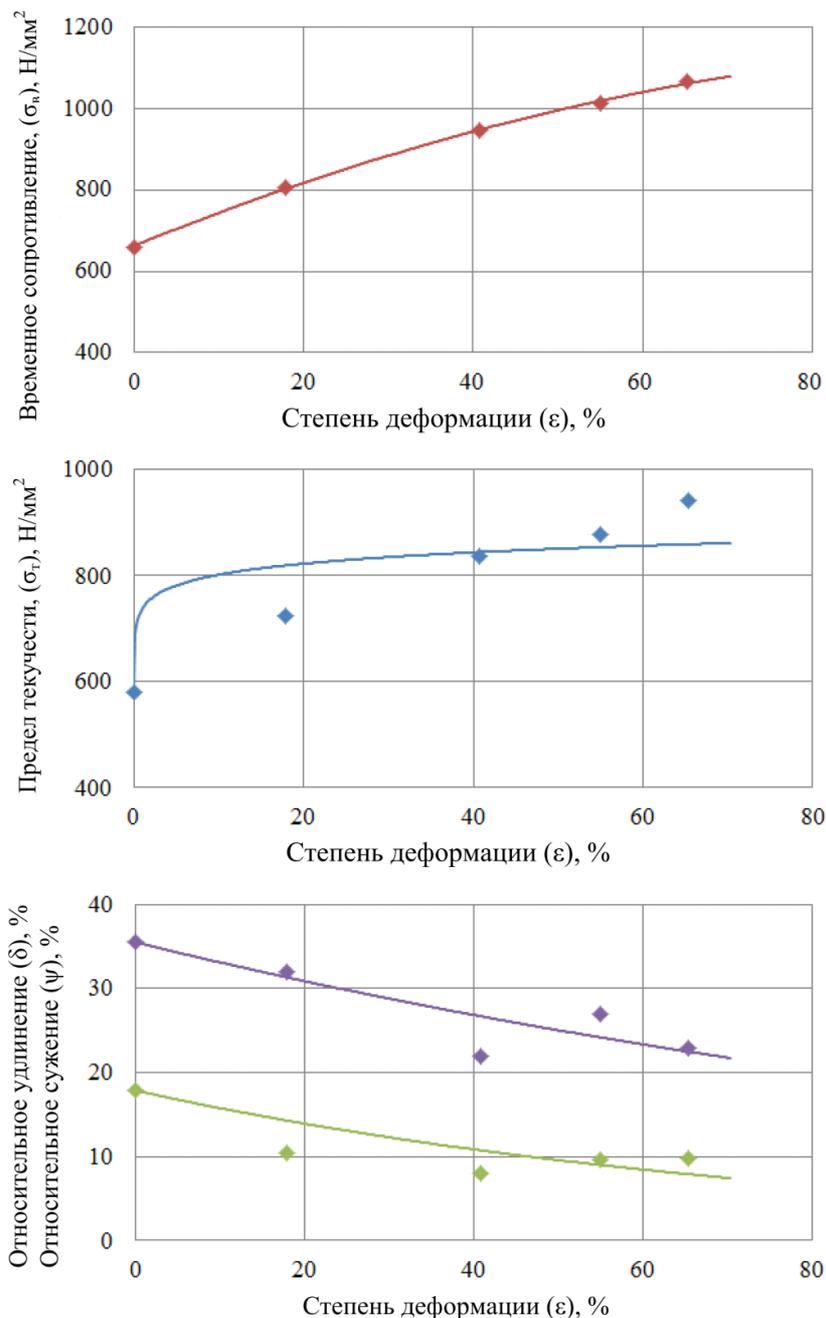


Рис. 2. Аппроксимированные эмпирические зависимости изменения механических свойств сплава Ti-3Al-2.5V [9] от степени холодной деформации:
 —♦— — временное сопротивление (σ_н), —♦— — предел текучести (σ_т);
 —♦— — относительное удлинение (δ); —♦— — относительное сужение (ψ)

Ti-3Al-2.5V [9] в недеформированном состоянии приняты согласно результатам испытаний на статическое растяжение образцов, изготовленных из горячепрессованных труб, от которых отбирались образцы.

Таким образом, в связи с указанными технологическими особенностями титановые сплавы, используемые для изготовления труб, могут быть отнесены к группе труднодеформируемых материалов.

Литература

1. Пульцин, Н.М. Титановые сплавы и их применение в машиностроении / Н.М. Пульцин. – М.: Машгиз, 1962. – 168 с.
2. Зубков, Л.Б. Космический металл / Л.Б. Зубков. – М.: Наука, 1987. – 128 с.
3. Космацкий, Я.И. Исследование деформационной способности титанового сплава Ti-3Al-2.5V и оценка технологической возможности изготовления из него горячепрессованных труб / Я.И. Космацкий, Н.В. Фокин, Е.А. Филяева // Титан. – 2016. – № 2 (52). – С. 18–22.
4. Космацкий, Я.И. Информационное обеспечение и управление технологическими процессами трубопрессового производства: учеб. пособие для самостоят. работы / Я.И. Космацкий, М.И. Гасленко, М.А. Тихонова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – 45 с.
5. Филяева Е.А. Сравнительная оценка методов определения температуры полного

полиморфного превращения на примере сплава Ti-3Al-2.5V / Е.А. Филяева, Я.И. Космацкий // Наука ЮУрГУ: материалы 68-й науч. конф. Секции технических наук. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2016. – С. 709–712.

6. Колачев, Б.А. Металловедение титана и его сплавов / Б.А. Колачев, С.Г. Глазунова. – М.: Металлургия, 1992. – 352 с.

7. Освоение производства горячедеформированных труб из титанового сплава / Я.И. Космацкий, Б.В. Баричко, В.Б. Восходов и др. // Бюллетень «Черная металлургия». – 2014. – № 10. – С. 67–70.

8. Илларионов, А.Г. Технологические свойства титановых сплавов / А.Г. Илларионов. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ – 2003. – 57 с.

9. Boyer, R. Titanium Alloys / R. Boyer, G. Welsch, E.W. Collings. – ASM International. The Material Information Society, 1994. – p. 5.

10. Исследование влияния степени холодной деформации и термической обработки на формирование и изменение механических свойств титанового сплава Ti-3Al-2.5V / Я.И. Космацкий, Б.В. Баричко, Е.А. Филяева, К.Ю. Яковлева // Титан. – 2016. – № 4.

11. Смирнов, В.С. Теория обработки металлов давлением / В.С. Смирнов. – М.: Металлургия, 1973. – 497 с.

12. ГОСТ 1497–84. Металлы. Методы испытаний на растяжение. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1984. – 24 с.

Филяева Елена Анатольевна, инженер научно-технического центра, ООО «ТМК НТЦ», г. Челябинск; filyaeva@rosniti.ru.

Космацкий Ярослав Игоревич, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела технологии производства труб, Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности, г. Челябинск; kosmatski@rosniti.ru.

Поступила в редакцию 3 марта 2017 г.

TECHNOLOGICAL FEATURES OF PRODUCTION OF PIPES FROM TITANIC ALLOYS

E.A. Filyaeva¹, *filyaeva@rosniti.ru*,
Ya.I. Kosmatski², *kosmatski@rosniti.ru*

¹ LLC "Scientific Research Centre of the Tube Metallurgical Company (TMK NTC)",
Chelyabinsk, Russian Federation,

² Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI),
Chelyabinsk, Russian Federation

The work is devoted to the overview of some technological features inherent in titanium and titanium alloys connected with specific physico-mechanical properties in the course of plastic deformation. All these features need to be considered when designing manufacturing techniques of products from titanium base alloys. More specifically, technological features of titanic alloys are considered in relation to the pipe industry.

Keywords: titanium alloy; pipe; deformation ability; temperature of complete polymorphous transformation; hot pressing; plastic deformation.

References

1. Pul'tsin N.M. *Titanovye splavy i ikh primeneniye v mashinostroenii* [Titanium Alloys and Their Application in Industry]. Moscow, Mashgiz Publ., 1962. 168 p.
2. Zubkov L.B. *Kosmicheskii metall* [Space Metal]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 128 p.
3. Kosmatskii Ya.I., Fokin N.V., Filyaeva E.A. [Investigation of Deformation Ability of Ti–3Al–2.5V Titanium Alloy and Estimation of Possibility of Hot Pressed Pipes]. *Titan*, 2016, no. 2, pp. 18–22. (in Russ.)
4. Kosmatskii Ya.I., Gaslenko M.I., Tikhonova M.A. *Informatsionnoye obespecheniye i upravleniye tekhnologicheskimi protsessami trubopressovogo proizvodstva* [Dataware and Management of Technological Processes of Pipe Pressing Industry]. Chelyabinsk, SUSU Publ., 2013. 45 p.
5. Filyaeva E.A., Kosmatskii Ya.I. [Comparative Estimation of Methods of Determining the Complete Polymorphous Temperature with the Ti–3Al–2.5V Alloy As an Example]. *Sbornik materialov 68-y nauchnoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava YuUrGU* [Collection of Materials of the 68th Scientific Conference of the Teaching Staff of the SUSU]. Chelyabinsk, SUSU Publ., 2016, pp. 709–713. (in Russ.)
6. Kolachev B.A., Glazunova S.G. *Metallovedeniye titana i ego splavov* [Metallography of Titanium and Titanium Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1992. 352 p.
7. Kosmatskii Ya.I., Barichko B.V., Voskhodov V.B. et al. [Uptake of Production of Hot-Deformed Pipes from a Titanium Alloy]. *Bulletin "Chernaya metallurgiya"*, 2014, no.10, pp. 67–70. (in Russ.)
8. Illarionov A.G. *Tekhnologicheskie svoystva titanovykh splavov* [Technological Properties of Titanium Alloys]. Ekaterinburg, UGTU–UPI Publ., 2003. 57 p.
9. Boyer R., Welsch G., Collings E.W. *Titanium Alloys*. ASM International. The Material Information Society, 1994, p. 5.
10. Kosmatskii Ya.I., Barichko B.V., Filyaeva E.A., Yakovleva K.Yu. [Investigation of the Effect of Degree of Cold Deformation and Heat Treatment on Formation and Change of Mechanical Properties of Ti–3Al–2.5V Titanium Alloy]. *Titan*, 2016, no. 4.
11. Smirnov V.S. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of Metal Forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973. 497 p.

12. *GOST 1497-84. Metally. Metody ispytaniy na rastyazhenie* [Metals. Methods of Tensile Testing]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1984. 24 p.

Received 3 March 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Филяева, Е.А. Технологические особенности изготовления труб из титановых сплавов / Е.А. Филяева, Я.И. Космацкий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 2. – С. 70–76. DOI: 10.14529/met170209

FOR CITATION

Filyaeva E.A., Kosmatski Ya.I. Technological Features of Production of Pipes from Titanic Alloys. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 2, pp. 70–76. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170209