

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА МАРКИ ПТ-1М

Я.И. Космацкий^{1, 2}, Н.В. Фокин^{1, 2}, Е.А. Филяева^{2, 3}, Б.В. Баричко¹

¹ ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

² Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

³ ООО «ТМК НТЦ», г. Челябинск, Россия

Работа посвящена исследованию деформационной способности титанового сплава марки ПТ-1М. Полученные результаты исследования использованы при разработке технологии производства горячепрессованных труб.

Ключевые слова: титановый сплав ПТ-1М, деформационная способность, сопротивление деформации, прессование труб.

С целью разработки рекомендаций по особенностям технологии прессования труб из титанового сплава марки ПТ-1М и технологических режимов проводились испытания на горячую осадку образцов указанного сплава. Это позволило определить сопротивление горячей пластической деформации титанового сплава, в том числе, в зависимости от места отбора образцов и направления вырезки, и сформулировать перечень рекомендаций к технологическим особенностям прессования труб из указанного сплава.

Исследования деформационной способности титанового сплава марки ПТ-1М проводились с целью оценки однородности свойств металла по сечению заготовки и определения величины сопротивления горячей деформации с учетом температурного диапазона полного полиморфного превращения ($T_{\text{пп}}$) и прироста температуры в процессе пластической деформации [1]. Для этого использовался многофункциональный исследовательский комплекс «Gleeble 3800» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ» (НИУ) [2] с применением про-

граммы Origin.pro 8.5.1 для обработки экспериментальных данных.

Схема вырезки образцов и его фотографическое изображение представлены на рис. 1.

Нагрев проводился прямым пропусканием тока через образец до температуры испытания от 825 до 900 °С с шагом 25 °С, далее производилась выдержка в течение 5 мин (для уменьшения перепада температур по длине образца), после чего осуществлялась деформация со скоростями 1 и 12 с⁻¹ до степени деформации 1,2. Температура металла контролировалась с помощью хромель-алюмелевой термопары, приваренной к центральной части образца. С целью уменьшения сил трения между бойком и образцом, а также для уменьшения перепада температуры по длине образца, использовалась графитовая фольга.

Режимы проведения испытаний на осадку образцов для оценки однородности свойств металла по сечению заготовки представлены в табл. 1. Порядковые номера образцов в таблице указаны в соответствии со схемой отбора образцов, представленной на рис. 1.

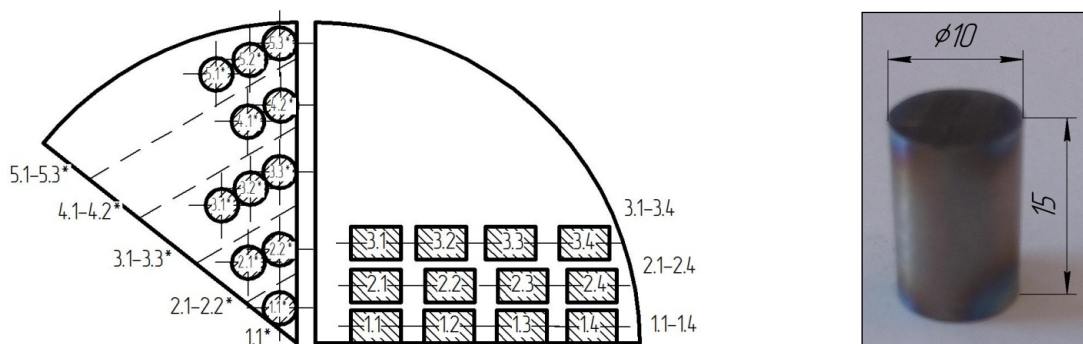


Рис. 1. Схема отбора образцов из темплетов заготовок из титанового сплава марки ПТ-1М и фотография образца с размерами

Обработка металлов давлением...

Режимы проведения испытаний на осадку образцов для определения сопротивления деформации исследуемого титанового сплава представлены в табл. 2.







На рис. 2 представлены кривые течения сплава марки ПТ-1М с учетом указанных в табл. 1 режимов деформации.

Исходя из представленных на рис. 1 кривых течения металла образцов из сплава ПТ-1М, деформированных при скорости 12 с^{-1} , при температуре $825 \text{ }^\circ\text{C}$, можно отметить следующее:

1. Схожий характер изменения сопротивления деформации (на диаграммах – истинное напряжение) для продольных образцов, отобранных из центра, середины и периферийной части заготовки (по сечению). При степени деформации равной 1,2 наблюдается небольшое отличие значений сопротивления деформации (10–12 МПа), причем величина сопротивления деформации возрастает от центра заготовки к ее периферии.

2. На образцах, отобранных в поперечном направлении (т. е. ось образцов перпендику-

Таблица 1
Режимы проведения испытаний для оценки однородности свойств металла по сечению заготовки

№ образца	Направление образца*	Температура, $^\circ\text{C}$	Степень деформации	Скорость деформации, с^{-1}
1.1		825	до 1,2	12,0
1.1*				
3.1				
3.1*				
3.3 (5.1)				
5.1*				



















* Примечание:  – образец, отобранный в продольном направлении;  – образец, отобранный в поперечном направлении.

Таблица 2
Режимы проведения испытаний для определения сопротивления деформации

№ образца	Направление образца*	Температура, $^\circ\text{C}$	Степень деформации (ϵ)	Скорость деформации (U), с^{-1}
2.1*		825	до 1,2	12,0
1.2				
3.2*		850		
1.3				
4.1*		875		
2.3				
5.2*		900		
1.4				
2.2*		825		
2.1				
3.3*		850		
2.2				
4.2*		875		
3.2				
5.3*		900		
2.4				

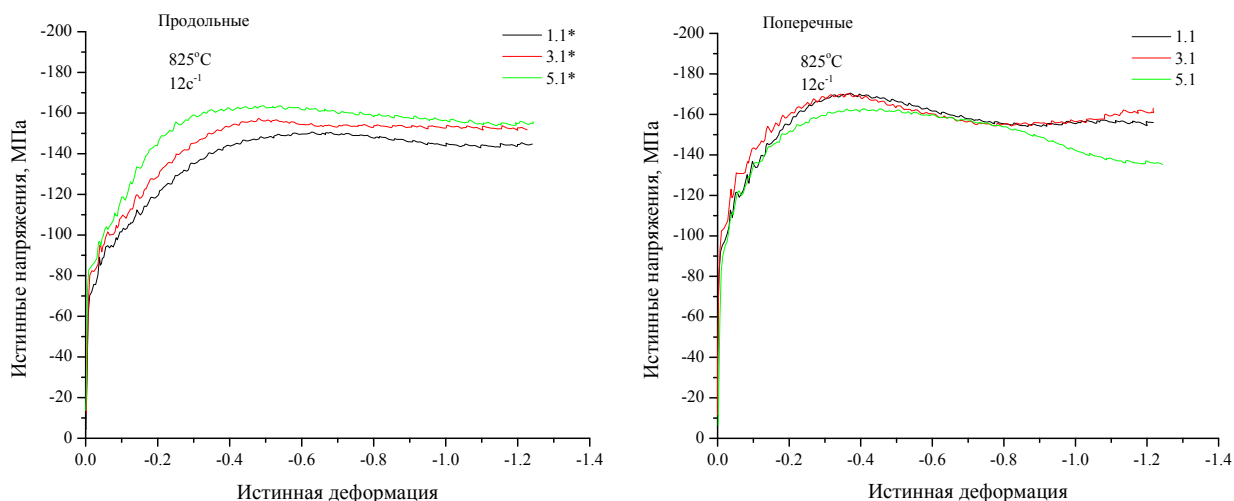


Рис. 2. Кривые течения металла заготовки диаметром 188 мм из сплава марки ПТ-1М ($\epsilon = 1,2$; $U = 1, 10 \text{ с}^{-1}$)

лярна к оси трубной заготовки), до степени деформации $\sim 0,75$ так же наблюдается схожий характер изменения сопротивления деформации. При дальнейшем увеличении степени деформации наблюдается значительное расхождение значений сопротивления деформации, в частности, для образцов, отобранных из периферийной части заготовки. Это косвенно указывает на потерю устойчивости процесса осадки, в частности, на неравномерность распределения напряжений по сечению образца, что, в свою очередь, свидетельствует об анизотропии свойств материала по сечению заготовки [2–4].

Кроме того, расхождение свойств наблюдается при одинаковых параметрах деформации на образцах, отобранных от центральной

части заготовки, о чем свидетельствует диаграмма, представленная на рис. 3.

Для установления природы рассматриваемых процессов проводились микроструктурные исследования материала заготовки из титанового сплава ПТ-1М. На рис. 4 представлены фотографические изображения микроструктуры образцов, отобранных от заготовки.

Анализ микроструктуры показал, что в структуре фиксируется преимущественно крупное исходное зерно. Внутри зерна фиксируются крупные α -пластины, собранные в колонии. В отдельных областях между крупными зернами наблюдается образование более мелких рекристаллизованных зерен равноосной формы.

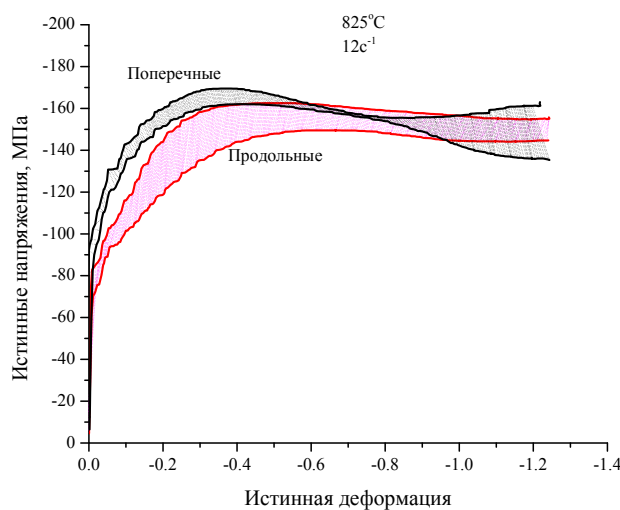
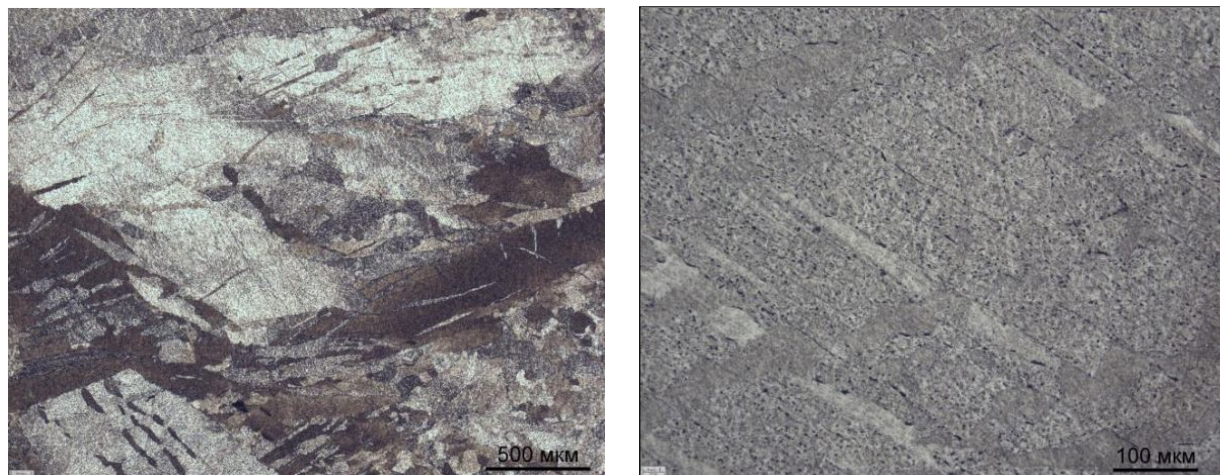


Рис. 3. Кривые течения металла образцов, отобранных из центральной части заготовки



а) б)
Рис. 4. Микроструктура сплава ПТ-1М: а) $\times 200$; б) $\times 100$

Для определения диапазона значений сопротивления деформации использовались представленные на рис. 5 кривые течения металла в интервале значений степени деформации

до 1,2 для образцов, отобранных в продольном и поперечном направлениях, при скоростях деформации 1 и 12 с^{-1} .

Сопротивление деформации для после-

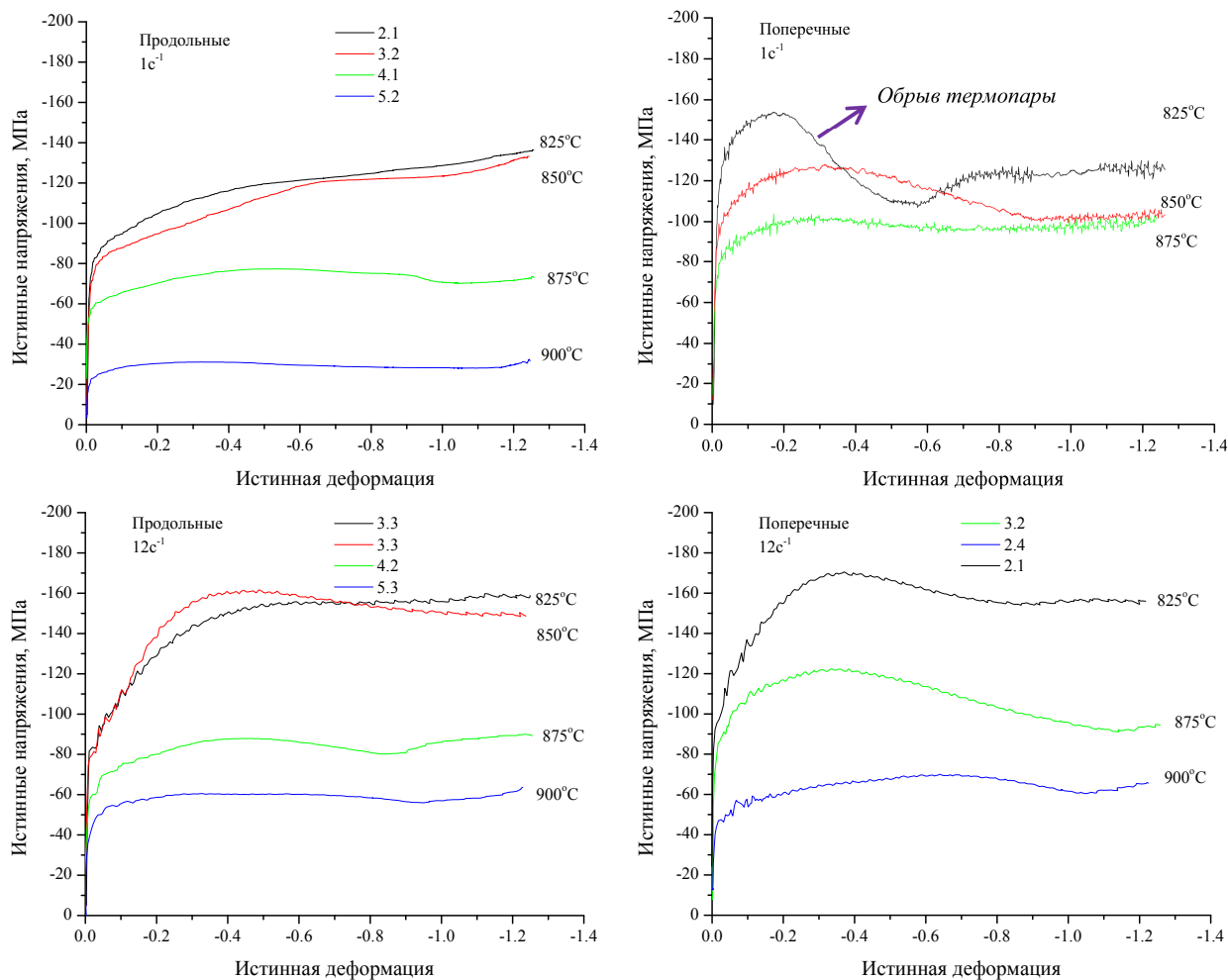


Рис. 5. Кривые течения металла в интервале значений степени деформаций от 0 до 1,2 при скоростях деформации 1 и 10 с^{-1} образцов, отобранных в продольном и поперечном направлениях

дующего расчета технологических параметров процесса прессования труб необходимо принять исходя из прогнозируемых температур деформации. Ранее показано [5–7], что в процессе деформации металла происходит деформационный разогрев. Непрерывный контроль температуры образцов во всей серии испытаний позволяет оценить величину изменения температуры в зависимости от условий деформации. Так, на рис. 6 показано качественное изменение температуры в зависимости от величины деформации.

На рис. 7 показано изменение величины деформационного разогрева в зависимости от

скорости и температуры испытаний, что важно для последующей разработки режимов горячего прессования.

Кроме того, исходя из диаграмм, приведенных на рис. 5, можно сформулировать следующие особенности деформации титанового сплава марки ПТ-1М:

1. При скорости деформации 1 с^{-1} наблюдается различный характер изменения сопротивления деформации для продольных и поперечных образцов, причем различие в значениях достигает 35 МПа, что свидетельствует об анизотропии пластических свойств сплава.

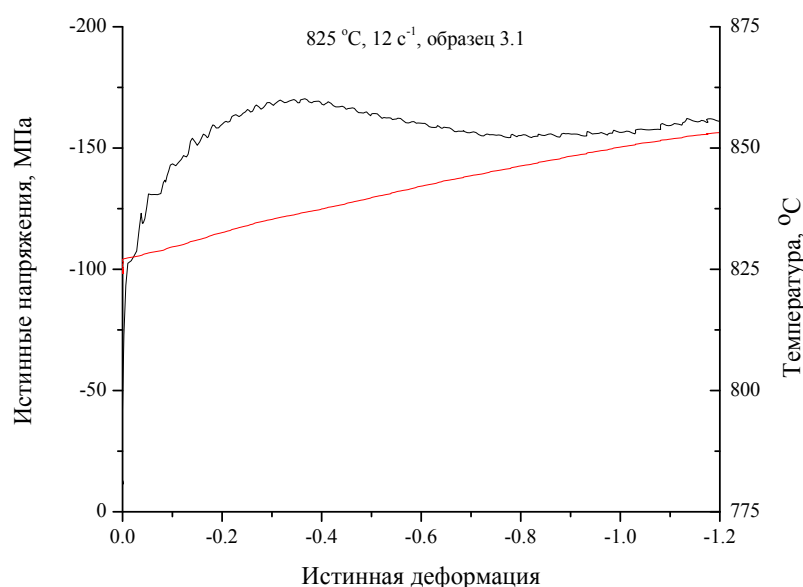


Рис. 6. Изменение температуры в процессе деформации (825 °C , 12 с^{-1})

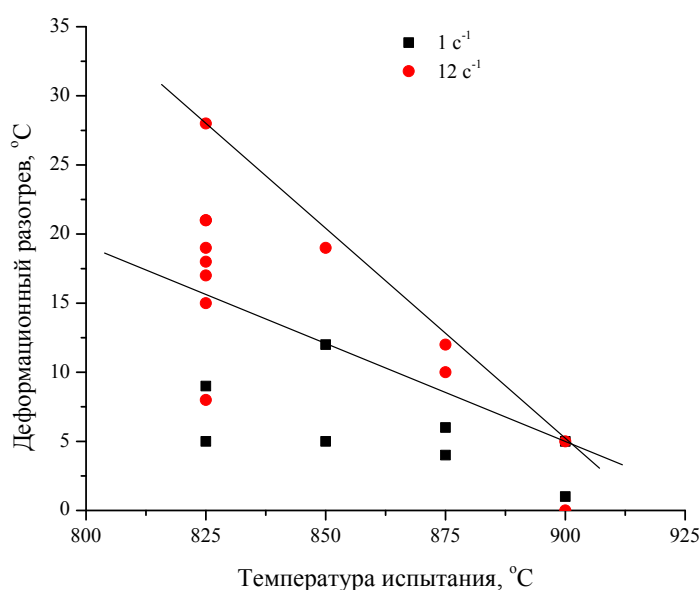


Рис. 7. Максимальное изменение температуры в процессе деформации в зависимости от условий деформации

Обработка металлов давлением...

2. При скорости деформации 10 с^{-1} наблюдается различный характер изменения сопротивления деформации при увеличении ее степени. Следует отметить следующую особенность: на поперечных образцах (характерно для значений температуры в диапазоне $825\text{--}875 \text{ }^\circ\text{C}$) наблюдается интенсивный рост величины напряжения до степени деформации $\sim 0,35$, после чего наблюдается плавное снижение величины напряжения. Иная картина наблюдается при деформировании образцов, отобранных в продольном направлении, а именно менее интенсивный рост напряжений для образцов, деформированных при темпера-

турах $825\text{--}850 \text{ }^\circ\text{C}$. Наиболее показательным является расхождение в характере изменения сопротивления деформации для образцов, деформированных при температуре $875 \text{ }^\circ\text{C}$. Все вышесказанное подтверждает неоднородность пластических свойств заготовки.

Для подтверждения различия пластических свойств исследуемого материала по сечению трубной заготовки и в зависимости от направленности образцов ниже приведены фотографические изображения образцов до и после испытаний.

На рис. 8 представлены фотографии образцов из сплава марки ПТ-1М после осадки

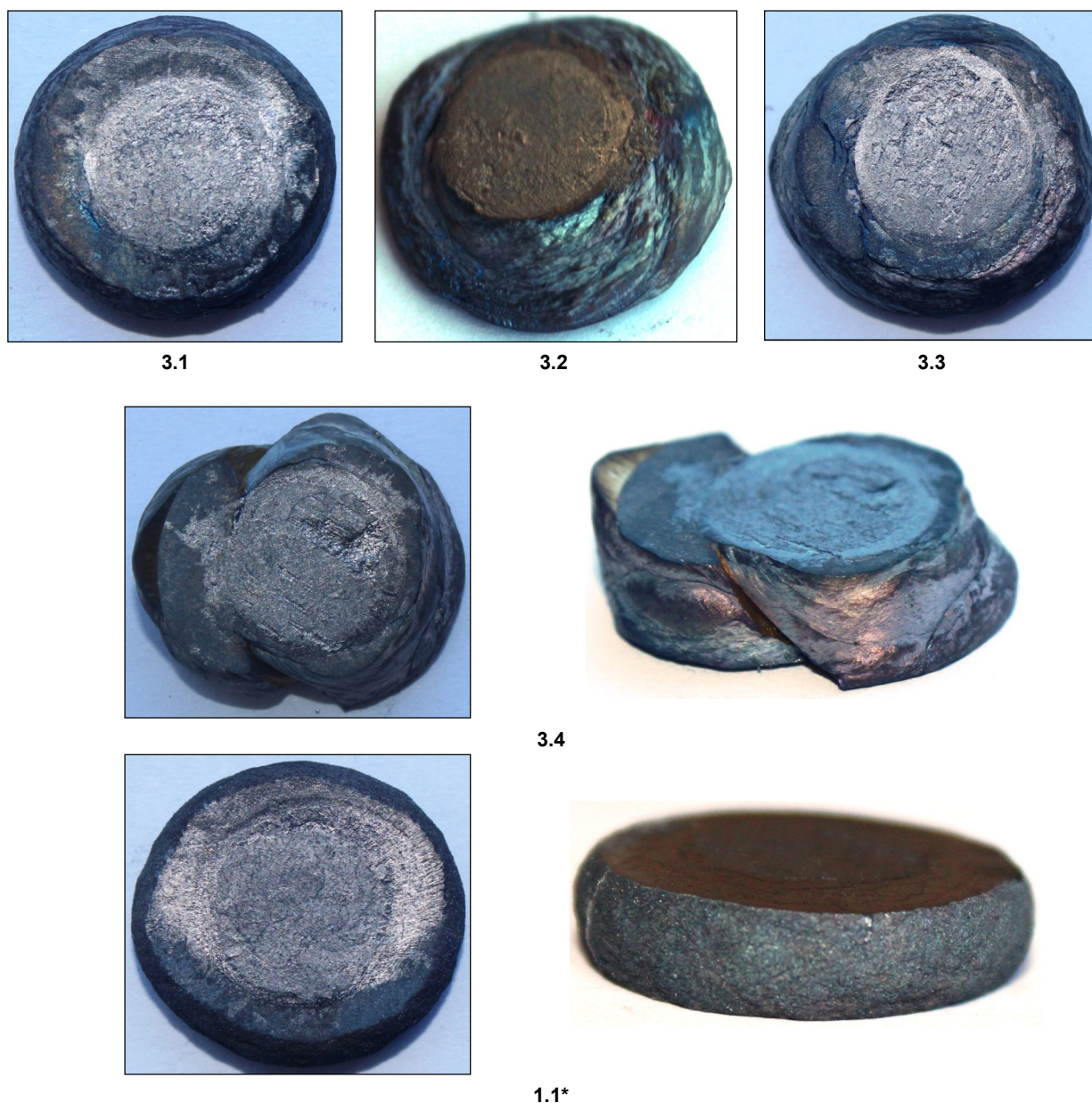


Рис. 8. Фотографии образцов из сплава марки ПТ-1М после осадки до степени деформации 1,2 (маркировка соответствует табл. 1 и 2)

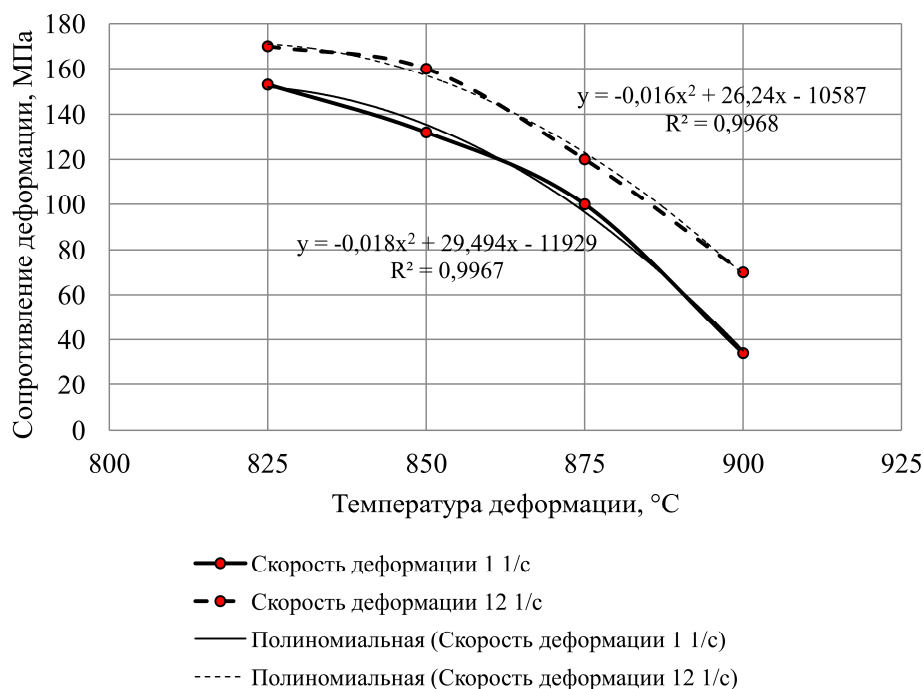


Рис. 9. Зависимость максимального значения сопротивления деформации сплава марки ПТ-1М от температуры деформации

до степени деформации 1,2 (маркировка образцов соответствует табл. 1 и 2).

Исходя из представленных на рис. 8 фотографических изображений, можно сделать вывод, что форму, наиболее близкую к цилиндрической, имеют образцы, отобранные из центральной части заготовки, а именно «1.1*, 2.1, 3.1». Кроме того, очевиден тот факт, что все образцы, независимо от места отбора и направленности, имеют различную форму и характер разрушения.

С целью последующего расчета технологических параметров процесса прессования и разработки технологии рекомендуется [3] использовать максимальное значение сопротивления деформации материала. Для этого на рис. 9 представлены зависимости максимального значения сопротивления деформации от температуры деформации для скоростей деформации 1 и 12 с⁻¹.

Исходя из зависимостей рис. 9, сопротивление деформации σ_S^i сплава марки ПТ-1М в зависимости от температуры деформации T определяется как:

– для скорости деформации, равной 1 с⁻¹:

$$\sigma_S^1 = -0,018T^2 + 29,494T - 11929;$$

– для скорости деформации, равной 12 с⁻¹:

$$\sigma_S^{12} = -0,016T^2 + 26,24T - 10587.$$

Таким образом, по результатам исследования деформационной способности трубной заготовки из сплава марки ПТ-1М, можно выделить следующее:

1. Сопротивление деформации сплава и характер его изменения в зависимости от степени деформации различен, в зависимости от места отбора образцов, что говорит об асимметрии свойств [8]. Следовательно, для расчета энергосиловых параметров последующего горячего прессования рекомендуется применять максимальные значения сопротивления деформации. Заготовка из титанового сплава марки ПТ-1М имеет различные пластические свойства по сечению, что, по мнению авторов, обусловлено недостаточной проработкой (измельчением) структуры.

2. При использовании исследуемой заготовки для изготовления горячепрессованных труб высока вероятность образования дефектов поверхности (особенно наружной) даже при выполнении технологической операции экспандирования заготовки.

Литература

1. Ерманок, М.З. Прессование титановых сплавов / М.З. Ерманок, Ю.П. Соболев, А.А. Гельман. – М.: «Металлургия», 1979. – 264 с.

2. Космацкий, Я.И. Информационное обеспечение и управление технологическими процессами трубопрессового производства: учебное пособие для самостоятельной работы / Я.И. Космацкий, М.И. Гасленко, М.А. Тихонова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2013. – 45 с.

3. Космацкий, Я.И. Силовые параметры прессования труб из центробежно-литой заготовки стали 08X18H10T / Я.И. Космацкий, А.В. Выдрин, Б.В. Баричко // *Металлург.* – 2011. – № 4. – С. 65–66.

4. Исследование свойств центробежной трубной заготовки из стали 08X18H10T / Б.В. Баричко, Я.И. Космацкий, С.В. Руцц и др. // *Металлург.* – 2013. – № 4. – С. 59–62.

5. Илларионов, А.Г. Определение температурных параметров для изготовления горячепрессованных передельных труб из сплава Ti-3Al-2.5V / А.Г. Илларионов, Я.И. Космацкий, Е.А. Филяева // *Металлург.* – 2016. – № 9.

6. Исследование деформационной способности титанового сплава Ti-3Al-2.5V и оценка технологической возможности изготовления горячепрессованных труб из него / Я.И. Космацкий, Н.В. Фокин, Е.А. Филяева, Б.В. Баричко // *Титан.* – 2016. – № 2. – С. 18–22.

7. Определение технологической возможности изготовления нового вида бесшовных труб TREX из титанового сплава Ti-3Al-2.5V / Я.И. Космацкий, Е.А. Филяева, Н.В. Фокин, К.Ю. Яковлева // *Качество в обработке материалов.* – 2016. – № 2. – С. 15–22.

8. Фокин, Н.В. Исследование деформационной способности нового высоколегированного сплава и разработка технологии горячего прессования труб из него / Н.В. Фокин, Я.И. Космацкий, С.А. Денисюк // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова.* – 2015. – № 4. – С. 27–33.

Космацкий Ярослав Игоревич, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела по бесшовным трубам в отделе технологии производства труб, Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности (ОАО «РосНИТИ»), докторант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; kosmatski@rosniti.ru.

Фокин Николай Владимирович, младший научный сотрудник лаборатории волочения и прессования, Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности (ОАО «РосНИТИ»), аспирант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; fokin@rosniti.ru.

Филяева Елена Анатольевна, инженер научно-технического центра (ООО «ТМК НТЦ»), г. Челябинск; аспирант кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; filyaeva@rosniti.ru.

Баричко Борис Владимирович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией волочения и прессования, Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; barichko@rosniti.ru.

Поступила в редакцию 29 августа 2017 г.

STUDY ON THE DEFORMATION ABILITY BILLETS OF TITANIUM ALLOY GRADE PT-1M

Ya.I. Kosmatskiy^{1, 2}, kosmatski@rosniti.ru,

N.V. Fokin^{1, 2}, fokin@rosniti.ru,

E.A. Filyaeva^{2, 3}, filyaeva@rosniti.ru,

B.V. Barichko¹, barichko@rosniti.ru

¹ JSC "Russian Research Institute for the Tube and Pipe Industries" (JSC "RosNITI"),
Chelyabinsk, Russian Federation,

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

³ LLC "Scientific Research Centre of the Tube Metallurgical Company (TMK NTC)",
Chelyabinsk, Russian Federation

The work investigates the deformation ability of titanium alloy grade PT-1M. The results of the research used in the development of production technology of hot-pressed pipes.

Keywords: titanium alloy PT-1M, deformation ability, resistance to deformation, extrusion of pipes.

References

1. Ermanok M.Z., Sobolev Yu.P., Gel'man A.A. *Pressovanie titanovykh splavov* [Molding of Titanic Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1979. 264 p.
2. Kosmatskii Ya.I., Gaslenko M.I., Tikhonova M.A. *Informatsionnoe obespechenie i upravlenie tekhnologicheskimi protsessami trubopressovogo proizvodstva* [Information Support and Management of Technological Processes of Pipe-Pressing Production]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2013. 45 p.
3. Barichko B.V., Vydrin A.V., Kosmatskii Ya.I., Voskhodov V.B., Zubkov A.M. Force Parameters in the Extrusion of Tubes from a Centrifugally Cast Semifinished Product of Steel 08Kh18N10T. *Metallurgist*, 2011, vol. 55, no. 3–4, pp. 271–273. DOI: 10.1007/s11015-011-9423-5
4. Barichko B.V., Kosmatskii Ya.I., Rushchits S.V., Akhmed'yanov A.M., Gaslenko M.I., Voskhodov V.B., Zubkov A.M. Study of Steel 08Kh18N10T Centrifugally-Cast Pipe Billet Properties. *Metallurgist*, 2013, vol. 57, no. 3–4, pp. 298–302. DOI: 10.1007/s11015-013-9728-7
5. Illarionov A.G., Kosmatskii Ya.I., Filyaeva E.A., Vodolazskii F.V., Barannikova N.A. Experimental Determination of Temperature Parameters for Evaluating the Possibility of Manufacturing Alloy Ti-3Al-2.5V Hot-Extruded Tubes. *Metallurgist*, 2017, vol. 60, no. 9–10, pp. 983–988. DOI: 10.1007/s11015-017-0396-x
6. Kosmatskii Ya.I., Fokin N.V., Filyaeva E.A., Barichko B.V. [Investigation of Straining Ability of Titanium Alloy Ti-3Al-2.5V and Assessment of a Technological Capability of Manufacture of Hot-Pressed Pipes from It]. *Titan*, 2016, no. 2, pp. 18–22. (in Russ.)
7. Kosmatskii Ya.I., Filyaeva E.A., Fokin N.V., Yakovleva K.Yu. [Definition of a Technological Capability of Manufacture of a New Type of Seamless Pipes TREX from Titanium Alloy Ti-3Al-2.5V]. *Kachestvo v obrabotke materialov*, 2016, no. 2, pp. 15–22. (in Russ.)
8. Fokin N.V., Kosmatskii Ya.I., Denisyuk S.A. [Investigation of Straining Ability of New High Alloy and Development of Technology of Hot Pressing of Pipes from It]. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2015, no. 4, pp. 27–33. (in Russ.)

Received 29 August 2017

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исследование деформационной способности трубной заготовки из титанового сплава марки ПТ-1М / Я.И. Космацкий, Н.В. Фокин, Е.А. Филяева, Б.В. Баричко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 83–91. DOI: 10.14529/met170409

FOR CITATION

Kosmatskiy Ya.I., Fokin N.V., Filyaeva E.A., Barichko B.V. Study on the Deformation Ability Billets of Titanium Alloy Grade PT-1M. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 83–91. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170409