Сопротивление деформации платинового сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5

УДК 546.3

Ю. Н. Логинов, *профессор, Институт материаловедения и металлургии*[1]
А. А. Фомин, *инженер-технолог*[2], *эл. почта: a.fomin@ezocm.ru*

[1] *Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия.*
[2] *ООО «ЕЗ ОЦМ – Инжиниринг», Верхняя Пышма, Россия.*

Целью работы является получение новых данных о реологических свойствах сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5, используемого для применения в каталитических системах химической промышленности. В качестве базового метода испытаний применено растяжение проволоки на испытательной машине Instron 3365. Исследование выполняли в лаборатории механических испытаний ОАО «Екатеринбургский завод ОЦМ», для последующего волочения применяли маршруты обработки этого же предприятия. Сплав обладает невысоким уровнем пластических свойств, что не позволяет описать сопротивление деформации в широком диапазоне. Поэтому исследование разбили на два этапа. На первом этапе обрабатывали диаграмму нагружения, которая была записана системой специализированного программного обеспечения Bluehill Lite с установлением связи между истинными напряжениями и деформациями. Это позволяло получить информацию в диапазоне относительных удлинений, предшествующих началу образования шейки, т. е. до окончания режима одноосного нагружения.
В качестве исходных образцов для первого этапа испытаний отобрали отрезки проволоки в отожженном состоянии (отжиг в воздушной среде в течение 30 мин при температуре 1000 ^{o}C) диаметром 1,21 мм с рабочей длиной образцов 100 мм. Скорость перемещения захватов на испытательной машине назначили 50 мм/мин, что соответствует скорости деформации 0,008 $с^{-1}$ в начале испытания и 0,010 $с^{-1}$ в момент разрыва образца. На первом этапе получили кривую упрочнения при деформации не более 12 %.
Второй этап исследования основан на определении условного предела текучести, как напряжения, переводящего металл из состояния упругости в состояние пластичности в схеме одноосного нагружения. В опытах методом волочения ступенчато уменьшали диаметр проволоки с отбором образцов на диаметрах 1,21, 0,99, 0,82, 0,67 и 0,51 мм при значениях степени деформации 0,401, 0,778, 1,182, 1,728, что отвечает относительным удлинениям 33, 54, 69 и 82 % соответственно.
Практическая ценность полученных результатов состоит в возможности использования полученных зависимостей и аппроксимированных данных для постановки и решения конкретных краевых задач обработки металлов давлением, например методом конечных элементов.

Ключевые слова: *платиновый сплав, волочение, испытание на растяжение, напряжения, деформации, кривые упрочнения, пластичность.*

DOI: *http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2015.12.15*

Сплав ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5 используют в основном для применения в каталитических системах химической промышленности. Следует отметить, что сопротивление сплавов платины изучено недостаточно. В широко известном справочнике [1] при наличии данных для сплавов серебра и золота сведения для сплавов платины не представлены. Сопротивление деформации чистой платины в виде зависимостей отображено в статьях [2, 3], платинородиевого сплава — в публикации [4]. В технической литературе реологические свойства платины и ее сплавов чаще всего представлены в упрощенном виде, например в виде значений твердости [5–8]. В связи с разработкой и повсеместным внедрением современных методов моделирования процессов обработки давлением, в том числе штамповки [9], прокатки [10] или волочения [11], необходимо знание реологических свойств конкретных материалов.

В качестве базового метода испытаний применено растяжение проволоки по ГОСТ 10446–80 [12] на испытательной машине Instron 3365, но в отличие от стандарта для обработки результатов испытаний применяли методику пересчета условных напряжении и деформаций в истинные значения. Содержание элементов в сплаве соответствовало ГОСТ 13498–2010 [13], % (мас.): 80,3–81,7 платина, 14,5–15,5 палладий, 3,1–3,9 родий, 0,2–0,8 рутений.

Исследование выполняли в лаборатории физико-механических испытаний ОАО «Екатеринбургский завод ОЦМ», для последующего волочения применяли маршруты обработки этого же предприятия. Как было выявлено в первичных опытах, исследуемый сплав ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5 обладает невысоким уровнем пластических свойств, что не позволяет описать сопротивление деформации в широком диапазоне значений степени деформаций. Поэтому

© Ю. Н. Логинов, А. А. Фомин, 2015

ход исследования разбили на два этапа. На первом этапе обрабатывали диаграмму нагружения, которая была записана системой специализированного программного обеспечения Bluehill Lite с установлением связи между истинными напряжениями и деформациями. Это позволяло получить информацию в диапазоне относительных удлинений, предшествующих началу образования шейки, т. е. до окончания режима одноосного нагружения.

В качестве исходных образцов для первого этапа испытаний отобрали отрезки проволоки в отожженном состоянии (отжиг в воздушной среде в течение 30 мин при температуре 1000 °С) диаметром d_0 = 1,21 мм с рабочей длиной образцов l_0 = 100 мм. Захваты на испытательной машине перемещались со скоростью 50 мм/мин, что соответствует скорости деформации 0,008 $с^{-1}$ в начале испытания и 0,010 $с^{-1}$ в момент разрыва образца.

С помощью найденного в результате испытания удлинения образца Δl_i из условия постоянства объемов можно определить текущий диаметр по формуле $d_i = d_0\sqrt{l_0/(l_0 + \Delta l)}$. По силе деформации P можно определить условное напряжение $\sigma_y = 4P/(\pi d_0^2)$. После растяжения обрабатывали записанную диаграмму с введением следующих обозначений: степень деформации $\varepsilon = 2\ln(d_0/d_i)$ и истинное напряжение $\sigma_и = 4P/(\pi d_i^2)$.

Диаграмма условных напряжений представлена на рис. 1.

Из приведенной диаграммы видно, что временное сопротивление сплава составило 300 МПа. В дальнейшем исключали из рассмотрения участок неоднородной деформации (относительное удлинение более 12 %). Участок упругого нагружения, а также напряжения приводили к истинным значениям. Вычитали из деформаций упругую составляющую. В результате получили кривую упрочнения сплава при малых деформациях, отображенную на рис. 2. Аналогичные данные при разбросе до 5 % получили при проведении трех испытаний.

Второй этап исследования основан на определении условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ как напряжения, переводящего металл из состояния упругости в состояние пластичности в схеме одноосного нагружения, тем самым приближенном к понятию сопротивления деформации. В опытах методом волочения ступенчато уменьшали диаметр проволоки с отбором образцов на диаметрах 1,21, 0,99, 0,82, 0,67, 0,51 мм. Полученную степень деформации оценивали по приведенной выше формуле, тем самым получили следующие значения степени деформации: 0,401, 0,778, 1,182 и 1,728, что отвечает относительным удлинениям 33, 54, 69 и 82 % соответственно. Видно, что волочением удалось получить значительно более высокие степени нагартовки, чем при растяжении, что позволяет расширить диапазон деформаций. При каждой степени деформации было отобрано по 5 образцов, для которых измерены значения условного предела текучести.

Результаты первого и второго этапов испытаний представлены на рис. 3.

Можно отметить, что при больших деформациях кривая упрочнения имеет возрастающий характер, достигая значения 520 МПа, однако наблюдается ее немонотонность. Это можно объяснить тем, что при использовании волочения в качестве метода нагартовки металла при подсчете степени деформации не учитываются дополнительные сдвиги, вносимые формой волочильного инструмента (угол рабочего конуса и длина калибрующего пояска) [14], которая в производственных условиях может оказаться разной из-за износа, условий реставрации и т. д.

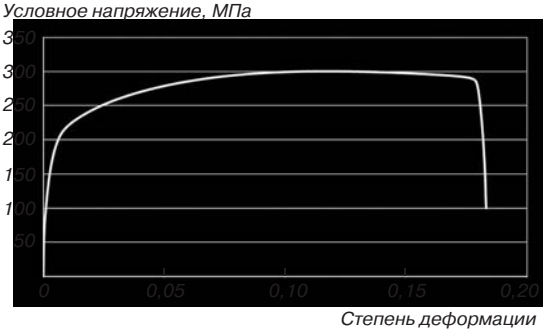


Рис. 1. Диаграмма условных напряжений при испытании сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5

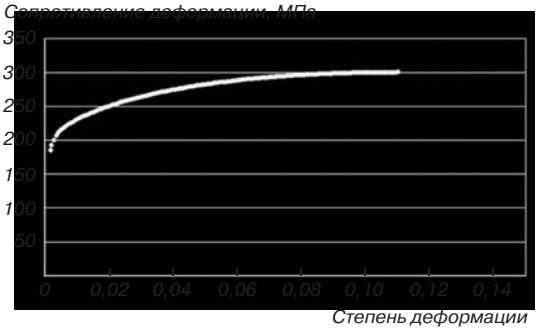


Рис. 2. Кривая упрочнения сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5 при малых деформациях

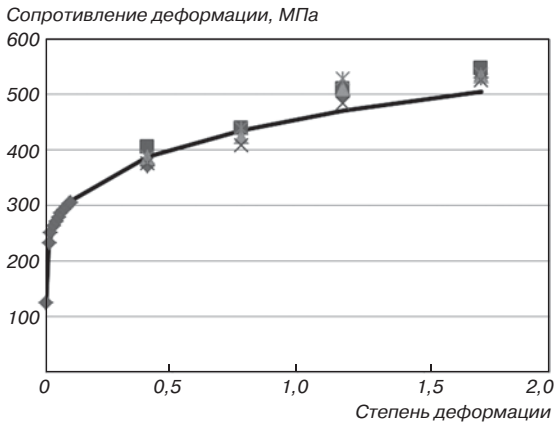


Рис. 3. Кривая упрочнения сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5 при больших деформациях: точки — опытные данные в пяти сериях опытов; линия — уравнение регрессии

Полученные значения сопротивления деформации σ_s аппроксимированы методом наименьших квадратов по всей совокупности степеней деформации (0–1,7) уравнением регрессии вида $\sigma_s = 123 + 333\varepsilon^{0,251}$. Максимальное отклонение опытных и расчетных данных составило 4,9 % в области степени деформации 1,182.

Практическая ценность полученных результатов состоит в возможности использования полученных зависимостей для постановки и решения конкретных краевых задач обработки металлов давлением, например методом конечных элементов.

Выводы

При использовании комбинированной методики испытаний получены зависимости сопротивления деформации сплава ПлПдРдРу 81-15-3,5-0,5 при скорости деформации 0,008–0,010 $с^{-1}$ в диапазоне степеней деформации 0–1,728. Установлено, что метод растяжения образцов позволяет получить данные по сопротивлению деформации при достижении относительного удлинения не выше 12 %. Метод определения сопротивления деформации измерением условного предела текучести позволил получить данные при относительном удлинении 82 %. Полученные зависимости представлены в графическом и аналитическом виде. Выявлено, что при наибольшей нагартовке сопротивление деформации сплава достигает 520 МПа.

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления Правительства Российской Федерации № 211, контракт № 02.A03.21.0006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М.** Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов. — М. : Металлургия, 1983. — 352 с.
2. **Loginov Yu. N., Yermakov A. V., Grohovskaya L. G., Studenok G. I.** Annealing characteristics and strain resistance of 99.93 wt. % platinum // Platinum Metals Review. 2007. Vol. 51, No. 4. P. 178–184.
3. **Логинов Ю. Н., Ермаков А. В., Гроховская Л. Г., Студенок Г. И.** Условия разупрочнения и сопротивление деформации платины // Цветные металлы. 2006. № 6. С. 85–88.
4. **Логинов Ю. Н., Фомин А. А.** Влияние эффекта дисперсного упрочнения платинородиевого сплава на характеристики упрочнения // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении : мат. 6-й межд. молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А. Ф. Головина», Екатеринбург, 29 октября – 1 ноября 2012 г. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2012. — С. 51–54.
5. **Murakami T., Sahara R., Harako D., Akiba M., Narushima T., Ouchi C.** The effect of solute elements on hardness and grain size in platinum based binary alloys // Materials Transactions. 2008. Vol. 49, No. 3. P. 538–547.
6. **Biggs T., Taylor S. S., Van Der Lingen E.** The hardening of platinum alloys for potential jewellery application // Platinum Metals Review. 2005. Vol. 49, No. 1. P. 2–15.
7. **Xin Hu, Yuantao Ning, Liangwei Chen, Qingnan Shi, Chaoguang Jia.** Physical properties and application performance of platinum-palladium-rhodium alloys modified with cerium // Platinum Metals Rev. 2012. Vol. 56, No. 1. P. 40–46.
8. **Yi-min Guan, Si-yong Xu, Jin-xin Guo, Guo-yi Qin.** Hardening behavior of Pt–Ti microalloys // Journal of Alloys and Compounds. 2015. Vol. 645. P. 34–37.
9. **Улыбышева Л. П., Тыкочинский Д. С.** Рациональное использование платиновых металлов в производстве стеклянного волокна // Цветные металлы. 2012. № 5. С. 40–46.
10. **Nakhoul R., Montmitonnet Pierre, Legrand N.** Manifested flatness defect prediction in cold rolling of thin strips // International Journal of Material Forming. 2015. Vol. 8. P. 283–292.
11. **Seoung-Bum Son, Young Kwang Lee, Suk Hoon Kang, Hee-Suk Chung, Jong Soo Cho, Jeong-Tak Moon, Kyu Hwan Oh.** A numerical approach on the inclusion effects in ultrafine gold wire drawing process // Engineering Failure Analysis. 2011. Vol. 18. P. 1272–1278.
12. **ГОСТ 10446–80.** Проволока. Метод испытания на растяжение. — М. : Издательство стандартов. — 6 с. — Введ. 1982–07–01.
13. **ГОСТ 13498–2010.** Платина и сплавы на ее основе. Марки. — М. : Стандартинформ, 2012. — 8 с. — Введ. 2011–09–01.
14. **Felder E., Levrau C., Mantel M., Truong Dinh N. G.** Identification of the work of plastic deformation and the friction shear stress in wire drawing // Wear. 2012. Vol. 286/287. P. 27–34.

ЦМ

Tsvetnye Metally (Non-ferrous metals). 2015. No. 12. pp. 80–83
DOI: http://dx.doi.org/10.17580/tsm.2015.12.15

DEFORMATION RESISTANCE OF PLATINUM ALLOY Pt81Pd15Rh3.5Ru0.5

Information about authors
Yu. N. Loginov, Professor (Institute of Material Science and Metallurgy)[1]
A. A. Fomin, Mechanical Engineer[2], e-mail: a.fomin@ezocm.ru

[1] Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia.
[2] LLC "Ekaterinburg Non-Ferrous Metals Processing Plant – Engineering", Verkhnyaya Pyshma, Russia.

Abstract
The aim of this work was to obtain new data about the rheological properties of alloy Pt81Pd15Rh3.5Ru0.5, used for applications in catalytic systems for the chemical industry. The wire tensile test on Instron – 3365 testing machine was used as a basic test method. The study was performed in the mechanical testing laboratory (Ekaterinburg Non-Ferrous Metals Processing Plant), and the processing routes of this company were used for subsequent drawing. The alloy has a low level of plastic properties, and it is desirable to describe the deformation resistance in a wide range of deformations. Therefore, the study was divided in two stages. At the first stage the diagram of loading, recorded by the specialized software Bluehill Lite, was processed, and dependence between the true stresses and deformations was defined. It allowed obtaining of information in the range of relative elongations preceding the beginning of the necking, i.e. until the end of the uniaxial loading mode.
The annealed wire samples with diameter of 1.21 mm and working length of 100 mm (annealing in air for 30 min at the temperature of 1000 °C) were used for the first stage of tests. The speed of movement of the testing machine grips was 50 mm/min, which corresponds to a deformation rate of 0.008 1/s at the beginning of the test and 0.010 1/s at the moment of the sample rupture. The hardening curve for deformation of not more than 12% was obtained during the first stage.

The second stage of the study was based on the definition of conditional yield strength as the stress of the metal transferring from a state of elasticity in a state of plasticity in the scheme of uniaxial loading, as the concept of deformation resistance. During the tests, the diameter was reduced by wire drawing with sampling on the diameters of 1.21 – 0.99 – 0.82 – 0.67 – 0.51 mm, with deformation degree values of 0, 0.401, 0.778, 1.182, 1.728, which corresponds to the relative elongations of 0, 33, 54, 69, 82 %, respectively.

The practical value of the obtained results is the possibility of using the received dependencies in the form of graphs and approximated data for formulation and solution of particular boundary problems of metal forming (for example, by the finite element method).

This work was carried out with the financial support of the Decree of the Government of Russian Federation No. 211, Agreement No. 02.A03.21.0006.

Key words: platinum alloy, drawing, tensile test, stress, deformation, hardening curves, plasticity.

References

1. Polukhin P. I., Gun G. Ya., Galkin A. M. *Soprotivlenie plasticheskoy deformatsii metallov i splavov* (Resistance of plastic deformation of metals and alloys). Moscow : Metallurgiya, 1983. 352 p.
2. Loginov Yu. N., Yermakov A. V., Grohovskaya L. G., Studenok G. I. Annealing characteristics and strain resistance of 99.93 wt. % platinum. Platinum Metals Review. 2007. Vol. 51, No. 4. pp. 178–184.
3. Loginov Yu. N., Ermakov A. V., Grokhovskaya L. G., Studenok G. I. Usloviya razuprochneniya i soprotivlenie deformatsii platiny (Weakening conditions and deformation resistance of platinum). *Tsvetnye Metally = Non-ferrous metals.* 2006. No. 6. pp. 85–88.
4. Loginov Yu. N., Fomin A. A. Vliyanie effekta dispersnogo uprochneniya platinorodievogo splava na kharakteristiki uprochneniya (Influence of the effect of disperse hardening of platinum-rhodium alloy on hardening characteristics). *Innovatsionnye tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii : materialy shestoy mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Innovatsionnye tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii. Uralskaya nauchno-pedagogicheskaya shkola imeni professora A. F. Golovina", Ekaterinburg, 29 oktyabrya – 1 noyabrya 2012 goda* (Innovation technologies in metallurgy and mechanical engineering : materials of the sixth international youth scientific-practical conference "Innovation technologies in metallurgy and mechanical engineering. Ural scientific pedagogical school named after professor A. F. Golovin", Ekaterinburg, October 29 – November 1, 2012). Ekaterinburg : Publishing House of Ural University, 2012. pp. 51–54.
5. Murakami T., Sahara R., Harako D., Akiba M., Narushima T., Ouchi C. The effect of solute elements on hardness and grain size in platinum based binary alloys. Materials Transactions. 2008. Vol. 49, No. 3. pp. 538–547.
6. Biggs T., Taylor S. S., Van Der Lingen E. The hardening of platinum alloys for potential jewellery application. Platinum Metals Review. 2005. Vol. 49, No. 1. pp. 2–15.
7. Xin Hu, Yuantao Ning, Liangwei Chen, Qingnan Shi, Chaoguang Jia. Physical properties and application performance of platinum-palladium-rhodium alloys modified with cerium. Platinum Metals Rev. 2012. Vol. 56, No. 1. pp. 40–46.
8. Yi-min Guan, Si-yong Xu, Jin-xin Guo, Guo-yi Qin. Hardening behavior of Pt–Ti microalloys. Journal of Alloys and Compounds. 2015. Vol. 645. pp. 34–37.
9. Ulybysheva L. P., Tykochinskiy D. S. Ratsionalnoe ispolzovanie platinovykh metallov v proizvodstve steklyannogo volokna (Rational using of the platinum metals in the production of the fiberglass). *Tsvetnye Metally = Non-ferrous metals.* 2012. No. 5. pp. 40–46.
10. Nakhoul R., Montmitonnet Pierre, Legrand N. Manifested flatness defect prediction in cold rolling of thin strips. International Journal of Material Forming. 2015. Vol. 8. pp. 283–292.
11. Seoung-Bum Son, Young Kwang Lee, Suk Hoon Kang, Hee-Suk Chung, Jong Soo Cho, Jeong-Tak Moon, Kyu Hwan Oh. A numerical approach on the inclusion effects in ultrafine gold wire drawing process. Engineering Failure Analysis. 2011. Vol. 18. pp. 1272–1278.
12. *GOST 10446–80. Provoloka. Metod ispytaniya na rastyazhenie* (GOST 10446–80. Wire. Tensile test method). Moscow : Publishing House of Standards. 6 p. Introduced : 1982–07–01. (in Russian).
13. *GOST 13498–2010. Platina i splavy na ee osnove. Mark*i (GOST 13498–2010. Platinum and its base alloys. Marks). Moscow : Standartinform, 2012. 8 p. Introduced : 2011–09–01. (in Russian).
14. Felder E., Levrau C., Mantel M., Truong Dinh N. G. Identification of the work of plastic deformation and the friction shear stress in wire drawing. Wear. 2012. Vol. 286/287. pp. 27–34.

И. И. Новиков, В. С. Золоторевский, В. К. Портной, Н. А. Белов, Д. В. Ливанов, С. В. Медведева, А. А. Аксёнов, Ю. В. Евсеев

Металловедение. Учебник. В 2 т.

Т. 1. Основы металловедения
Т. 2. Термическая обработка. Сплавы



В учебнике изложены основы металловедения и термической обработки, особенности структуры и свойств промышленных сплавов и композиционных материалов на металлической основе.

В томе 1 даны представления о кристаллической структуре металлов и ее дефектах, методах структурного анализа, элементах теории фазовых превращений. Проанализированы фазовые диаграммы двойных и многокомпонентных систем, неравновесная кристаллизация, процессы деформации и разрушения, механические, физические и технологические свойства металлов и сплавов, их структура и свойства после обработки давлением.

Учебник рекомендован студентам и аспирантам, обучающимся по направлению «Металлургия», может служить учебным пособием для студентов, обучающихся по направлению «Материаловедение и технологии материалов».

2-е изд., испр.

По вопросам приобретения книги обращайтесь:
119049, Москва, Ленинский просп., д. 6., стр. 2
(НИТУ «МИСиС», А-корпус), 6-й этаж, офис 624.
E-mail: books@rudmet.ru
Тел: (495) 955-01-75

Реклама