

Обмен опытом

Exchange of Experience

DOI: 10.26896/1028-6861-2017-83-12-57-59

СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРОВОЛОЧНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ ПЛАТИНОВОГО СПЛАВА

© Юрий Николаевич Логинов, Александр Евгеньевич Первухин

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
АО «Екатеринбургский завод ОЦМ», г. Екатеринбург, Россия; e-mail: j.n.loginov@urfu.ru

Статья поступила 30 ноября 2016 г.

STRAIN RESISTANCE OF THE PLATINUM ALLOY WIRE SAMPLES

© Yurii N. Loginov and Aleksandr E. Pervukhin

First President of Russia B. N. El'tsin Ural Federal University, JSC «Yekaterinburgskii zavod OTsM», Yekaterinburg, Russia;
e-mail: j.n.loginov@urfu.ru

Submitted November 30, 2016.

New data on the mechanical properties of Pt92.5Pd4Rh3.5 platinum alloy used in the catalytic systems in chemical industry are presented. The study was conducted in two stages: i) stretching of the wire samples and plotting of the loading diagrams ii) testing of the wire samples stretched on the wire drawing machines. Data on yield strength were plotted to the tensile stress-strain diagram. Combination of the two methods made it possible to obtain data on the strain resistance in the interval of relative reduction of 0 – 93%. The practical value of the obtained results consists in the possibility of using the dependencies in the form of graphs and approximated data to state and solve the specific boundary problems regarding of plastic metal working using, e.g., the finite element method.

Keywords: platinum alloy; drawing; tensile test; stress; strain hardening curves; plasticity.

Сплавы благородных металлов на основе платиноидов отличаются высокой коррозионной стойкостью, в том числе при повышенной температуре. Сплав Pt92,5Pd4Rh3,5 используется в основном в каталитических системах химической промышленности. Следует отметить, что сопротивление деформации сплавов платины изучено недостаточно. В широко известном справочнике [1] подобная информация о

сплавах платины отсутствует. Сопротивление деформации чистой платины в виде графиков и аппроксимирующих зависимостей рассмотрено в работах [2, 3], платинородиевого сплава — в публикации [4]. В литературе механические свойства платины и ее сплавов чаще всего представлены в виде значений твердости [5, 6]. Вместе с тем в связи с разработкой и внедрением современных методов моделирования процессов

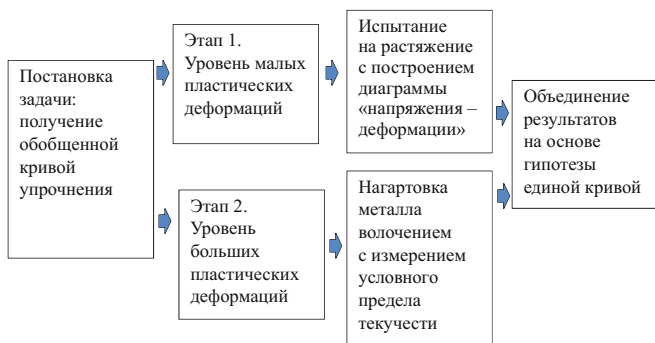


Рис. 1. Схема методики испытаний

обработки давлением, в том числе штамповки [7], прокатки или волочения [8], необходимо знание конкретных механических свойств материалов.

В качестве базового метода использовали растяжение проволоки согласно стандарту [9] на испытательной машине Instron 3365, однако для обработки результатов испытаний применяли методику пересчета условных напряжений и деформаций в истинные значения. Содержание элементов в сплаве соответствовало стандарту [10], % масс.: 92,2 – 92,8 Pt; 3,8 – 4,2 Pd; 3,3 – 3,7 Rh.

Исследование выполняли в лаборатории физико-механических испытаний АО «Екатеринбургский завод ОЦМ», для последующего волочения применяли маршруты обработки этого же предприятия. В первичных опытах выявлено, что исследуемый сплав ПлПдРд 92,5 – 4 – 3,5 обладает невысоким уровнем пластических свойств, а сопротивление деформации можно описать в широком диапазоне деформаций. Поэтому исследование разбили на два этапа (рис. 1). На первом этапе обрабатывали диаграмму нагружения, которую записывали системой специализированного программного обеспечения Bluehill Lite с установлением связи между истинными напряжениями и деформациями. Это позволило получить информацию в диапазоне относительных удлинений, предшествующих началу образования шейки, т.е. до окончания режима одноосного равномерного растяжения.

В качестве исходных образцов для первого этапа испытаний отбирали отрезки проволоки в отожженном состоянии (отжиг в воздушной среде в течение 30 мин при температуре 900 °С) диаметром $d_0 = 1,20$ мм с рабочей длиной $l_0 = 100$ мм. Скорость перемещения захватов на испытательной машине составила 50 мм/мин, что соответствует скорости деформации $0,008 \text{ с}^{-1}$ в начале испытания и $0,010 \text{ с}^{-1}$ в момент разрыва образца.

При испытании фиксировали удлинение образца Δl , с помощью которого из условия постоянства объемов определяли текущий диаметр по формуле $d_i = d_0 \sqrt{l_0 / (l_0 + \Delta l)}$. По зафиксированной силе деформации P можно определить условное напряжение $\sigma_y = 4P / (\pi d_0^2)$. После растяжения обрабатывали записан-

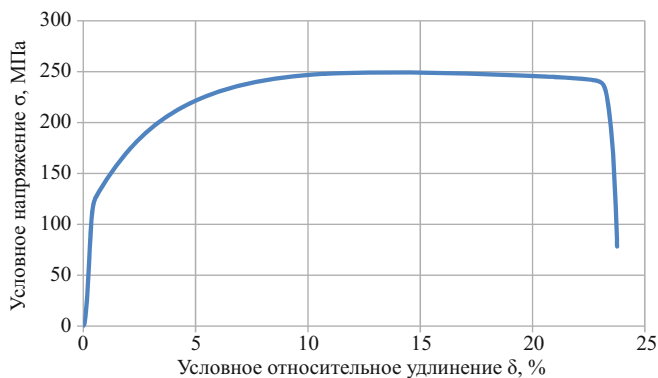


Рис. 2. Диаграмма условных напряжений при испытании сплава ПлПдРд 92,5 – 4 – 3,5

ную диаграмму, вводя следующие обозначения: степень деформации

$$\varepsilon = 2 \ln(d_0/d_i), \quad (1)$$

истинное напряжение

$$\sigma_{\text{и}} = 4P / (\pi d_i^2). \quad (2)$$

Второй этап (см. рис. 1) 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 приближенному к понятию сопротивления деформации. Методом волочения ступенчато уменьшали диаметр проволоки, отбирая образцы диаметрами 1,20 – 0,92 – 0,77 – 0,61 – 0,53 – 0,42 – 0,32 мм. Степень деформации оценивали по формуле (1), получая следующие ее значения: 0 – 0,531 – 0,887 – 1,353 – 1,673 – 2,10 – 2,644, что соответствовало относительным обжатиям 41, 59, 74, 80, 87 и 93 %.

На завершающем этапе объединяли данные, полученные двумя методами, используя гипотезу единой кривой: сопротивление деформации не зависит от метода его определения.

Диаграмма условных напряжений представлена на рис. 2. Ее отличает наличие следующих участков: упругого нагружения в начальной стадии испытания; развитой однородной пластической деформации в виде нелинейно возрастающей функции; неоднородной пластической деформации в виде нелинейно убывающей функции.

Из рис. 2 также следует, что до наступления разрыва степень деформации $\varepsilon = 0,21$, что соответствует относительному удлинению до разрушения $\delta = 100(\exp \varepsilon - 1) = 23$ %. Такое относительное удлинение максимально для сплава в состоянии отжига, при последующем волочении оно резко снижается, поэтому строить графики на основе диаграммы растяжения нецелесообразно.

Из приведенной на рис. 2 диаграммы, в частности, следует, что временное сопротивление сплава соста-

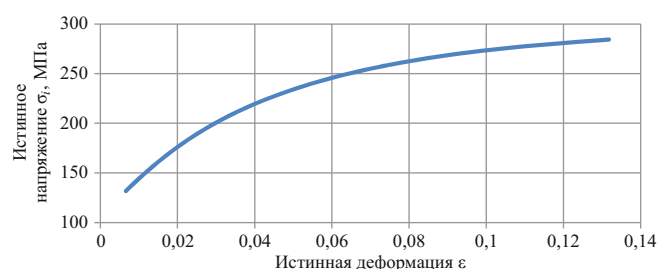


Рис. 3. Кривая упрочнения сплава ПлПдРд 92,5 – 4 – 3,5 при малых деформациях

вило 250 МПа. В дальнейшем исключили из рассмотрения участок неоднородной деформации (относительного удлинения более 12 %), участок упругого нагружения, напряжения привели к истинным значениям, из деформаций вычли упругую составляющую. В результате построили кривую упрочнения сплава при малых деформациях, показанную на рис. 3. Аналогичные данные при разбросе до 5 % получали при проведении трех испытаний.

На рис. 4 приведена кривая упрочнения, полученная по результатам первого и второго этапов испытаний. Начальная ветвь кривой соответствует первому этапу, а линия графика выше степени деформации 0,5 — второму этапу исследований. При больших деформациях кривая упрочнения имеет возрастающий характер, достигая значения 530 МПа.

Значения сопротивления деформации σ_s аппроксимировали методом наименьших квадратов по всей совокупности степеней деформации (0 – 2,644) уравнением регрессии вида

$$\sigma_s = 135 + 290\varepsilon^{0,392}. \quad (3)$$

Здесь первое слагаемое — условный предел текучести для материала в мягком (полностью отожденном) состоянии. Максимальное отклонение опытных и расчетных данных составило 11 % в области степени деформации 2,644.

При наличии кривой упрочнения появляется возможность сравнения платиновых сплавов по прочностным свойствам в зависимости от степени нагартовки. При степени деформации 1,5 для платинового сплава ПлПдРдРу 81 – 15 – 3,5 – 0,5 сопротивление деформации составляет 495 МПа, а для исследованного сплава ПлПдРд 92,5 – 4 – 3,5 — 480 МПа, что можно объяснить меньшей степенью легирования.

При наибольшем упрочнении сопротивление деформации исследованного сплава достигает 520 МПа. Рассеяние экспериментальных точек вокруг линии регрессии можно объяснить следующими причинами. В применяемой методике скорости статических испытаний образцов на разрыв соответствовали требованиям стандарта, но не было уделено внимания поддержанию постоянных диапазонов скоростей деформации, характерных для процесса волочения. Последние процессы, по существу, переводили металл из одного

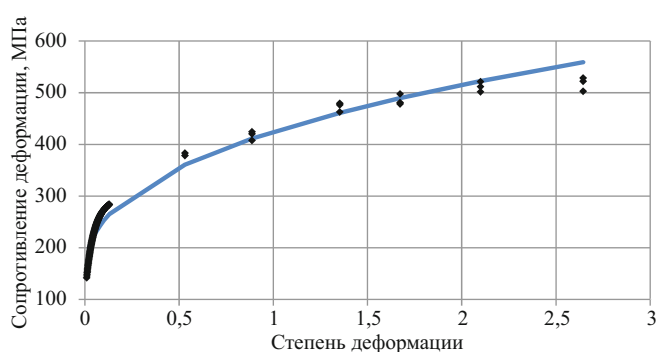


Рис. 4. Кривая упрочнения сплава ПлПдРд 92,5 – 4 – 3,5 при больших деформациях: точки — опытные данные в трех сериях опытов; линия — уравнение регрессии

состояния нагартовки в другое. Рассмотрим формулу для расчета скорости деформации [1]:

$$\xi = \frac{6 \ln(\lambda) \operatorname{tg}(\alpha)}{(\lambda\sqrt{\lambda} - 1)d_1} v_1, \quad (4)$$

где λ — коэффициент вытяжки; α — угол волоки; d_1 — диаметр проволоки после прохода; v_1 — скорость выхода металла из инструмента. Из формулы, в частности, следует, что по мере уменьшения диаметра проволоки по проходам волочения скорость деформации возрастает по гиперболическому закону. Кроме того, при использовании машин многократного волочения из закона постоянства секундных объемов следует, что линейная скорость тоже возрастает пропорционально коэффициенту вытяжки. Совместное влияние этих факторов приводит к значительному увеличению скорости деформации. Обычно влияние скорости деформации на прочностные свойства получаемого изделия либо отрицается, либо им пренебрегают. Однако последние исследования [11, 12], выполненные в области деформации меди, показали, что скорость деформации является важным фактором в формировании прочностных свойств, в том числе сопротивления деформации. Объяснение этому явлению лежит в области механизмов текстурования металла.

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.

Таким образом, при использовании комбинированной методики установлено сопротивление деформации сплава ПлПдРд 92,5 – 4 – 3,5 при скорости деформации $0,008 - 0,010 \text{ с}^{-1}$ в диапазоне степеней деформации 0 – 2,644. Методом растяжения образцов получены данные по сопротивлению деформации при достижении относительного удлинения не выше 12 %. Сопротивление деформации путем измерения условного предела текучести определено при относительном обжатии 93 %. Полученные зависимости пред-

ставлены в графическом и аналитическом видах. Выявлено, что при наибольшем упрочнении сопротивление деформации сплава достигает 530 МПа.

ЛИТЕРАТУРА

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. N 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*. — Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2012. С. 51 – 55.
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. Issue 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. Issue 1. P. 2 – 15.
7. Улыбышева Л. П., Тыкочинский Д. С. Рациональное использование платиновых металлов в производстве стеклянного волокна / *Цветные металлы*. 2012. № 5. С. 40 – 46.
8. Kuhn Dietmar. High-quality wires for high-tech applications / *Wireworld*. 1993. Vol. 35. Issue 2. P. 24 – 28.
9. ГОСТ 10446–80 (ИСО 6892–84). Проволока. Метод испытания на растяжение. — М.: Изд-во стандартов, 1980. — 6 с.
10. Межгосударственный стандарт ГОСТ 13498–2010. Платина и сплавы на ее основе. Марки. — М.: Стандартинформ, 2012. — 8 с.
11. Loginov Y. N., Demakov S. L., Illarionov A. G., Popov A. A. Effect of the strain rate on the properties of electrical copper / *Russian Metallurgy (Metally)*. 2011. N 3. P. 194 – 201.
12. Bhattacharyya A., Rittel D., Ravichandran G. Effect of strain rate on deformation texture in OFHC copper / *Scripta Materialia*. 2005. Vol. 52. P. 657 – 661.

REFERENCES

1. Polukhin P. I., Gun G. Ya., Galkin A. M. Plastic deformation resistance of metals and alloys. — Moscow: Metallurgiya, 1983. — 352 p. [in Russian].
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. N 4. P. 178 – 184.
3. Loginov Yu. N., Ermakov A. V., Grokhovskaya L. G., Studenok G. I. Softening terms and deformation resistance of platinum / *Tsvet. Met.* 2006. N 6. P. 85 – 88 [in Russian].
4. Loginov Yu. N., Fomin A. A. Effect of platinum-rhodium alloy dispersion hardening on increase strength characteristics / *Innovative technologies in metallurgy and machine building*. — Yekaterinburg: Izd. Ural. Univ., 2012. P. 51 – 55 [in Russian].
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. Issue 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. Issue 1. P. 2 – 15.
7. Ulybysheva L. P., Tykochinskii D. S. Rational use of platinum group metals in the production of glass fiber / *Tsvet. Met.* 2012. N 5. P. 40 – 46 [in Russian].
8. Kuhn Dietmar. High-quality wires for high-tech applications / *Wireworld*. 1993. Vol. 35. Issue 2. P. 24 – 28.
9. RF State Standard GOST 10446–80 (ISO 6892–84). Wire. Tensile test method. — Moscow: Izd. standartov, 1980. — 6 p. [in Russian].
10. Interstate Standard GOST 13498–2010. Platinum and its base alloys. Marks. — Moscow: Standartinform, 2012. — 8 p. [in Russian].
11. Loginov Y. N., Demakov S. L., Illarionov A. G., Popov A. A. Effect of the strain rate on the properties of electrical copper / *Russian Metallurgy (Metally)*. 2011. N 3. P. 194 – 201.
12. Bhattacharyya A., Rittel D., Ravichandran G. Effect of strain rate on deformation texture in OFHC copper / *Scripta Materialia*. 2005. Vol. 52. P. 657 – 661.