

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.735.32:539.389.2

Герасимов В.Я., Парышев Д.Н.

## ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА БАУШИНГЕРА ПРИ ОСАДКЕ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Установлены закономерности изменения твердости и удельного электрического сопротивления при ступенчатой осадке цилиндрических заготовок из калиброванной стали 20. Получено экстремальное изменение контролируемых характеристик металла, вызванное изменением знака пластической деформации и проявлением эффекта Баушингера при их минимальных значениях со степенью деформации 0,07-0,10.

**Ключевые слова:** осадка, стальные цилиндры, эффект Баушингера, твердость, удельное электрическое сопротивление, степень деформации.

The study determines objective laws of solidity and electrical resistivity during consecutive settling of cylindrical work pieces made of standardized steel 20. The extreme change of controlled metal characteristics caused by change of mark of plastic deformation and development of Bauschinger effect was received at their minimal values at deformation degree 0,07-0,10.

**Key words:** settling, steel cylinders, Bauschinger effect, solidity, electrical resistivity, deformation degree.

Эффект Баушингера проявляется при изменении знака холодной пластической деформации и характеризуется частичным разупрочнением металла [1,2]. Необходимо отметить, что эффект Баушингера может локализоваться в ограниченном объеме металла, что может быть выявлено по изменению твердости. Изменяются также интегральные характеристики, например плотность, удельное электрическое сопротивление, магнитная проницаемость, электропроводность.

В настоящей работе установлены основные закономерности изменения свойств деформируемого и упрочняемого металла при ступенчатой осадке стальных цилиндров из холоднокатаной стали. В экспериментах использовали калиброванные прутки из стали 20, которые были получены волочением в конической матрице с обжатием  $\varepsilon_{\Phi} = 2 \ln(d_0/d_1) = 0,31$  ( $d_0$  и  $d_1$  – диаметры исходного и протянутого прутка). Из них изготовили цилиндрические образцы с отношением высоты к диаметру  $h_0/d = 2,0$ , что позволило осуществлять деформационный процесс без потери устойчивости.

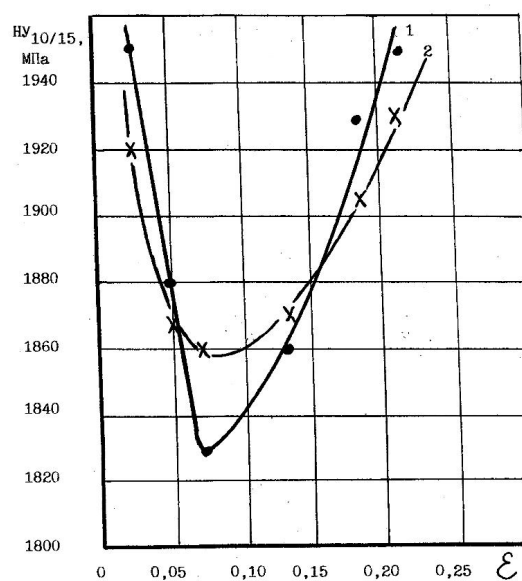
Степень деформации сжатия на каждой ступени определяется по формуле  $\varepsilon_{\Phi} = \ln(h_0/h)$  ( $h_0$  и  $h$  – высота исходного и осажённого цилиндра) и изменяется ступенями, что позволяет оценивать поэтапное накопление разупрочняющего эффекта и структурные изменения в деформированном объеме металла.

На первом этапе исследования определяли средние значения твердости по Виккерсу  $HV_{10/15}$  в меридиональной плоскости шлифов, изготовленных из осажённых цилиндров. При этом зоны контроля 1 и 2 соответствуют продольной оси деформированных образцов и их периферийным зонам.

Результаты обобщены и показаны на **рис. 1** в виде графических зависимостей 1 и 2, соответствующих выделенным зонам контроля твердости на шлифах.

На втором этапе исследования определяли электрическое сопротивление  $R$  для образцов объемом  $V$  и находили удельное электросопротивление  $\rho = R/V$  (Ом/см<sup>3</sup>).

При этом использовали двойной мост Томсона, с помощью которого можно определять сопротивление образца с точностью до 0,0001 Ом [2].



**Рис. 1.** Изменение твердости на продольной оси (кривая 1) и в периферийной зоне (кривая 2) при осадке цилиндров из калиброванной стали 20

Результаты показаны на **рис. 2** в виде интегральных кривых 1 и 2, характеризующих изменение физических свойств деформируемого металла, получившего предварительное упрочнение при волочении прутков. Время естественного старения составило 1 и 14 сут, что позволило выявить изменения в структурном состоянии металла. Необходимо отметить, что при обжатии  $\varepsilon_{\Phi} = 0,31$  достигается интенсивное упрочнение металла в центральной зоне протянутых прутков – вблизи продольной оси вследствие деформаций растяжения [3].

В процессе пластического сжатия образцов изменяется знак деформации и это проявляется в частичном разупрочнении металла. Причиной являются дислокационные барьеры при протекании через образец постоянного тока.

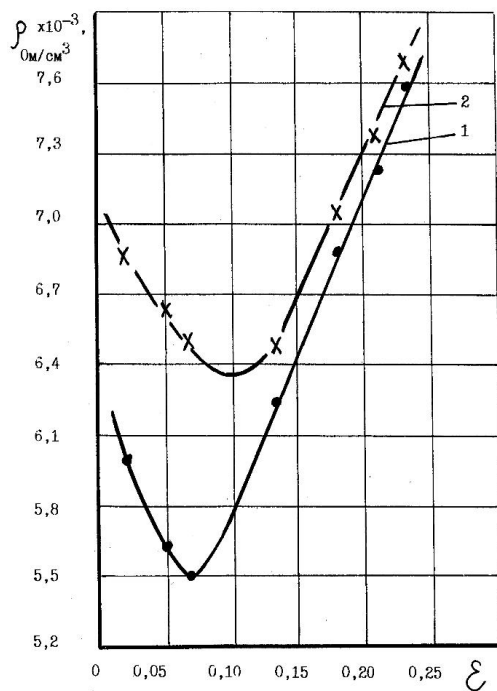


Рис. 2. Изменение удельного электрического сопротивления металла при осадке цилиндров из калиброванной стали 20:

1 – время старения 1 сут; 2 – время старения 14 сут

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие обобщения:

Экстремальное изменение твердости соответствует всему деформированному объему в осажённых стальных цилиндрах. Однако наиболее интенсивный спад твердости происходит в центральной зоне цилиндров, где имеет место наибольшее разупрочнение металла в связи с проявлением эффекта Баушингера.

Получено также экстремальное изменение электрического сопротивления единичных объемов металла с минимальными значениями в диапазоне экстремальной степени деформации сжатия 0,07–0,10, которые оказываются близкими к значениям по твердости (см. рис. 1).

При увеличении времени старения металла от 1 до 14 сут уменьшается удельное электрическое сопротивление деформированного металла, что объясняется переходом атомов углерода и азота из равномерного распределения в твердом растворе к скоплениям на дислокациях.

В целом можно отметить наибольшую эффективность, доступность и простоту метода удельного электрического сопротивления, когда не требуется трудоемкое изготовление шлифов и многократное измерение твердости. Благодаря высокой точности контроля появляется возможность достоверной оценки структурного состояния металла, его упрочнения и изменения разупрочняющего эффекта на технологических операциях осадки и высадки цилиндрических заготовок. Поэтому можно рекомендовать данный метод при проведении металлофизических исследований в процессах холодной деформационной обработки металла с изменением знака пластической деформации.

#### Список литературы

1. Герасимов В.Я. О циклах разупрочнения металла при осадке цилиндров // Изв. вузов. Черная металлургия. 1983. № 2. С.51–54.
2. Владимиров Ю.В., Герасимов В.Я. Технологические основы холодной высадки стержневых крепежных изделий. М.: Машиностроение, 1984. 120 с.
3. Герасимов В.Я. Исследование эффекта Баушингера при знакопеременной пластической деформации калиброванной стали // Изв. АН СССР. Металлы. 1980. № 4. С.171–173.

#### Bibliography

1. Gerasimov V.Y. On metal annealing cycles during setting of cylinders // Izv.vusov. Iron industry.1983. № 2. P.51–54.
2. Vladimirov Y.V., Gerasimov V.Y. Technological principles of cold heading of rod-shaped fastening ware. – M.: Machine building, 1984. 120 p.
3. Gerasimov V.Y. Study of Bauschinger effect during reversed plastic deformation of standardised steel // Izv. Academy of Sciences of USSR Metals. 1980. № 4. P.171–173.

УДК 621.777

Горохов Ю.В., Осипов В.В., Солопко И.В., Катрюк В.П.

## РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРЕССОВАНИИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ КОНФОРМ

Определен характер распределения температуры прессуемого металла в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом Конформ путем решения методом вариационного исчисления уравнений стационарной теплопроводности, учитывающих тепловыделение и конвекцию тепла в процессе пластической деформации.

**Ключевые слова:** непрерывное прессование, совмещенные процессы, метод конформ, контейнер, инструмент, металл, температурное поле, теплопроводность, распределение температуры, деформационная зона

Character of distribution of temperature of the pressed is defined threw in a deformation zone at continuous pressing of Conform by the way by the decision a method of calculus of variations of the equations of the stationary heat conductivity considering a thermal emission and a convection of heat in the course of plastic deformation.

**Key words:** continuous extrusion, concurrent processes, method conform, container, tool, metal, temperature field, heat conductivity, temperature distribution, deformation zone.