

УДК 621.735.32

Хван Д. В.
Крук А. Т.
Панин П. М.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОСАДКИ КОЛЕЦ

В инструментальной промышленности придается большое значение разработкам инновационных технологий для повышения стойкости мерительных и режущих инструментов. При этом получили хорошее экспериментальное обоснование технологии термомеханической обработки (ТМО) и ее разновидности предварительная ТМО (ПТМО) [1–4], подтверждающие их достаточную эффективность. В связи с этим нами рассматривается технология ПТМО применительно к инструментам в форме кольца: плашки, резьбонакатные ролики, дорны и др.

С целью оптимизации технологии ПТМО необходимо в операции пластической обработки заготовок указанных инструментов правильно оценивать напряженно-деформированное состояние (НДС). В работах [5–6] отмечено, что в осаживаемых кольцевых заготовках реализуется неоднородное НДС, основанное на предположении о том, что внутренний и наружный радиусы заготовки соответственно уменьшается и увеличивается. В связи с этим процесс осадки колец является немонотонным. Данное обстоятельство значительно усложняет теорию осадки колец, что может быть неадекватным реальному процессу.

Целью работы является представление опытных данных по пластической осадке кольцевых заготовок, свидетельствующие о необоснованности принятой в указанных работах рабочей гипотезы.

Эксперименты выполнены нами на заготовках из стали 20 с размерами $R_0 \times r_0 \times H_0$ мм (наружный \times внутренний радиус \times высота заготовки). Из указанных размеров в опытной партии изменяли только радиус – r_0 :

$$R_0 = 20 \text{ мм}, H_0 = 40 \text{ мм}, r_0 = 4; 5; 6; 8 \text{ мм}; \alpha = r_0 / R_0 = 0,2; 0,25; 0,30; 0,40.$$

Осадка заготовки производилась на гидропрессе ГМС-250 ступенями (с шагом $\Delta \varepsilon \sim 0,1$ до $\varepsilon = 0,5$), изменяя при этом прокладки из фторопластовой пленки толщиной $\sim 0,1$ мм на торцах заготовок с целью устранения бочкообразования.

На рис. 1–2 представлены графики изменения приращений координат $\Delta \rho_i = \rho_i - r_i$ точек (с исходным (r_i) и текущим (ρ_i) радиусами) поперечного сечения заготовки в зависимости от относительной деформации ε . Здесь: 1 – $r_1 = r_0 = 4$ мм (•); 2 – $r_2 = 10,4$ мм (Δ); 3 – $r_3 = R_0 = 20$ мм (\times).

Как видим, текущие радиусы ρ_i всех указанных точек монотонно увеличиваются, что и доказывает необоснованность принятых в [5, 6] предположений.

На этом рисунке представлены также расчетные данные (сплошная линия), определенные по полученной из условия пластической несжимаемости материала [7] формуле:

$$\rho_i = r_i \sqrt{1/(1-\varepsilon)}. \quad (1)$$

Из сопоставления расчетных и опытных данных следует, что отклонение их относительно друг друга находится в пределах $\sim 10\%$, и тем самым можно считать соотношение (1) достаточно приемлемым для оценки деформированного состояния в кольцевой заготовке при ее осадке.

Аналогичные результаты получены и для образцов с другими значениями внутреннего радиуса заготовки r_0 .

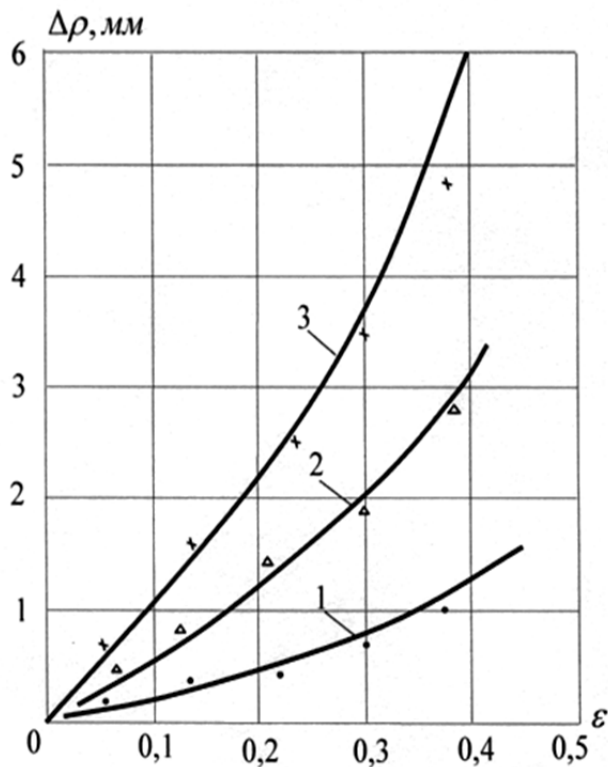


Рис. 1. График изменения $\Delta\rho$, $\alpha = 0,20$

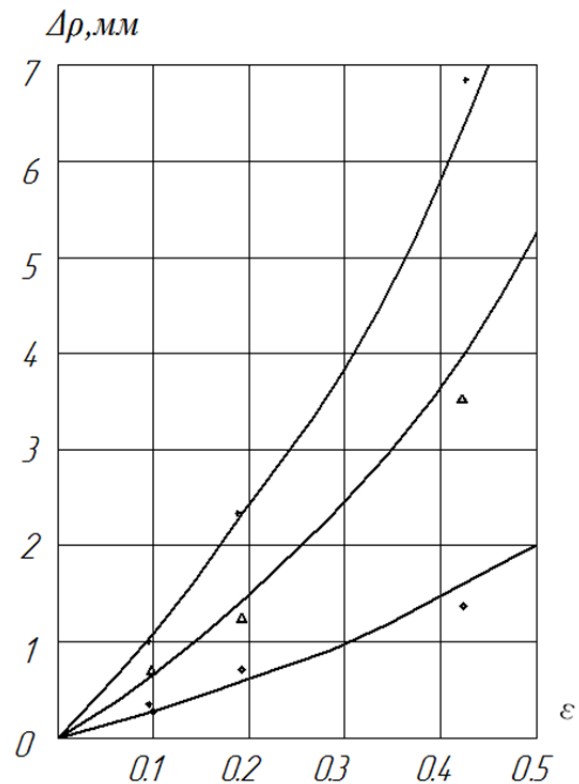


Рис. 2. График изменения $\Delta\rho$, $\alpha = 0,25$

Для иллюстрации на рис. 3 представлена фотография заготовок ($\alpha = 0,4$), осажённых до различных степеней относительной деформации ε : 1 – 0; 2 – 0,15; 3 – 0,30; 4 – 0,45.

Таким образом представленные опытные данные позволяют заключить о монотонности процесса пластического деформирования при осадке колец, и в связи с этим можно использовать при оценке НДС деформационную теорию пластичности или теорию течения [7].



Рис. 3. Фотография осажённых колец с $r_0 = 8$ мм, $\alpha = 0,40$:
1 – $\varepsilon = 0$; 2 – $\varepsilon = 0,15$; 3 – $\varepsilon = 0,3$; 4 – $\varepsilon = 0,4$

В работе [8] дается экспериментальное обоснование возможности определения интенсивностей напряжений σ_i и деформаций e_i по распределению твердости HV в деталях. При этом используется тарировочный график « $\sigma_i - HV - e_i$ », построенный по данным испытаний цилиндрических образцов на сжатие или растяжение. В указанной работе на основе полученных опытных данных делается вывод о независимости этого тарировочного графика от вида напряженного состояния.

В связи с этим нами были выполнены исследования по определению твердости в пластически осажённой заготовке. При этом твердость измеряется на твердомере по Викерсу с нагрузкой 300 Н. На основе анализа полученных результатов измерения твердости в деформированной заготовке можно сделать приближенный вывод о постоянстве твердости металла по всему поперечному сечению кольца, а, следовательно, и независимости интенсивностей напряжений и деформаций от координаты ρ_i , характеризующей положение точек в поперечном сечении заготовки. А согласно деформационной теории пластичности [5] можно считать, что и напряженное состояние будет линейным и однородным в осаживаемой кольцевой заготовке. Поэтому процесс осадки колец можно также считать монотонным.

С целью дополнительного обоснования полученных нами результатов был построен тарировочный график « $\sigma_i - HV - e_i$ » (рис. 4) по данным испытаний на сжатие цилиндрических заготовок размером $\varnothing 20 \times 30$ мм, выполненных в соответствии с рассмотренной в [8] методики. На этом рисунке точками отмечены данные, полученные по результатам пластической осадки кольцевой заготовки с $r_0 = 4$ мм.

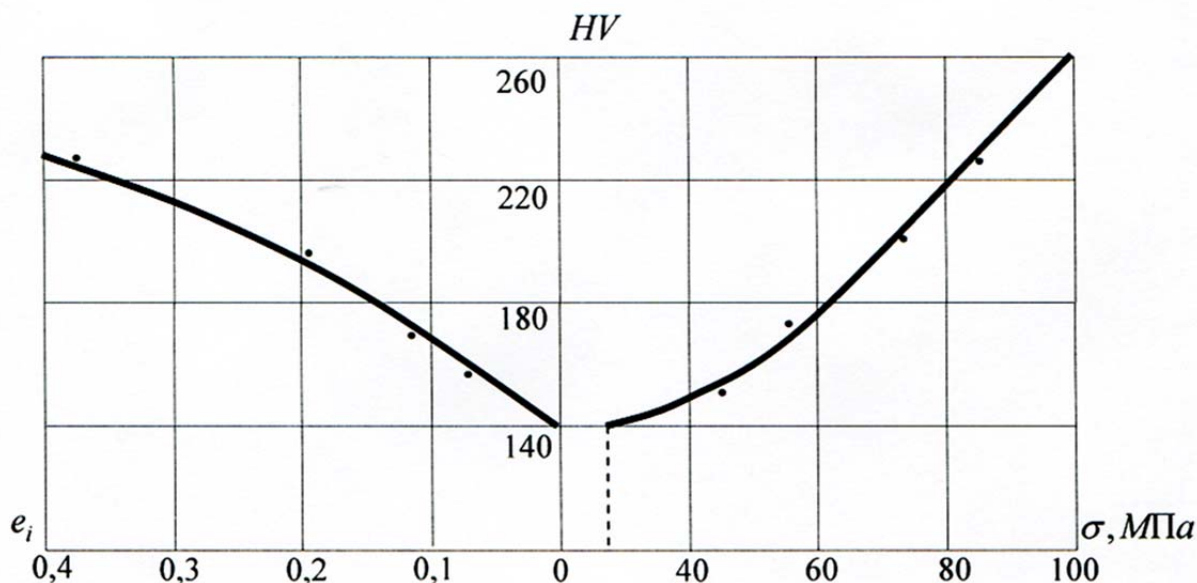


Рис. 4. Тарировочные графики

Из этого рисунка следует, что полученные испытанием двух видов образцов (цилиндрические без отверстия – сплошная линия) опытные данные с отклонением $\sim 5\%$ совпадают между собой, и тем самым еще раз свидетельствуют о правильности сделанных нами выше выводов.

Однако, в случае существенного изменения твердости в заготовке можно НДС в последней определять согласно изложенной в работе [8] методике. В связи с этим ниже представлены следующие полученные на основе деформационной теории пластичности соотношения для расчета компонентов деформаций и напряжений в цилиндрической системе координат z, ρ, φ :

$$\left. \begin{aligned} e_{\varphi} &= \frac{-e_z + \sqrt{3}\sqrt{e_i^2 - e_z^2}}{2}; \\ e_r &= \frac{e_z - \sqrt{3}\sqrt{e_i^2 - e_z^2}}{2}; \\ \sigma_{\varphi} &= \sigma_z + \frac{\sigma_i}{3e_i} \left[-3e_z - \sqrt{3}\sqrt{e_i^2 - e_z^2} \right]; \\ \sigma_r &= \sigma_z - \frac{\sigma_i}{3e_i} \left[3e_z + \sqrt{3}\sqrt{e_i^2 - e_z^2} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Таким образом, выполненные нами исследования по осадке кольцевой заготовки позволяют значительно упростить расчет НДС в последней, и тем самым облегчить процесс оптимизации инновационных технологий ПТМО для повышения стойкости инструментов в форме кольца.

ВЫВОДЫ

Выполнено экспериментальное исследование процесса осадки заготовок кольцевой формы, свидетельствующее о монотонности данного процесса, и в связи с этим оценку НДС в заготовках можно производить на основе деформационной теории пластичности или теории течения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бернштейн М. Л. *Термомеханическая обработка металлов и сплавов. Т. 1* / М. Л. Бернштейн. – М. : Металлургия, 1968. – 596 с.
2. Токарев А. В. *Разработка процессов и определение параметров осевого инструмента на основе пластической деформации* : дис. канд. техн. наук / А. В. Токарев. – Воронеж, 2006. – 160 с.
3. Хван Д. В. *Повышение стойкости инструментов осадкой с кручением* / Д. В. Хван, А. В. Токарев, В. В. Кефели // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. – 2002. – № 11. – С. 44–46.
4. Хван Д. В. *Влияние механотермической обработки на стойкость инструментов* / Д. В. Хван, А. В. Токарев, А. В. Попов // *Известия ТулГУ*. – Тула : ТулГУ, 2004. – Выпуск 2, № 8. – С. 156–160. – (Серия «Механика твердого деформируемого тела. ОМД»).
5. Шофман Л. А. *Основы расчета процессов штамповки и прессования* / Л. А. Шофман. – М. : Машиз, 1961. – 340 с.
6. Унков Е. П. *Инженерная теория пластичности* / Е. П. Унков. – М. : Машиз, 1960. – 530 с.
7. Малинин Н. Н. *Прикладная теория пластичности и ползучести* / Н. Н. Малинин. – М. : Машиностроение, 1975. – 398 с.
8. Дель Г. Д. *Определение напряжений в пластической области по распределению твердости* / Г. Д. Дель. – М. : Машиностроение, 1971. – 197 с.

Хван Д. В. – д-р техн. наук, проф. ВГТУ;

Крук А. Т. – д-р техн. наук, проф. ВГТУ;

Панин П. М. – аспирант ВГТУ.

ВГТУ – Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия.

E-mail: tpm@vorstu.ru

Статья поступила в редакцию 06.03.2012 г.