

$$d\sigma_x F_1 + 2f_n(\sigma_S - \sigma_x)P_1 dx = 0,$$

где F_1 и P_1 — площадь и периметр поперечного сечения сектора заготовки в калибрующей зоне соответственно.

Величина напряжения волочения на выходе из калибрующей части канала волоки (при $x = L_K$) с учетом граничного условия $\bar{\sigma}_x|_{x=0} = \bar{\sigma}_K$ равна

$$\bar{\sigma}_{\text{вол}} = 1 - (1 - \bar{\sigma}_K) \exp(-\delta_K), \quad (15)$$

где $\bar{\sigma}_{\text{вол}} = \sigma_{\text{вол}}/\sigma_S$; $\delta_K = f_n(P/F)L_K$; L_K — длина калибрующей зоны, а значения δ_K для различных профилей приведены ниже:

| k | δ_K |
|-----|--------------------------|
| 1 | $2L_K/b_1 = 2L_K/h_1$ |
| 2 | $1,5L_K/b_1 = 3L_K/h_1$ |
| 3 | $1,33L_K/b_1 = 4L_K/h_1$ |
| 4 | $1,25L_K/b_1 = 5L_K/h_1$ |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, получены соотношения, позволяющие проектировать технологический процесс волочения профилей прямоугольного сечения, — формулы для расчета напряжения волочения и определения оптимальных углов или коэффициентов вытяжки, обеспечивающих наилучшие энергосиловые параметры процесса. Показано, что с ростом отклонения формы сечения профиля от квадратного величина напряжения волочения возрастает.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Перлин И.Л., Ерманок М.З.* Теория волочения. М.: Металлургия, 1971.
2. *Джонсон У., Меллор П.* Теория пластичности для инженеров. М.: Машиностроение, 1979.

УДК 621.774.372

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ КРУГЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

© 2013 г. В.Р. Каргин, Б.В. Каргин, С.Ю. Колесникова

Самарский государственный аэрокосмический университет (СГАУ) им. С.П. Королева

Приведены результаты компьютерного моделирования контактных напряжений при волочении круглых изделий в конические волоки с помощью метода конечных элементов в специализированном программном комплексе DEFORM-2D.

Ключевые слова: математическое моделирование, нормальное давление, касательное напряжение, рабочий угол волоки, коэффициент трения, коэффициент вытяжки.

The computer simulation of contact stresses in the course of round product drawing through conical draw dies has been carried out by the finite element method with the DEFORM-2D particularized bundled software.

Key words: mathematical modeling, normal pressure, shear stress, working angle of die, friction coefficient, reduction ratio.

Производительность процесса волочения круглых изделий (прутков, проволоки) во многом зависит от стойкости деформирующего инструмента. С учетом характера разрушения повышение стойкости достигается:

- определением преобладающего вида разрушения;
- выделением участков вероятного разрушения;
- оценкой причин разрушения;
- разработкой специальных мер и приемов.

Каргин В.Р. — докт. техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением СГАУ (443086, г. Самара, Московское шоссе, 34). Тел.: (846) 334-78-81. E-mail: vrkargin@mail.ru.

Каргин Б.В. — канд. техн. наук, доцент той же кафедры. E-mail: bkargin@mail.ru.

Колесникова С.Ю. — магистрант той же кафедры. E-mail: lana-kolesnikova@mail.ru.

При волочении круглых изделий преобладающим видом разрушения инструмента является кольцевой износ, который появляется в месте входа заготовки в рабочую зону волокна и имеет вид ступеньки, искажающей первоначальную геометрию канала и резко ухудшающей условия смазки [1–3]. По данным работы [4] участок кольцевого износа составляет 8–10 % поверхности рабочей зоны. Основной причиной этого вида разрушения является большой градиент контактных напряжений в окрестности входа заготовки в рабочую зону [1–4].

Экспериментальные и теоретические исследования, посвященные распределению напряжений вдоль контактной поверхности при волочении круглых изделий [2, 5, 6], показали, что на эпюрах распределения нормальных давлений имеются 2 максимума: вблизи входа в очаг деформации и при переходе в калибрующую часть волокна. В центре эпюр отмечено некоторое снижение давлений. Существование седловин на эпюрах нормальных контактных напряжений впервые было обнаружено при волочении стальных прутков автором [6].

Практический интерес представляет дальнейшее изучение распределения не только нормальных, но и касательных напряжений на контактной поверхности при волочении круглых изделий с целью оценки их влияния на инструмент в зависимости от основных параметров процесса и геометрии волокна.

В настоящей работе проведено компьютерное моделирование процесса волочения круглого изделия с помощью метода конечных элементов (МКЭ) в специализированном программном комплексе DEFORM-2D [7].

Числовой расчет волочения заготовки $\varnothing 22$ мм из алюминиевого сплава системы Al–Mg–Mn со скоростью 1 мм/с в конические волокна из стали У8 проводили при углах входной зоны 36° , выходной — 60° и размере калибрующего пояса 5 мм (рис. 1). При этом варьировали следующие параметры: угол

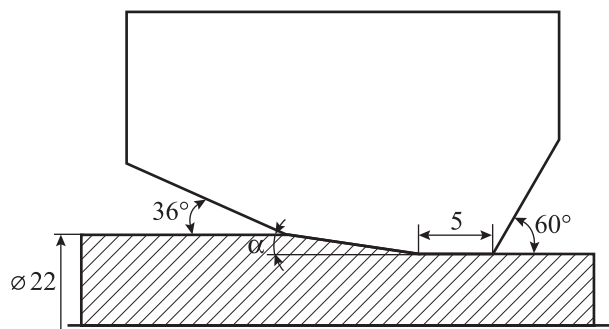


Рис. 1. Геометрия волокна

обжимной зоны ($\alpha = 6^\circ, 9^\circ, 12^\circ$ и 15°), коэффициент трения ($\mu = 0,06, 0,09, 0,12$ и $0,15$) и коэффициент вытяжки ($\lambda = 1,05, 1,15, 1,2$ и $1,35$).

Для описания материала изделия принята модель упрочняющейся упругопластической среды. Механические свойства сплава заданы значениями модуля упругости $E = 70$ ГПа, коэффициента Пуассона $\nu = 0,33$ и предела текучести в зависимости от накопленной интенсивности пластических деформаций. Геометрическая модель соответствует условиям осесимметричного нагружения. На поверхности контакта заготовки с волоком действуют касательные напряжения, определяемые по закону Кулона.

Решение задачи методом конечных элементов на этапе установившегося процесса позволило полу-

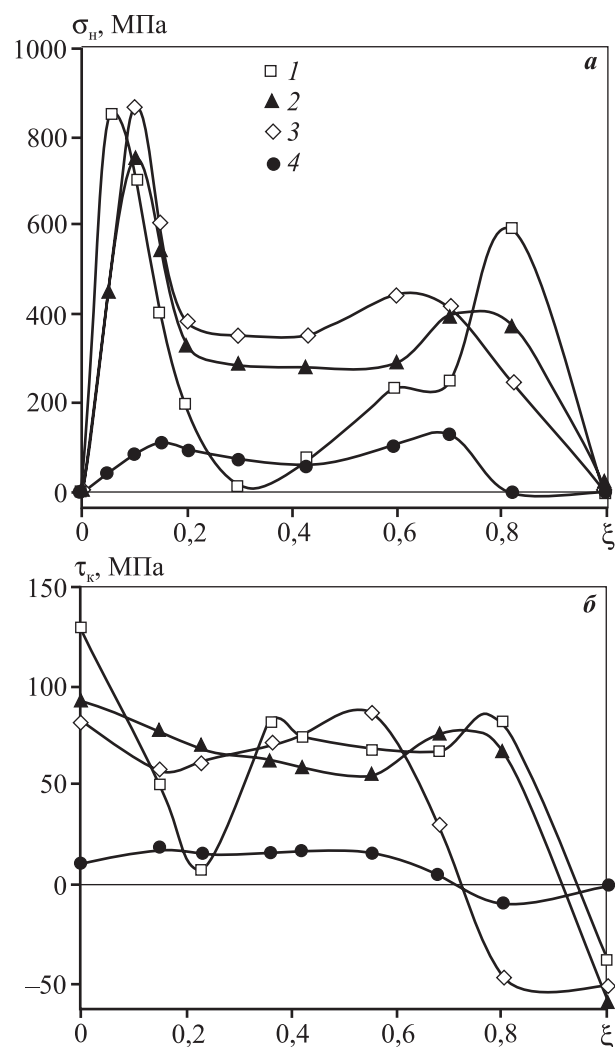


Рис. 2. Эпюры распределения нормального давления (а) и касательного напряжения (б) на границе заготовка–волокна в зависимости от рабочего угла волокна $\alpha = 6^\circ$ (1), 9° (2), 12° (3) и 15° (4); $\mu = 0,12$; $\lambda = 1,2$

чить распределение нормальных (σ_n) и касательных (τ_k) напряжений в зоне контакта заготовка—волокна в зависимости от угла обжимной зоны (α), коэффициента вытяжки (λ) и коэффициента трения (μ); ξ — безразмерный параметр, характеризующий протяженность обжимной зоны (рис. 2—4).

Результаты расчетов при компьютерном моделировании показали, что распределение нормальных и касательных напряжений по длине обжимной зоны крайне неравномерное. Подтверждается наличие двух экстремумов σ_n в местах начала деформации в обжимной зоне волокна и при ее переходе в калибрующий пояс. На этих участках резко меняется направление линий течения металла заготовки, возрастает угол их поворота, что и приводит к скачкообразному повышению нормального давления

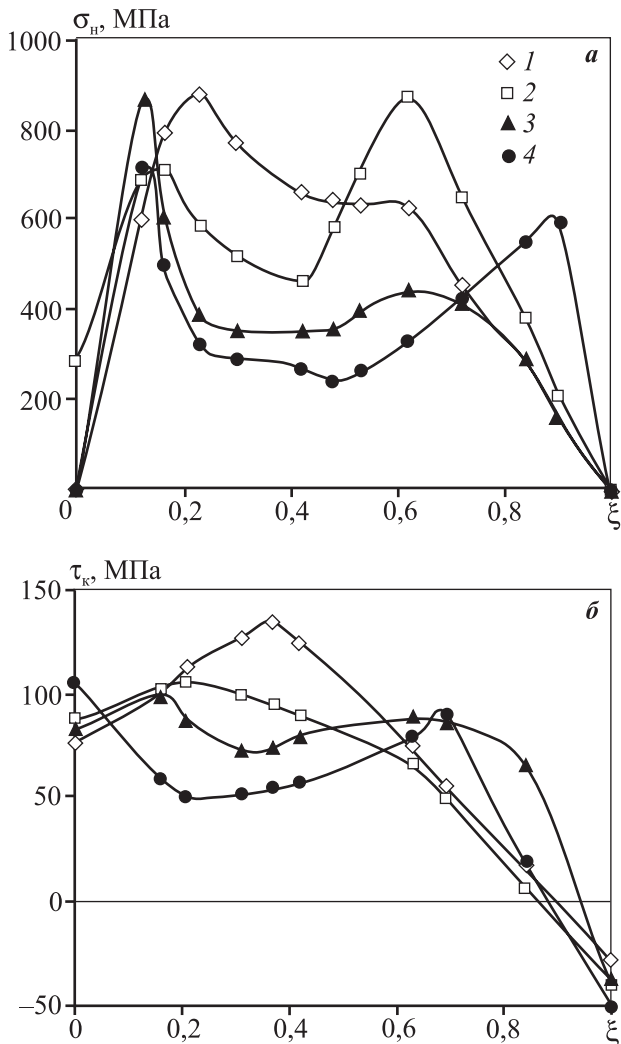


Рис. 3. Эпюры распределения нормального давления (*a*) и касательного напряжения (*б*) на границе заготовка—волокна в зависимости от коэффициента вытяжки $\lambda = 1,05$ (1), 1,15 (2), 1,20 (3) и 1,35 (4); $\alpha = 12^\circ$, $\mu = 0,12$

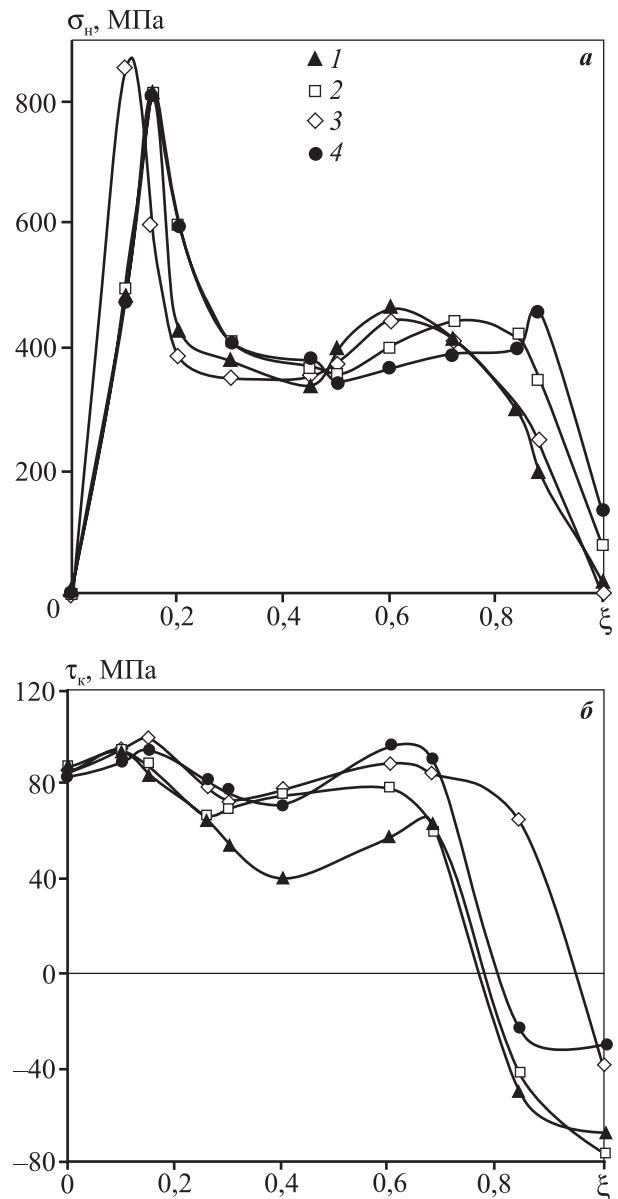


Рис. 4. Эпюры распределения нормального давления (*a*) и касательного напряжения (*б*) на границе заготовка—волокна в зависимости от коэффициента трения $\mu = 0,06$ (1), 0,09 (2), 0,12 (3) и 0,15 (4); $\alpha = 12^\circ$, $\lambda = 1,2$

протягиваемого металла на рабочую поверхность волокна.

Положение области максимальных значений нормальных давлений (σ_n) и величина седловин на эпюрах зависят в большей степени от коэффициента вытяжки и угла обжимной зоны волокна и в меньшей — от коэффициента трения.

Как видно из рис. 2, при уменьшении угла α максимумы эпюры распределения нормальных давлений сдвигаются влево ко входу заготовки в канал

волокни и вправо к калибрующему пояску. При росте угла α нормальное давление снижается, и особенно интенсивно при $\alpha = 15^\circ$.

Данные рис. 3 показывают, что максимум нормального давления на входе в обжимную зону волокни наблюдается при $\lambda = 1,05$, а на выходе из обжимной зоны — при $\lambda = 1,15$. Чем больше коэффициент вытяжки, тем меньше в среднем давление металла заготовки на волоку. В связи с этим канал волоки подвергается износу в большей степени при малых значениях λ .

Из рис. 4 следует, что коэффициент трения (μ) не оказывает существенного влияния на распределение σ_n и τ_k . Касательные напряжения, обусловленные трением металла заготовки о поверхность инструмента, в среднем убывают с увеличением угла обжимной зоны, коэффициентов вытяжки и трения (см. рис. 2—4). На выходе из обжимной зоны волоки они меняют направления действия, что приводит к дополнительным нагрузкам канала волоки. Чем больше угол α , тем равномернее распределение τ_k по длине обжимной зоны. При $\lambda = 1,05$ наибольшие значения τ_k зафиксированы в середине обжимной зоны, при других коэффициентах вытяжки они максимальны на входе и выходе из обжимной зоны.

При разрезе волоки после эксплуатации вдоль образующей (рис. 5) отчетливо видны кольца износа на входе и выходе из обжимной зоны. Глубина выходного кольца износа меньше входного в 2 раза. Их расположение совпадает с экстремумами нормальных давлений в канале волоки, полученными в процессе моделирования (на рис. 6 представлены в виде линий равного уровня).

На основании изложенных данных для повышения стойкости волок рекомендуется локальное

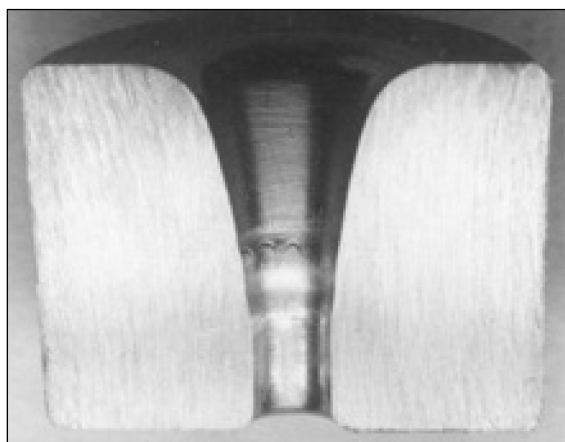


Рис. 5. Внешний вид канала изношенной волоки



Рис. 6. Линии равного уровня распределения нормального давления в рабочем канале волоки

упрочнение кольцевых зон на входе и выходе из обжимной зоны инструмента, например с помощью лазерной обработки или азотирования.

ВЫВОДЫ

1. Характер распределения напряжений в зоне контакта заготовка—волока отличается значительной неравномерностью, что связано с резким изменением траектории течения металла при волочении.
2. Расположение зон максимальных значений контактных напряжений зависит от угла обжимной зоны волоки и коэффициента вытяжки, тогда как коэффициент трения не оказывает особого влияния на данные параметры.
3. Экспериментально подтверждено наличие не одного, а двух колец износа в канале волоки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971.
2. Леванов А.Н., Колмогоров В.Л., Буркин С.П. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1976.
3. Чертавских А.К., Белосевич В.К. Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1958.
4. Грошев П.Ф. // Цвет. металлы. 1961. № 3. С. 71.
5. Шукин С.В., Рыбин Ю.И. // Изв. вузов. Чер. металлургия. 1993. № 6. С. 31.
6. Pawelski O. // Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1967. № 12. S. 899.
7. Каргин В.Р., Быков А.П., Каргин Б.В., Ерисов Я.А. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе DEFORM-2D. Самара: Изд-во «Мир», 2011.