

6. Технология процессов прокатки и волочения. Листопрокатное производство: Учебник / М.М.Сафьян, В.Л. Мазур, А.М. Сафьян и др. Киев: Вища шк., 1988. 351 с.
7. Сеницын В.Г. Несимметричная прокатка полос и лент. М.: Металлургия. 1984. 249 с.

УДК 621.778

А.Д. Носов, А.Г. Корчунов, В.В. Андреев, В.Н. Лебедев, В.Е. Семенов, Е.А. Слабожанкин

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВОЛОЧЕНИЯ КАЛИБРОВАННОЙ СТАЛИ\*

Калиброванная сталь является одним из наиболее рентабельных и высоколиквидных видов продукции отечественной металлургической отрасли. ОАО «ММК-МЕТИЗ» входит в число ведущих производителей качественной калиброванной стали и постоянно наращивает свое присутствие на рынке за счет расширения марочного сортамента и повышения эксплуатационных свойств готовой продукции. Производство калиброванного металла в условиях завода характеризуется широким диапазоном типоразмеров, получаемого из подката с различным структурным состоянием и механических свойств. Характерной особенностью при этом является применение малых от 5 до 20% степеней деформации при обработке крупных диаметров исходного подката. В реальных условиях это приводит к неравномерности течения поверхностных и центральных слоёв металла в очаге деформации, что определяет особенности распределения деформаций и напряжений по сечению калиброванной стали. Возможности управления характером течения металла в процессе волочения весьма ограничены и трудно реализуемы на практике. Один из резервов повышения качества калиброванной стали заключается в изучении напряженного состояния в очаге деформации.

В настоящей работе приводятся результаты моделирования режимов волочения калиброванной стали на основе анализа напряженного состояния в очаге деформации методом линий скольжения. Современная вычислительная техника и программные процедуры открывают новые возможности

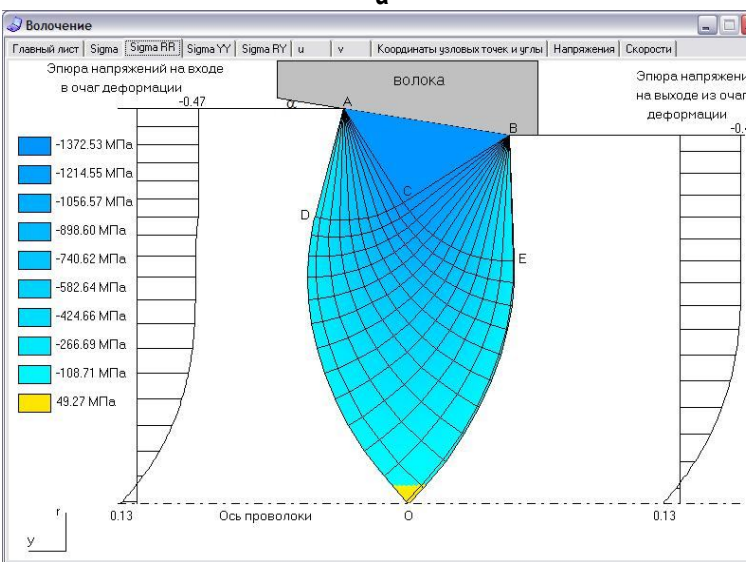
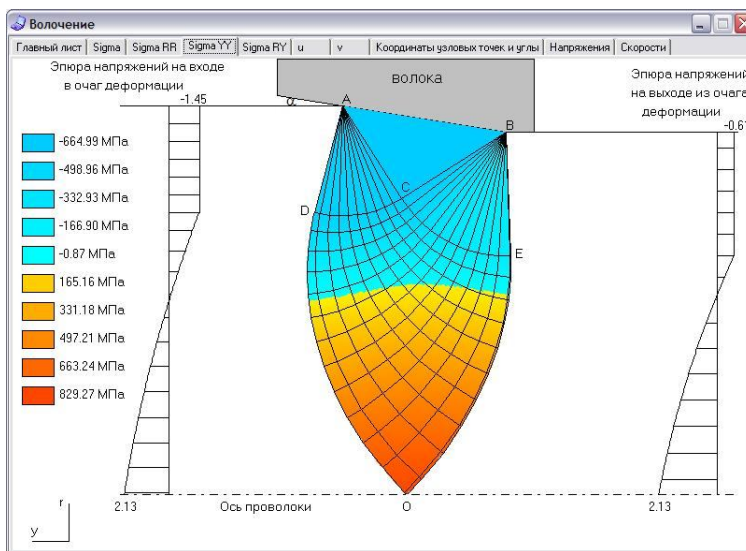


Рис. 1. Визуализация полей напряжений в очаге деформации: а – поле продольных напряжений  $\sigma_{yy}$ ; б – поле радиальных напряжений  $\sigma_{rr}$  (при  $\varepsilon=12\%$ , полуугол волоки –  $6^\circ$ ,  $f=0,06$ )

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

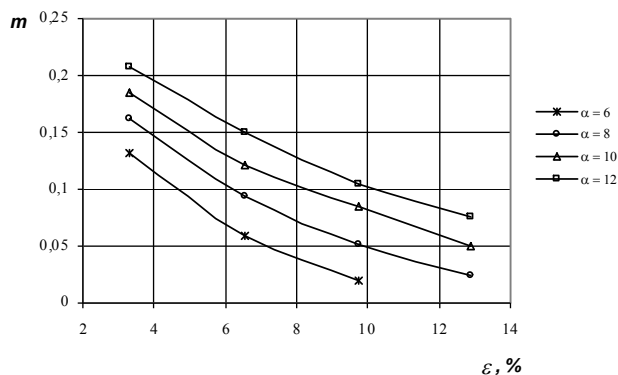


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $m$  от степени деформации и полуугла канала волокна

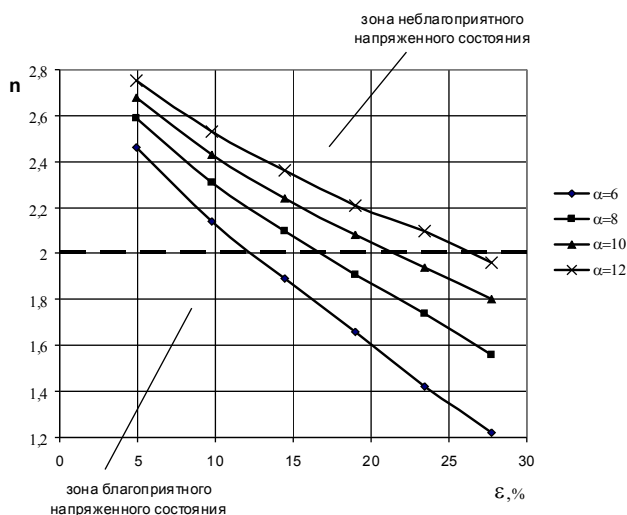


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $n$  от степени деформации и полуугла канала волокна

в моделировании и изучении напряженного состояния методом линий скольжения. Большой объём графических построений и математических операций, необходимый при расчете, может быть быстро выполнен с использованием специально разработанных компьютерных программ.

Исследование режимов волочения калиброванной стали в монолитной волоке осуществлялось с учетом общепринятых допущений на основании способа решения осесимметричных задач теории пластичности, предложенного Г. Генки и развитого отечественными учеными Л.М. Качановым, Г.Э. Аркулисом, Х.И. Копыловским [1].

Для автоматизации вычислений, построения и визуализации полей напряжений в очаге деформации при волочении было разработано программное обеспечение «Автоматизированный расчет напряженного состояния методом линий скольжения при волочении» [2].

Программный продукт позволяет оперативно моделировать и оценивать уровень напряженного

состояния при волочении в зависимости от технологических факторов обработки: степени деформации, механических свойств металла, параметров волочильного инструмента, условий трения, а также показывать визуальную картину распределения напряжений в очаге деформации (рис. 1).

Путем вычислительных экспериментов с использованием программы было установлено количественное влияние технологических факторов волочения в области применяемых на практике их вариаций, на вероятность возникновения неблагоприятного напряженного состояния с преобладанием напряжений растяжения в очаге деформации.

Такое напряженное состояние в зависимости от механических свойств материала, его структуры, степени деформации при волочении и параметров рабочего инструмента может привести к снижению сопротивления металла к разрушению, понижению твердости во внутренней области изделия и явлению «разрыхления» [3]. Это может отрицательно сказаться на стабильности процесса дальнейшей переработки калиброванной стали и качестве получаемой из нее продукции.

Для прогноза вероятности возникновения неблагоприятного напряженного состояния при волочении программный продукт предусматривает расчет коэффициентов, оценивающих рациональность назначаемых режимов обработки.

Коэффициент  $m$  характеризует протяженность зоны напряженного состояния всестороннего растяжения в радиальном направлении:

$$m = \frac{r_p}{R_0},$$

где  $r_p$  – текущий радиус калиброванной стали в очаге деформации, до которого действуют радиальные растягивающие напряжения;  $R_0$  – начальный радиус подката до волочения.

Было установлено, что с уменьшением степени деформации и увеличением угла конической волоки коэффициент  $m$  увеличивается (рис. 2), а напряженное состояние продукта волочения становится неблагоприятным для последующей обработки.

Коэффициент  $n$  характеризует отношение максимального растягивающего напряжения на оси калиброванной стали к величине константы пластичности материала:

$$n = \frac{\sigma_{1\max}}{k},$$

где  $\sigma_{1\max}$  – максимальное растягивающее напряжение в очаге деформации;  $k$  – константа пластичности материала.

Условием вероятности возникновения неблагоприятного напряженного состояния при волочении являются значения  $m > 0$  и  $n > 2$  (рис. 3).

Результаты моделирования использованы для

анализа действующих и проектирования рациональных режимов волочения калиброванной стали в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ».

**Библиографический список**

1. Аркулис Г.Э. О распределении напряжений в очаге деформации при волочении круглых прутков// Изв. вузов. Черная металлургия. 1969. № 3.
2. Автоматизированный расчет напряженного состояния методом линий скольжения при волочении: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006614009 от 22.11.2006.
3. Аркулис Г.Э., Копыловский Х.И. Влияние условий волочения на образование трещин в проволоке // Сталь. 1970. № 3.