

УДК539.37

М. С. Шалаева

УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

shalaevams@mail.ru

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Ю.Н. Логинов*

СООТНОШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ БЕЗОПРАВОЧНОМ ВОЛОЧЕНИИ КАПИЛЛЯРНЫХ ТРУБ

АННОТАЦИЯ

При безоправочном волочении медной толстостенной трубы методом конечных элементов определены радиальные и тангенциальные напряжения. В очаге деформации по сечению заготовки рассчитаны соотношения между этими напряжениями.

Ключевые слова: деформация, волочение, капиллярные трубы, тензор напряжений

ABSTRACT

The FEM calculations of radial and angle stresses were performed for sink drawing of copper tube with thick wall. The stress proportion was calculated for cross section tube through deformation zone.

Keywords: deformation, drawing, capillary tube, stress tensor

При производстве капиллярных труб из меди становится важным изучение всех параметров, которые оказывают влияние на качество продукции: текстура и структура металла [1], шероховатость поверхности [2], а также напряженно-деформированное состояние. Целью данной работы является определение соотношений компонент тензора напряжений при безоправочном волочении. Эти соотношения наравне с условиями термической обработки влияют, в том числе и на создание определенного текстурного состояния в меди [3; 4]. Дополнительное влияние может оказывать форма инструмента [5] и скорость обработки [6].

Моделирование осуществляли с помощью метода конечных элементов, реализованного в инженерном программном комплексе DEFORM. Деформируемая среда: медь марки М2, свойства которой описаны соответствующей кривой упрочнения. Принято, что заготовка не нагартована, распределение свойств по сечению однородно. модуль упругости заготовки назначен равным 125 ГПа. Заданы скорость волочения в 100 мм/с и показатель трения по Кулону – 0,08.

Волочению без оправки подвергается заготовка наружным диаметром $D_3 = 5,92$ мм и толщиной стенки $S_3 = 0,91$ мм. Диаметр волокна равен 4,90 мм.

В результате моделирования наружный диаметр протянутой трубы D_m составил 4,78 мм, толщина стенки $S_m = 0,89$ мм. За проход отношение диаметра D/S к толщине стенки изменяется с 1,44 до 1,59, т.е. заготовка становится более толстостенной. Коэффициент вытяжки λ равен 1,32 ($\varepsilon = \ln\lambda = 0,28$).

На рис. 1 представлена конфигурация очага деформации и результаты расчетов в виде областей равного уровня тангенциальных $\sigma_{\varphi\varphi}$ напряжений в цилиндрической системе координат $r\varphi z$, аналогичные расчеты сделаны для радиальных напряжений. В сечениях I , II и III по толщине заготовки выделили три точки: на наружной и внутренней поверхности трубы, а также посередине толщины стенки. Значения напряжений в точках 1, 2, 3 в сечениях I , II и III сведены в табл. 1. Полученные результаты свидетельствует о том, что наибольшие напряжения сосредоточены на наружной поверхности трубы.

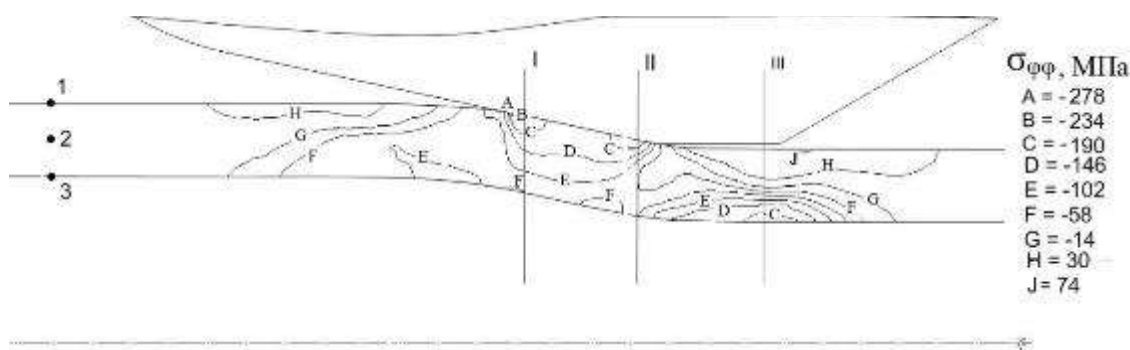


Рис. 1. Распределение компоненты тензора напряжений $\sigma_{\varphi\varphi}$ в очаге деформации при безоправочном волочении медной заготовки

Максимальные радиальные напряжения наблюдаются при входе трубы в волоку, а также при переходе к калибрующему пояску волоки (сечение I и II). Причем значения отрицательны, т. е. напряжения являются сжимающими. На выходе из волоки и на ее конусной части они приближаются к нулевой отметке.

Максимальные тангенциальные напряжения сжатия базируются на входе трубы в волоку и возле калибрующего пояску волоки. Значения остаются высокими и вдоль наклонной части инструмента. После того, как труба покидает волоку, на внутренней поверхности металла также возникают высокие сжимающие напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$, а на наружной поверхности, напротив, преобладают растягивающие тангенциальные напряжения.

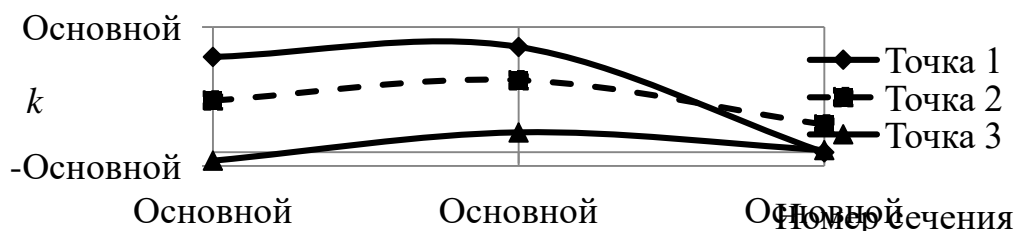


Рис. 2. Изменение коэффициента k для точек 1-3 в сечениях I , II и III

Аналогично [7] введем понятие коэффициента радиально-тангенциального напряжения $k = \sigma_{rr}/\sigma_{\varphi\varphi}$, его рассчитанные значения приведены в табл. 1 для трех точек в трех сечениях. Во всех случаях $k < 1$ (рис. 2), однако имеет место тенденция к росту при переходе от конической части инструмента к калибрующему пояску волокни.

Таблица 1

Результаты расчета напряжений σ_{rr} и $\sigma_{\varphi\varphi}$

Номер сечения	Точка 1			Точка 2			Точка 3		
	σ_{rr}	$\sigma_{\varphi\varphi}$	k	σ_{rr}	$\sigma_{\varphi\varphi}$	k	σ_{rr}	$\sigma_{\varphi\varphi}$	k
1	-144	-210	0,69	-41	-110	0,37	3	-50	-0,06
2	-144	-190	0,76	-53	-102	0,52	-8	-56	0,14
3	0	63	0	-10	-50	0,20	-3	-190	0,02

На входе в волоку значения k для наружной поверхности и середины трубы принимают положительные значения, для внутреннего контура – отрицательные. При приближении к калибрующему пояску параметр во всех трех точках становится положительным. На выходе из волокни коэффициент для наружного и внутреннего контуров также положителен и стремятся к нулю, что говорит о близком значении напряжений в рассматриваемых точках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логинов Ю. Н., Демаков С. Л., Илларионов А. Г., Иванова М. А., Шалаева М. С. Сравнение структур теплотехнической меди в высоконагартованном и рекристаллизованном состояниях. Цветные металлы. 2013. № 8. С. 92–96.
2. Логинов Ю. Н., Шалаева М. С. Эволюция микронеровностей внутренней поверхности медных труб при волочении // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014. № 3. С. 39–44.
3. Логинов Ю. Н., Демаков С. Л., Илларионов А. Г., Карабаналов М. С. Расчет деформаций и экспериментальное исследование текстуры в нагартованной медной проволоке. Деформация и разрушение материалов. 2011. № 5. С. 38–44.
4. Демаков С. Л., Логинов Ю. Н., Илларионов А. Г., Иванова М. А., Карабаналов М. С. Влияние температуры отжига на текстуру в медной проволоке. Физика металлов и металлургия. 2012. Т. 113. № 7. С. 720–726.
5. Логинов Ю. Н. Влияние угла рабочей зоны волокни на напряженное состояние в очаге деформации при волочении меди. Цветные металлы. 2010. № 3. С. 94–97.
6. Логинов Ю. Н., Демаков С. Л., Илларионов А. Г., Попов А. А. Влияние скорости деформации на свойства электротехнической меди. Металлы. 2011. № 2. С. 31–39.
7. Логинов Ю. Н., Шалаева М. С., Овчинников А. С. Исследование соотношения деформаций при волочении толстостенных и тонкостенных медных труб. Производство проката. 2011. № 7. С. 31–35.