

Ю. Н. Логинов, М. С. Шалаева
УрФУ им. первого Президента Б.Н. Ельцина,
ОАО «Ревдинский завод ОЦМ»
j.n.loginov@urfu.ru, shalaevams@mail.ru

ВЛИЯНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ СООТНОШЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ МЕДНЫХ ТРУБ

Показано влияние модуля упругости на изменение соотношений напряжений в очаге деформации при волочении медных труб на плавающей оправке. Выявлено, что существенное влияние модуль упругости оказывает на величину касательных напряжений вблизи поверхностей трения.

Ключевые слова: волочение, упругая деформация, пластическая деформация, текстура, модуль упругости.

Young's modulus influence on stress relation change during floating plug drawing is shown. It is determined Young's modulus have significant influence tangential stresses value near friction surface.

Keywords: drawing, elastic deformation, plastic deformation, texture, Young's modulus.

Последние работы, касающиеся измерения пластических и упругих констант меди под влиянием текстурирования металла, показывают, что величина модуля упругости может изменяться значительно [1], в связи с этим актуальным становится вопрос выполнения адекватных расчетов формоизменения металла. При этом для меди значимо влияние на реологические свойства как текстур литья [2–4], так и текстур деформации [5] и текстур отжига [6–9].

Большая часть решений краевых задач обработки давлением основана на предположении, что деформируемое тело обладает упруго-пластическими свойствами, т. е. правильный выбор модуля упругости материала играет значимую роль. Однако сама величина модуля упругости выбирается из справочников сопромата, где не отслеживается разница между отожженным и высокодеформированным состоянием материала, поскольку сама теория упругости основана на упругих и, в крайнем случае, малых пластических деформациях. Дополнительное влияние на упругие свойства меди оказывает наличие пористых структур, возникающих как в результате проявлений водородной болезни, так и в результате взаимодействия поля напряжений с включениями [10].

Для оценки влияния модуля упругости на изменение очага деформации при волочении с плавающей оправкой была реализована постановка задач, в которых деформируемый металл имеет разный модуль упругости.

Решение задачи осуществляли с помощью программного модуля DEFORM. При волочении деформация трубы принималась осесимметричной. Размеры исходной заготовки: наружный диаметр – 5,16 мм, толщина стенки – 0,91 мм. Размеры трубы после прохода: наружный диаметр – 3,94 мм, толщина стенки – 0,80 мм. Отношение толщины стенки к наружному диаметру – 0,26. Для упрощения задачи автоколебаниями оправки пренебрегли: оправка является неподвижной. Скорость волочения 100 мм/с. Исходя из разности полууглов конусности волокни (12°) и оправки (9°), были приняты следующие показатели трения по Кулону: между металлом и волоком $\mu_v = 0,075$, между металлом и оправкой $\mu_o = 0,025$. Длина калибрующего пояса волокни составляет 1,5 мм. Длина калибрующего пояса оправки – 1,2 мм, диаметр бочки оправки – 3,20 мм. Коэффициент вытяжки по размерам инструмента равен 1,55.

Тип заготовки – упруго-пластический. В одном случае модуль упругости заготовки составляет [11] 125 ГПа, в другом – почти вдвое меньше – 63 ГПа.

На рис. 1 приведены изображения очага деформации при разных модулях упругости. Показано, что в обоих случаях участок безоправочного волочения заключен между вертикальными линиями АА и ВВ. Линией ВВ показано сечение выхода заготовки из калибрующего пояса волокни. Толщина труб различается не более чем на (0,000–0,001) мм, что является незначительным отличием. Геометрия очагов деформации не изменилась при варьировании модуля упругости.

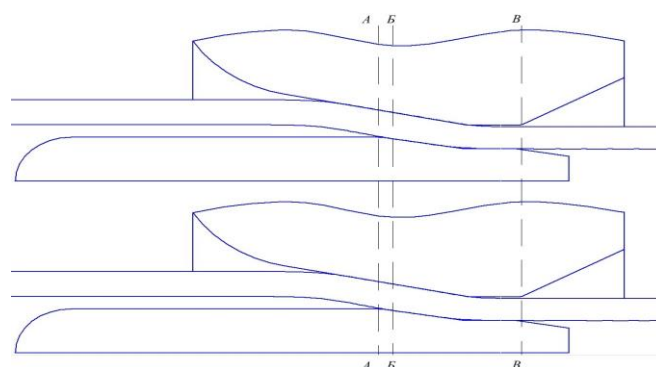


Рис. 1. Геометрия очагов деформации при модуле упругости 125 ГПа (вверху) и 63 ГПа (внизу)

Кроме того, были выполнены расчеты напряженного состояния, сделано сравнение напряжений σ_{zz} , $\sigma_{\varphi\varphi}$, σ_{rr} и σ_{rz} в двух вариантах (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчета компонент тензора напряжений при различных значениях модуля упругости

Компонента тензора напряжений	Модуль упругости, ГПа	Напряжение, ГПа	
		сжимающее	растягивающее
σ_{zz}	125	-124	239
	63	-124	242
$\sigma_{\varphi\varphi}$	125	-269	97,7
	63	-275	90,2
σ_{rr}	125	-212	27,9
	63	-225	33,8
σ_{rz}	125	-56,5	62,9
	63	-36,7	68,1

Выявлено, что при уменьшении модуля упругости вдвое сжимающие напряжения σ_{zz} не изменились, растягивающие напряжения σ_{zz} увеличились на 3 МПа, что можно считать несущественным. Напряжения $\sigma_{\varphi\varphi}$ возросли на (6–7,5) МПа, что можно считать несущественным.

Со снижением модуля упругости до 63 ГПа сжимающие напряжения σ_{rr} возросли на 13 МПа, а растягивающие напряжения σ_{rr} уменьшились на 5,9 МПа. Сжимающие напряжения σ_{rz} уменьшились на 19,8 МПа, а растягивающие напряжения σ_{rz} – на 5,2 МПа.

Распределение σ_{zz} , $\sigma_{\varphi\varphi}$, σ_{rr} и σ_{rz} по очагу деформации в двух вариантах решения идентично, за исключением напряжений σ_{rz} в области около калибрующего пояса оправки (рис. 2).

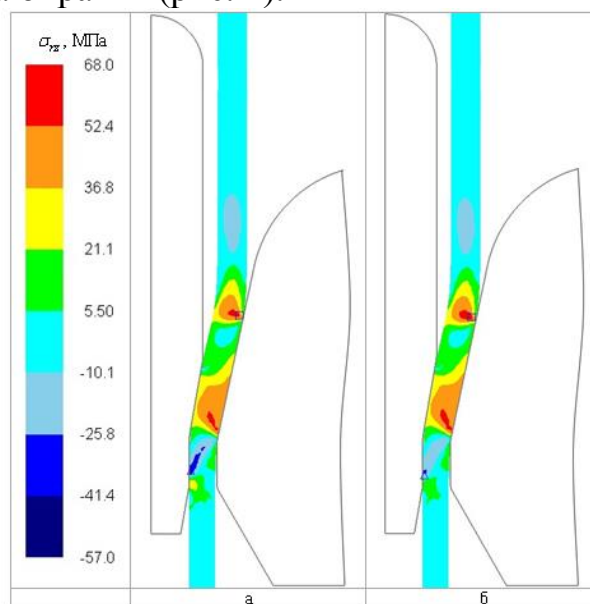


Рис. 2. Распределение σ_{rz} по очагу деформации при модуле упругости 125 ГПа (а) и 63 ГПа (б)

Таким образом, при снижении модуля упругости геометрия очагов деформации осталась прежней, упругости не изменилась, поля напряжений σ_{zz} , $\sigma_{\varphi\varphi}$ и σ_{rr} претерпели несущественное изменение, в то время как наблюдается уменьшение напряжения σ_{rz} , что можно объяснить изменением условий трения на контакте.

Список литературы

1. *Pal-Val P. P.* Unusual Young's modulus behavior in ultrafine-grained and microcrystalline copper wires caused by texture changes during processing and annealing / P. P. Pal-Val, Yu. N. Loginov, S. L. Demakov, A. G. Illarionov, V. D. Natsik, L. N. Pal-Val, A. A. Davydenko, A. P. Rybalko // *Materials Science and Engineering A*, 2014. V. 618. P. 9–15.
2. *Логинов Ю. Н.* Анизотропные свойства непрерывнолитой медной катушки электротехнического назначения / Ю. Н. Логинов, Л. А. Мальцева, Л. М. Вырлина, Т. П. Копылова // *Цветные металлы*. 2002. № 4. С. 73–77.
3. *Логинов Ю. Н.* Анизотропные характеристики непрерывнолитой кислородсодержащей меди / Ю. Н. Логинов, Р. К. Мысик, В. А. Романов // *Литейщик России*. 2008. № 3. С. 25–27.
4. *Логинов Ю. Н.* Формоизменение и сопротивление деформации анизотропной непрерывно-литой меди / Ю. Н. Логинов, А. Ю. Зуев // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2011. № 1. С. 32–37.
5. *Логинов Ю. Н.* Расчет деформаций и экспериментальное исследование текстуры в нагартованной медной проволоке / Ю. Н. Логинов, С. Л. Демаков, А. Г. Илларионов, М. С. Карабаналов // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 5. С. 38–44.
6. *Демаков С. Л.* Рекристаллизация нагартованной меди с позиции динамического механического анализа. Заводская лаборатория / С. Л. Демаков, Ю. Н. Логинов, А. Г. Илларионов, М. А. Иванова, С. И. Степанов // *Диагностика материалов*. 2014. Т. 80, № 7. С. 36–39.
7. *Демаков С. Л.* Влияние температуры отжига на текстуру в медной проволоке / С. Л. Демаков, Ю. Н. Логинов, А. Г. Илларионов, М. А. Иванова, М. С. Карабаналов // *Физика металлов и металловедение*. 2012. Т. 113, № 7. С. 720–726.
8. *Логинов Ю. Н.* Сопоставительный анализ свойств медной проволоки после протяжного и конвейерного отжига / Ю. Н. Логинов, С. Л. Демаков, А. Г. Илларионов, С. И. Степанов, Т. П. Копылова // *Цветные металлы*. 2014. № 10. С. 88–92.
9. *Демаков С. Л., Логинов Ю. Н., Илларионов А. Г., Иванова М. А., Степанов С. И.* Способ изучения первичной рекристаллизации. Патент RU 2496103. Приоритет № 2 012107942 от 01.03.2012. МПК G01N19/00. Оpubл. 20.10.2013. Бюл. № 29.

10. *Логинов Ю. Н.* Возникновение пористых структур в кислородсодержащей меди при деформационном воздействии / Ю. Н. Логинов, С. Л. Демаков, А. Г. Илларионов, М. А. Иванова, М. С. Карабаналов // Физическая мезомеханика. 2013. Т. 16, № 6. С. 99–102.
11. *Логинов Ю. Н.* Медь и деформируемые медные сплавы / Ю. Н. Логинов // Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 136 с.