

сопряжения стенки и дна ящичного калибра  $\pm 10$  мм). Суммируя критические факторы, вариативность реального процесса, возникают локальные очаги захлаживания с одновременным возрастанием локального напряженного состояния, в сравнении с нормальным процессом проката: в клетях 1 температура – 864 °С (951 °С), напряжение – 86 МПа (81 МПа); в клетях 4–5 температура – 732 °С (848 °С), напряжение – 144 МПа (120 МПа). Для более глубокого анализа необходимо моделирование процесса проката при помощи тетраэдрических элементов сеткопостроения.

#### Литература

1. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях : учеб. пособие / С. В. Каменев ; Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 110 с.
2. Крагельский, И. В. Развитие науки о трении. Сухое трение / И. В. Крагельский, В. С. Щедров. – М. : Изд. АН СССР, 1956.
3. Popov, V. L. Kontaktmechanik und Reibung. Ein Lehr- und Anwendungsbuch von der Nanotribologie bis zur numerischen Simulation, Springer, 2009.
4. Смирнов, В. К. Калибровка прокатных валков : учеб. пособие для вузов / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инатович. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Теплотехник, 2010. – 490 с.

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВРАЩЕНИЯ ВОЛОКИ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ СТАЛИ**

**В. А. Петрусевич**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. В. Астапенко

Цель работы – исследование влияния частоты вращения волоки на напряженное состояние очага деформации при волочении стали в первом проходе стана UDZSA 2500/6 для совершенствования процесса волочения и повышения механических характеристик проволоки.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- 1) разработка базовой численной модели процесса волочения на первом переходе без использования вращающейся волоки по технологическим параметрам стана UDZSA 2500/6;
- 2) определение параметров очага деформации волочения в 1-м проходе при помощи аналитического расчета и численного моделирования;
- 3) моделирование процесса волочения в первом проходе стана UDZSA 2500/6 для определения влияния скоростного режима вращения волоки на напряженное состояние очага деформации и механические характеристики проволоки.

Объектом исследования является технологический процесс волочения проволоки-заготовки шурупного производства на стане UDZSA 2500/6 магазинного типа цеха предварительного волочения ОАО «Речицкий метизный завод».

Для совершенствования технологического процесса было предложено применить в процессе волочения вращатели волок, позволяющие добиться [1], [2]:

- повышения ресурса волок;
- снижения энергозатрат;
- улучшения механических характеристик проволоки.

На первом этапе исследований анализировалась эффективность применения вращателей 1-й и 6-й волок для стана UDZSA 2500/6 в соответствии с действующими режимами технологического процесса по следующим направлениям:

- температура контактной поверхности в очаге деформации;
- температура по сечению проволоки в очаге деформации;
- усилие волочения.

Полученные результаты исследования и их анализ позволили сделать следующие выводы [3], [4]:

- 1) применение вращения волоки позволяет обеспечить равномерный износ рабочей поверхности волоки и увеличить ресурс эксплуатации (для 1-го и 6-го переходов);
- 2) вращение волоки позволяет существенно снизить температуру контактной поверхности, при этом снижение усилия волочения незначительно (для 1-го перехода);
- 3) наибольший интерес представляет применение вращение волок с частотой 100 об/мин для снижения температуры и ее равномерного распределения по контактной поверхности (для 1-го перехода, для 6-го перехода результат достигается при частотах вращения более 3000 об/мин, что малоперспективно);
- 4) существенное снижение усилия волочения при вращении волок [2] происходит по причине лучшего захвата смазки, преодоление тангенциальных напряжений энергией вращателей не дает снижения более 5 %.

На втором этапе исследований анализировалась эффективность применения вращателей волоки 1-го прохода на напряженное состояние очага деформации при волочении стали в соответствии с действующими режимами технологического процесса по следующим направлениям:

- распределение полей осевых, радиальных и тангенциальных напряжений на выходе из очага деформации по сечению проволоки;
- распределение накопленной пластической деформации на выходе из очага деформации по сечению проволоки;
- напряжения пластического течения на выходе из очага деформации.

Была построена базовая численная модель в соответствии с действующим технологическим процессом без вращения по исходным данным параметров действующего технологического процесса, представленным в табл. 1. Геометрия волоки первого перехода представлена на рис. 1.

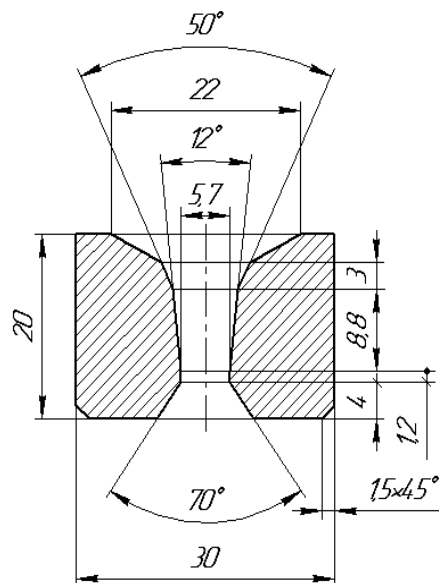


Рис. 1. Геометрия волоки 1-го прохода ГОСТ 9453–75, форма 12, калибр 1980-0155

**Исходные данные численных эксперимента процесса волочения  
на 1-м переходе стана UDZSA 2500/6**

Номер	Частота вращения $n$ , об/мин	Параметр							
		$d_0$ , мм	$d_1$ , мм	$N_{эд}$ , кВт	$D_{бар}$ , мм	$v$ , м/с	$\mu_1$	$\epsilon$ , %	марка стали
1	Базовый (без вращения)	6,5	5,7	55	550	3,5	1,3	23,1	Ст1сп
2	100, 500								

Шестикратный волочильный стан блочного типа модели UDZSA 2500/6 с максимальным усилием волочения на первом черновом блоке равным 25 кН (2500 кг), предназначен для волочения стальной углеродистой проволоки при диаметре заготовки до 12 мм.

Моделирование проводилось для первого прохода в программном пакете SimufactForming 16 с наложением на заготовку сетки конечных элементов с размером ячейки 0,2 мм.

После построения и выполнения расчетов численной модели волочения, получены следующие результаты по полям распределения напряжений (рис. 2) и величине их градиентов (табл. 2).

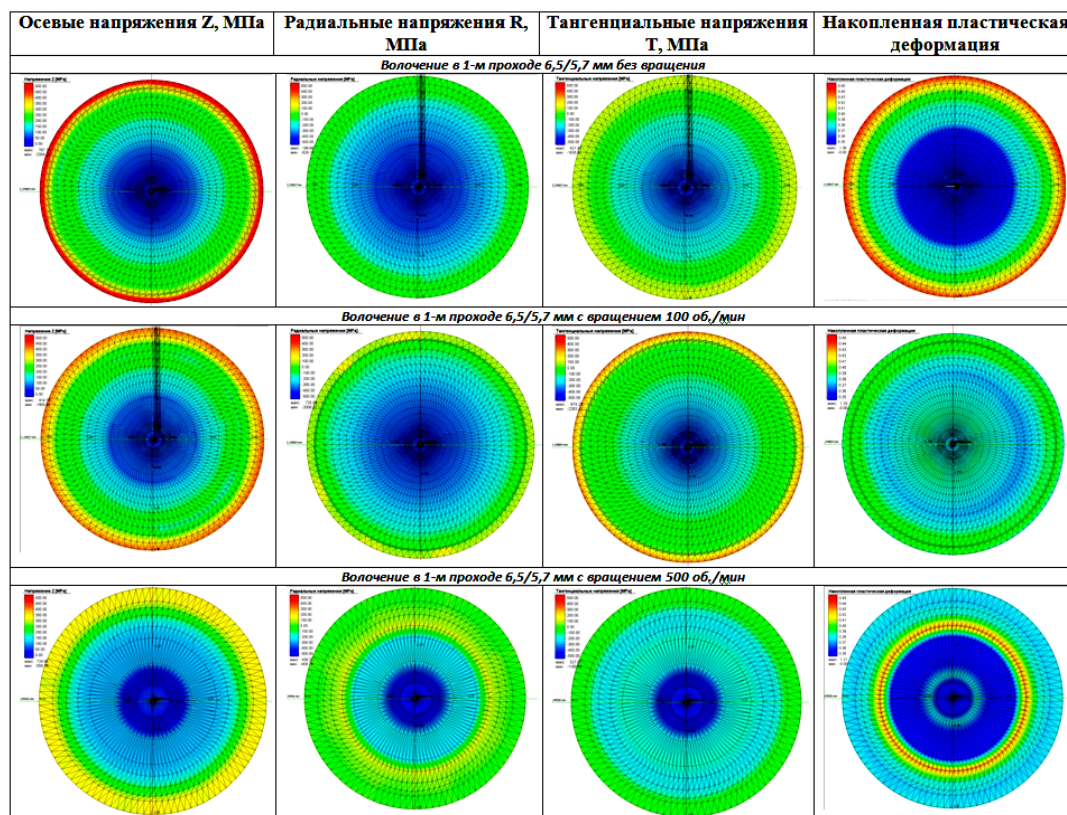


Рис. 2. Распределение полей напряжений и накопленной пластической деформации на выходе из калибрующей зоны проволоки в 1-м проходе стана UDZSA 2500/6

**Градиент полей напряжений и накопленной пластической деформации  
на выходе из калибрующей зоны волокни в 1-м проходе стана UDZSA 2500/6**

Эксперимент, об/мин	0 (min/max)	100 (min/max)	500 (min/max)
Осевые напряжения Z, МПа	0/520	0/440	0/370
Радиальные напряжения R, МПа	-240/90	-280/240	-410/210
Тангенциальные напряжения T, МПа	-380/240	-290/280	-450/110
Накопленная пластическая деформация	0,35/0,45	0,38/0,40	0,34/0,43

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Вращение волокни с  $n = 100$  об/мин для 1-го прохода 6,5/5,7 мм оказалось оптимальным как по показателям температурных полей в сечении и на контактной поверхности, так и по напряженному состоянию.

2. При вращении волокни с  $n = 100$  об/мин накопленная пластическая деформация становится практически равной по всему сечению, что даст возможность получить равномерную структуру.

3. При волочении во вращающейся волоке происходит снижение эквивалентных (по сумме распределения) осевых напряжений, причем чем выше скорость вращения волокни, тем больше снижение усилия волочения.

4. Растягивающие (+) радиальные и тангенциальные напряжения возросли при вращении волокни со скоростью 100 об/мин и практически выровнялись (сбалансировались) со сжимающими (-). При этом сжимающие (-) напряжения возрастают с увеличением скорости вращения волокни. Самое большое перераспределение тангенциальных напряжений: с увлечением скорости вращения волокни до 500 об/мин растягивающие напряжения уменьшаются, в то время как сжимающие напряжения увеличиваются до 410 МПа.

#### Литература

1. Астапенко, И. В. Оборудование волочильных и канатных цехов: пособие по курсу «Оборудование метизных цехов» для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» направления специальности 1-42 01 01-02 «Металлургическое производство и материалобработка (материалобработка)» специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка материалов давлением» днев. и заоч. форм обучения / И. В. Астапенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 55 с.
2. Применение вращающейся волокни в метизном производстве РУП «Речицкий метизный завод» / В. И. Тимошпольский [и др.] // Литье и металлургия. – 2006. – № 2-2 (38).
3. Петрусевич, В. А. Оценка влияния диаметра проволоки на эффективность применения вращающихся волок / В. А. Петрусевич, И. В. Астапенко // Беларусь в современном мире : материалы XIV Междунар. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 13–14 мая 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. о-ва «Знание»; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – С. 274–277.
4. Петрусевич, В. А. Оценка влияния частоты вращения волокни на параметры процесса при волочении стали / В. А. Петрусевич, И. В. Астапенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – С. 100–104.