



The appraisal of character of the temperature fields distribution in dies at their interactions in the processes of wire drawing in dependence on contact friction in conditions of the system wire-die is given.

М. Н. ВЕРЕЩАГИН, Ю. Л. БОБАРИКИН, М. Ю. ЦЕЛУЕВ, УО «ГГТУ им. П. О. Сухого»,
А. В. ВЕДЕНЕЕВ, О. И. ИГНАТЕНКО, РУП «БМЗ»

УДК 669.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКЕ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ВОЛОЧЕНИИ

Одним из важных факторов, определяющих условия волочения, является значение контактного трения между поверхностью проволоки и волочильного инструмента. Особенно это становится актуальным при производстве продукции на повышенных скоростях волочения. В [1] сделан вывод о необходимости снижения контактного трения для повышения скорости волочения стальной высокоуглеродистой проволоки без потери ее качества. Этот результат получен численным методом построения температурных полей в проволоке при ее волочении.

Цель данной работы – оценка характера распределения температурных полей в проволоке и волоке при их взаимодействии в процессе волочения в зависимости от контактного трения в условиях системы проволока – волока. Кроме того, интерес представляет определение нагрузки на волоку под влиянием изменения контактного трения. Поставленная задача решалась численным методом с использованием метода конечных элементов (МКЭ) на основе математического аппарата механики деформируемого твердого тела и теории пластичности. Исходными данными для расчета служили параметры, приведенные в [1] с дополнением:

- твердосплавный материал волоки считаем упругой средой с плотностью $\rho = 15150 \text{ кг/м}^3$, модулем Юнга $E = 647 \text{ ГПа}$, коэффициентом Пуассона $\mu = 0,2$;
- теплофизические характеристики материала волоки: коэффициент теплопроводности $\lambda = 50,2 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$, теплоемкость $c = 382 \text{ Дж/(кг}^\circ\text{С)}$;

- угол конуса волоки $\alpha = 12^\circ$, коэффициент длины калибрующей зоны волоки $k = 0,4$.

Для анализа условий волочения рассматривали проволоку диаметром 0,412 мм из стали марки 90К, получаемой из проволочной заготовки 2,45 мм на скорости 8 м/с, что на 37% выше технологической скорости. По результатам предварительного расчета, для вычислений была принята самая нагруженная волока в действующем маршруте волочения на 27 переходов волочения – волока № 23, которой соответствовал входной диаметр проволоки 0,494 мм, диаметр калибрующей зоны волоки 0,467 мм, скорость проволоки на выходе из этой волоки 6,227 м/с. В качестве смазки использовали водоземulsionную смазочно-охлаждающую жидкость VSV77 с концентрацией 10%. Получены распределения ТП (температурного поля) и НДС (напряженно-деформированного состояния) (рис. 1–6) в сечении проволоки и волоке действующего маршрута волочения. Распределения получены в момент движения проволоки, после ее продвижения на 1,7 мм с постоянной скоростью после стабилизации скорости волочения. В этот момент ТП в проволоке и НДС в системе проволока – волока стабилизированы. Не стабильно остается только ТП в волоке. ТП в волоке оказывает воздействие на нагрев проволоки, но в силу кратковременного контакта новых участков проволоки с волокой это воздействие принимается не существенным.

Сравнительный анализ ТП на рис. 1, 4 показывает, что уменьшение коэффициента контактного

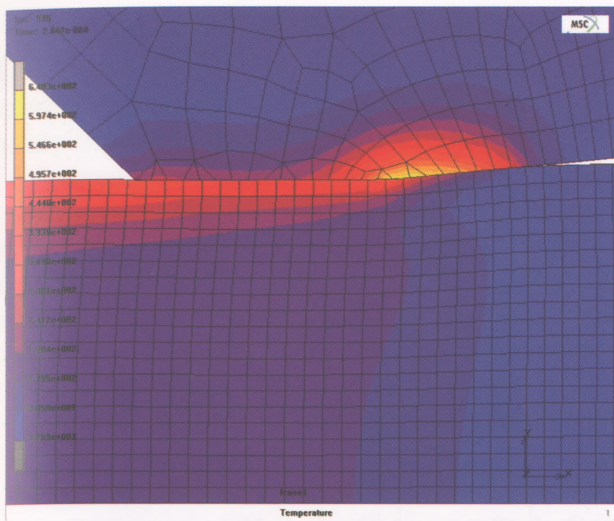


Рис.1. Температурное поле, °С, при волочении проволоки через волоку с конической деформирующей зоной ($k = 0,4$; $\alpha = 12^\circ$; $f = 0,05$)

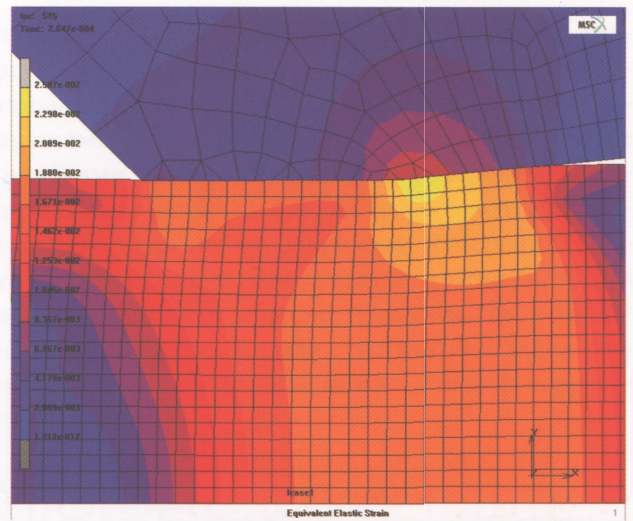


Рис. 2. Поле интенсивности упругих деформаций ϵ , при волочении проволоки через волоку с конической деформирующей зоной ($k = 0,4$; $\alpha = 12^\circ$; $f = 0,05$)

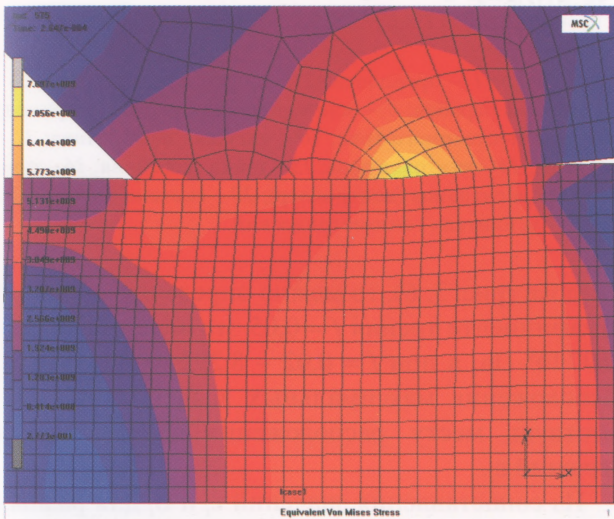


Рис. 3. Поле интенсивности напряжений σ , Па, при волочении проволоки через волоку с конической деформирующей зоной ($k = 0,4$; $\alpha = 12^\circ$; $f = 0,05$)

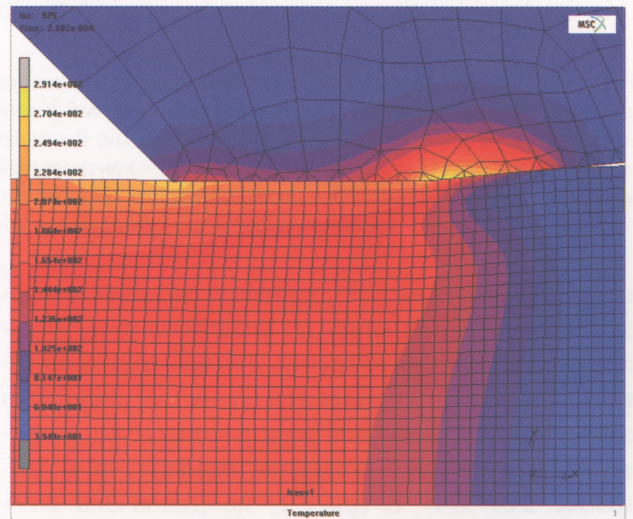


Рис. 4. Температурное поле, °С, при волочении проволоки через волоку с конической деформирующей зоной ($k = 0,4$; $\alpha = 12^\circ$; $f = 0,02$)

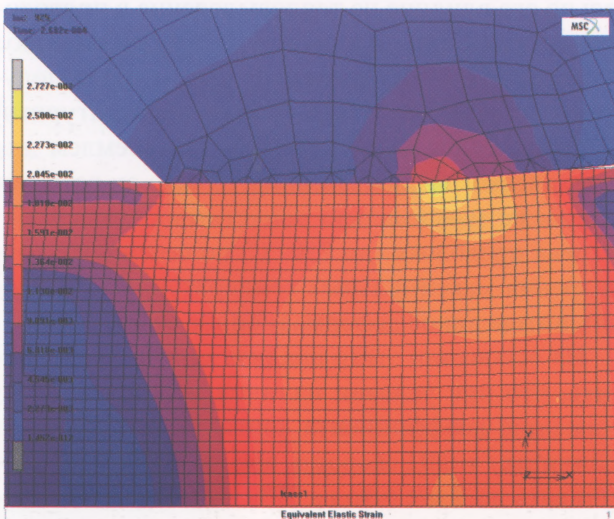


Рис. 5. Поле интенсивности упругих деформаций ϵ , при волочении проволоки через волоку с конической деформирующей зоной ($k = 0,4$; $\alpha = 12^\circ$; $f = 0,02$)

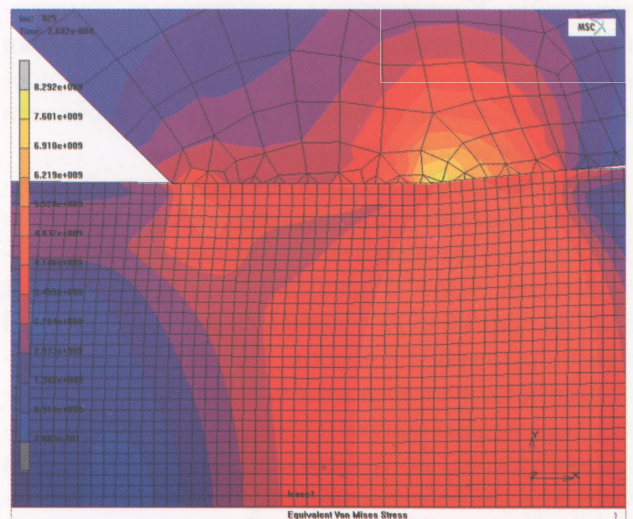


Рис. 6. Поле интенсивности напряжений σ , Па, при волочении проволоки через волоку с конической деформирующей зоной ($k = 0,4$; $\alpha = 12^\circ$; $f = 0,02$)

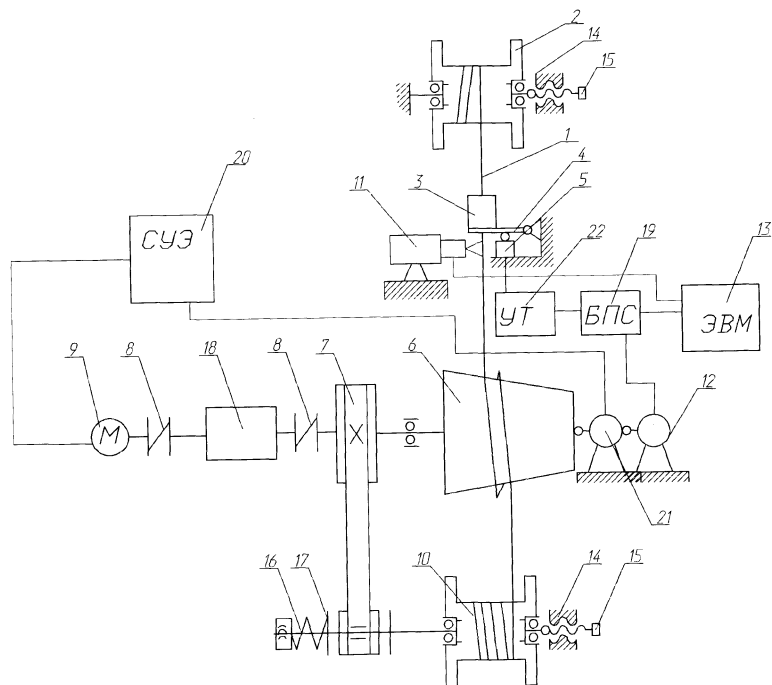


Рис. 7. Принципиальная схема экспериментальной волочильной установки: 1 – проволока; 2 – катушка размоточная; 3 – волокодержатель; 4 – плита качающаяся; 5 – датчик усилия; 6 – тяговый барабан; 7 – клиноременная передача привода намоточной катушки; 8 – муфты соединительные; 9 – электродвигатель постоянного тока; 10 – катушка намоточная; 11 – пирометр; 12 – датчик скорости вращения; 13 – контрольный блок (ЭВМ); 14 – винтовая пара; 15 – гайка зажимная; 16 – прижим; 17 – нажимной диск; 18 – коробка передач; 19 – блок преобразования сигналов (контроллер); 20 – система управления электроприводом; 21 – контроллер оборотов; 22 – усилитель тензометрический

трения с величины 0,05, соответствующей имеющемуся уровню трения, до величины 0,02, которую можно получить специальными мероприятиями (например, улучшением качества латунного покрытия, сокращением доли β -фазы и т. д.), снижает максимальный диапазон температур в проволоке 344–394 °С (рис. 1) до диапазона 249–270 °С (рис. 4). Это подтверждает факт значительного влияния контактного трения на температуру проволоки и соответственно волокна в процессе волочения. Концентрация повышенных температур соответствует приконтактным зонам волокна и проволоки в области перехода от деформирующей к калибрующей зоне волокна и в области окончания калибрующей зоны волокна.

Анализ распределения интенсивностей упругих деформаций ϵ_i при коэффициенте трения $f = 0,05$ (рис. 2) показывает на наличие в проволоке нагруженной зоны с диапазоном значений ϵ_i от $8,357 \cdot 10^{-3}$ до $1,045 \cdot 10^{-2}$ в области контакта рабочей и калибрующей зон волокна. На практике этой зоне соответствует зона интенсивного износа и разрушения канала волокна. При деформации в аналогичной проволоке, но с уменьшенным трением при $f = 0,02$ этой зоне соответствует диапазон значений ϵ_i от $9,091 \cdot 10^{-3}$ до $1,136 \cdot 10^{-2}$ (рис. 5).

Если анализировать максимальные значения интенсивностей напряжений σ_i , возникающих

в проволоке (рис. 3, 6), то можно определить, что при коэффициенте трения $f = 0,05$ эта величина равна $7,697 \cdot 10^9$ Па, а при $f = 0,02$ – $8,292 \cdot 10^9$ Па. Место расположения максимальных значений σ_i соответствует месту расположения максимальных значений ϵ_i .

Из сопоставления значений ϵ_i и σ_i для разных коэффициентов контактного трения можно сделать вывод об отсутствии существенного влияния контактного трения на нагрузку в проволоке. Значительно его влияние на тепловыделение в проволоке и соответственно влияние на деформационное старение самой проволоки. В этом случае получаемый после снижения трения температурный диапазон в проволоке может быть приемлем для практического использования, однако он остается на рубеже максимально допустимых температур нагрева проволоки (до 250 °С) по сечению, с точки зрения максимальных температур, исключая интенсивное деформационное старение.

На основании этого анализа можно предположить, что при условии наличия мероприятий по снижению коэффициента контактного трения до величины $f = 0,02$ скорость волочения можно увеличивать до 8 м/с (что на 37% выше технологической), при этом геометрия волокон не изменяется, и соответствует требованиям НД, что особенно важно при производстве.

Для частичного подтверждения адекватности полученных результатов численного расчета был проведен проверочный эксперимент с помощью экспериментальной волочильной установки (рис. 7).

Эксперимент заключался в волочении проволоки с условиями, соответствующими условиям вычислительного эксперимента. В результате измерения усилия волочения, зафиксированного датчиком 5 (рис. 7), получено значение 87 Н, а на основе распределения интенсивности напряжений в проволоке на выходе из калибрующей зоны волоки (см. рис. 6) получено теоретическое значе-

ние усилия волочения 98 Н. Таким образом, теоретический результат отклонился от экспериментального на 12,6%. Это вызвано принятыми упрощениями в математической модели, а также ошибками экспериментальных измерений ввиду действия случайных фактов эксперимента, обязательного наличия погрешностей измерения. Поэтому полученное отклонение можно принять допустимым, что обычно принимается в инженерных расчетах. В связи с этим вычисления распределений напряжений можно считать корректными.

Литература

1. Верещагин М. Н., Бобарикин Ю. Л., Савенок А. Н. и др. Влияние скорости волочения на температуру и напряженно-деформированное состояние в проволоке из высокоуглеродистой стали // *Литье и металлургия*, 2008. № 1. С. 40–48.