

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ  
ТЕМПЕРАТУРЫ В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ****О. М. Лейман, А. А. Слоницкий***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Определение температуры в очаге деформации волокни при волочении через нее металлической проволоки актуально, т. к. позволяет определять пути повышения скорости и, как следствие, производительности волочения. Это связано с тем, что одним из основных факторов, определяющих применяемые частные обжатия и скорости волочения стальной проволоки, является деформационный нагрев. Почти вся механическая работа, затраченная на волочение, преобразуется в очаге деформации в тепловую энергию, повышающую температуру проволоки. Чем выше скорость волочения, тем больше и температура. Высокая температура проволоки при волочении приводит к развитию процессов старения, вызывающих снижение пластичных свойств проволоки, к возникновению в ней тепловых напряжений после волочения, к образованию участков мартенсита на поверхности проволоки, к снижению стойкости волокни, к окислению смазки, повышающему коэффициент контактного трения при волочении.

Если иметь аналитическую зависимость для температуры в очаге деформации при волочении, то можно прогнозировать допустимую скорость волочения при заданных параметрах волочения, ограничиваясь допустимыми температурами нагрева проволоки, или проводить поиск таких параметров волочения, которые снизят или не значительно повысят температуру в очаге деформации при увеличении скорости волочения.

Наиболее известными аналитическими зависимостями для температуры поверхности и средней температуры сечения проволоки на выходе из очага деформации являются формулы Р. Б. Красильщикова [1]. К основному недостатку этих зависимостей следует отнести то, что в этих формулах присутствуют не все влияющие на исследуемую температуру параметры волочения. Так, отсутствует длина калибрующей зоны волокни, угол деформирующей конической зоны волокни, коэффициент контактного трения, а скорость волочения влияет только на температуру поверхности проволоки, не изменяя среднюю температуру сечения проволоки. Для устранения приведенных недостатков известных формул разработана новая методика аналитического определения температуры поверхности и средней температуры сечения проволоки на выходе из очага деформации волокни.

Основные этапы разработанной методики аналитического определения температуры в очаге деформации при волочении следующие:

1. Определение вытяжки проволоки:

$$\mu_1 = \frac{(d_0)^2}{(d_1)^2},$$

где  $d_0$  – исходный диаметр проволоки, мм;  $d_1$  – диаметр проволоки после первого перехода, мм.

2. Определение временного сопротивления разрыву проволоки после волочения:

$$\sigma_{s1} = \sigma_{s0} \cdot \sqrt{\frac{d_0}{d_1}}, \text{ МПа,}$$

где  $\sigma_{s0}$  – временное сопротивление разрыву исходной заготовки, МПа.

3. Определение модуля упрочнения:

$$w_1 = \frac{\sigma_{s1} - \sigma_{s0}}{\mu_1 - 1}, \text{ МПа.}$$

4. Расчет усилия волочения [2]:

$$P = \frac{\pi \cdot (d_1)^2}{4} \cdot \left[ \sigma_{s1} \cdot (1 + 2 \cdot f) - \frac{(w_1 - \sigma_{s0}) \cdot \left[ (\mu_1)^{\frac{f}{\tan(\alpha)}} - 1 \right]}{\frac{f}{\tan(\alpha)} \cdot (\mu_1)^{\frac{f}{\tan(\alpha)}}} \right] - \frac{\sigma_{s0}}{(\mu_1)^{\frac{f}{\tan(\alpha)}}} + \frac{4 \cdot f \cdot \sigma_{s1} \cdot l}{d_1}, \text{ Н,}$$

где  $f$  – коэффициент контактного трения;  $\alpha$  – полуугол конуса деформирующей зоны волокна, град;  $l$  – длина калибрующей зоны волокна, мм.

5. Определение обжатия проволоки:

$$\eta = \frac{(d_0)^2 - (d_1)^2}{(d_0)^2}.$$

6. Определение доли тепловой энергии внутреннего трения в проволоке, отводимой в волоку [1]:

$$n = \frac{0,305 \cdot \eta \cdot \sqrt{1-n} - 0,39 \cdot 10^3 \cdot d_1 \cdot V}{0,305 \cdot \eta \cdot \sqrt{1-n} + 1,1 \cdot 10^3 \cdot d_1 \cdot V \cdot \eta^{0,25}},$$

где  $V$  – скорость волочения проволоки,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

7. Расчет средней температуры сечения проволоки на выходе из очага деформации:

$$t_{\text{ср}} = \frac{0,595 \cdot P \cdot (1-n) + t_0 \cdot c \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot (d_1)^2}{4}}{c \cdot \rho \cdot \frac{\pi \cdot (d_1)^2}{4}},$$

где  $t_0$  – температура проволоки перед волочением, °С;  $c$  – удельная теплоемкость,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ ;  $\rho$  – плотность стали,  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}$ .

8. Определение доли тепловой энергии внешнего или контактного трения на поверхности проволоки, отводимой в волоку [1]:

$$m = \frac{0,305 \cdot \eta + 2,88 \cdot \sqrt{d_1 \cdot V}}{390 \cdot d_0 \cdot V + 2,88 \cdot \sqrt{d_1 \cdot V}}$$

9. Расчет повышения температуры от контактного трения:

$$\Delta t = 3,25 \cdot \sigma_{s1} \cdot \sqrt{d_1 \cdot V \cdot 10^{-3}} \cdot \eta^{0,085} \cdot (1 - m)$$

10. Температура на поверхности проволоки на выходе из калибрующей зоны волоки:

$$t_k = t_{cp} + \Delta t$$

Исследование температуры в очаге деформации при волочении проводилось с использованием приведенной методики. В качестве примерного расчета был выбран первый переход волочения проволоки из стали 90 диаметром 0,412 мм из проволочной заготовки диаметром 2,45 мм, на котором проволока протягивается на диаметр 2,23 мм.

Исходные данные для расчета:

$$d_0 = 2,45 \text{ мм}; d_1 = 2,23 \text{ мм}; \sigma_{s0} = 1000 \text{ МПа}; f = 0,0475; \alpha = 5 \text{ град};$$

$$l = 0,5 \cdot d_1 \text{ мм}; V = 0,171 \frac{\text{М}}{\text{с}}; t_0 = 40 \text{ }^\circ\text{C}; c = 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}; \rho = 7800 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{мм}^3}$$

Результаты вычислений представлены в виде зависимостей для температуры волочения от параметров волочения, впервые введенных в исследуемую зависимость (рис. 1–4).

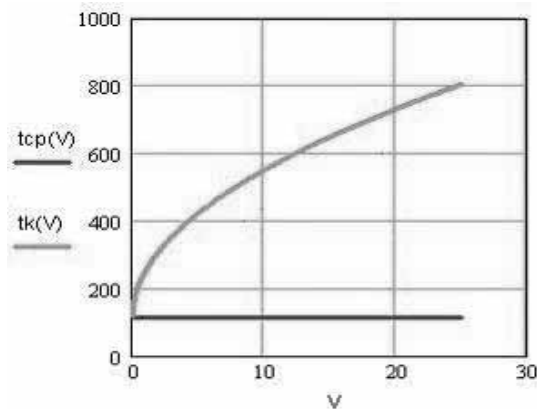


Рис. 1. Зависимость  $t_{cp}$  и  $t_k$  от  $V$

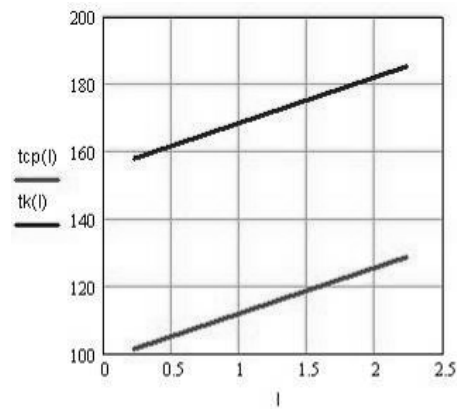
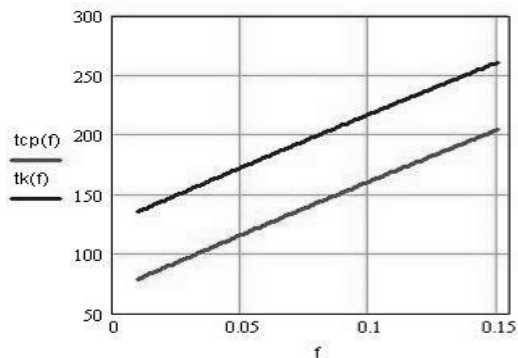
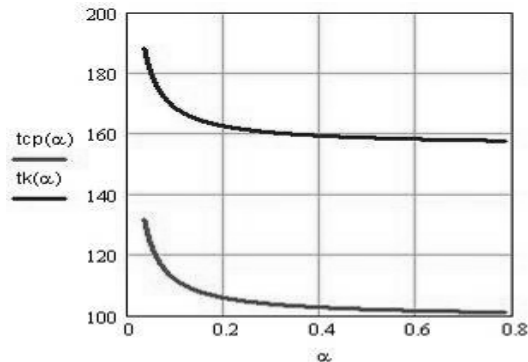


Рис. 2. Зависимость  $t_{cp}$  и  $t_k$  от  $l$

Рис. 3. Зависимость  $t_{cp}$  и  $t_k$  от  $f$ Рис. 4. Зависимость  $t_{cp}$  и  $t_k$  от  $\alpha$ 

Анализ приведенных графиков показывает, что для снижения температуры волочения можно рекомендовать следующие мероприятия: снижать контактное трение; уменьшать длину калибрующей зоны волокна; увеличивать угол конической деформирующей зоны волокна. Уменьшение длины калибрующей зоны и увеличение угла конической деформирующей зоны волокна следует согласовывать с изменением стойкости волокна и усилия волочения.

Формулы, приведенные в этапах разработанной аналитической методики № 7, 9 и 10, служат для аналитической оценки температуры нагрева проволоки и могут использоваться самостоятельно в различных целях в теории и технологии волочения. Адекватность этих формул доказана экспериментально на опытном волочильном стане бесконтактным методом измерения температуры поверхности проволоки на выходе из волокна с помощью инфракрасного пирометра.

#### Литература

1. Красильщиков, Р. Б. Деформационный нагрев и производительность волочильного оборудования / Р. Б. Красильщиков. – Москва : Металлургия, 1970. – 168 с.
2. Коковихин, Ю. И. Технология сталепроволочного производства : учеб. для вузов / Ю. И. Коковихин. – Киев, 1995. – 608 с.