

## РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ, ЗАВИСЯЩЕГО ОТ СКОРОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОЛОКИ

В. П. Прытков

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

Научный руководитель С. И. Прач

Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, характеризующийся постепенным однократным или многократным протягиванием последнего через специальный волочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки.

В процессе волочения изменяются не только геометрическая форма и размеры заготовки, но и существенно изменяются физико-механические свойства и структура обрабатываемого металла.

Температура поверхности проволоки в маршруте волочения влияет на качество производимой проволоки, так как температура поверхности проволоки посредством деформационного старения структуры высокоуглеродистой стали определяет запас пластичности проволоки и, как следствие, величину обрывности металлокорда, свиваемого из этой проволоки после волочения. Для решения данной проблемы была разработана методика оптимизации маршрутов волочения проволоки [1]–[3].

В данной работе для оптимизации маршрута волочения воспользуемся критерием, зависящим от максимальной температуры поверхности проволоки и ее скорости волочения, рассчитываемым по формуле

$$K = \frac{\left(\frac{t_{\Pi}}{t_{\text{Б}}}\right)^{50} + \left(\frac{V_{\text{Б}}}{V}\right)^{15}}{2}, \quad (1)$$

где  $t_{\Pi}$  – максимальная температура поверхности проволоки в маршруте волочения, °С;  $V$  – скорость волочения проволоки на выходе из волочильного стана, м/с;  $t_{\text{Б}}$  – базовая температура поверхности проволоки в маршруте волочения, выбираемая в зависимости от значения относительной обрывности (обр./т) металлокорда при свивке, °С;  $V_{\text{Б}}$  – базовая скорость волочения проволоки на выходе из волочильного стана, м/с.

В соответствии с этим критерием при действующем маршруте волочения  $K = K_{\text{баз}}$ . Если изменения в режимах волочения вызывают повышение критерия  $K$ , то принимаемые изменения приводят к потере эффективности волочения проволоки и свивки из нее корда. Если изменения в режимах волочения вызывают понижение критерия  $K$ , то принимаемые изменения приводят к повышению эффективности волочения. Таким образом, при оптимизации значение  $K$  должно быть минимальным.

Расчет нового маршрута волочения выполняем по следующей методике:

1. Исходными данные для расчета маршрута волочения являются: волочильное оборудование; диаметр проволоки начальный с плюсовым допуском заводской:  $d_0$ , мм; диаметр проволоки конечный с минусовым допуском:  $d_k$ , мм; временное сопротивление разрыву заводской проволочной заготовки:  $\sigma_{b0}$ , МПа; предел прочности гото-

вой проволоки:  $\sigma$ , МПа; паспортная максимальная скорость проволоки на выходе из волочильного стана:  $V_k$ , м/с; полуугол конической рабочей зоны волокни:  $\alpha$ , град; температура ванны СОЖ:  $t_0$ , °С; напряжение противонатяжения проволоки на входе в волочильный стан:  $\sigma_{v,0}$ , МПа; максимальное конструктивно возможное количество волок (без учета сдвоенных волок):  $n$ ; мощность двигателя привода волочильного стана,  $N_{\text{паспорт}}$ , кВт; коэффициент полезного действия привода волочильного стана:  $\eta$ ; коэффициент контактного трения в волоке:  $f$ ; паспортные кинематические вытяжки ( $\mu_i$ ) для  $n$  волок; содержание углерода в проволоке в относительных единицах; коэффициенты износа волок:  $\beta = 0,01-0,05$ ; число витков проволоки на тяговом шкиве:  $z_i$ ; коэффициент трения скольжения между поверхностями проволоки и тяговых шкивов:  $f_s$ ; номера волок, в которых устанавливаются сдвоенные  $v_i$ ; соотношение диаметров в сдвоенных волокнах:  $y_i$ ; диаметры тяговых шайб:  $D_{ni}$ ; коэффициенты длины калибрующей зоны волокни  $m_i$ , определяющие длину этой зоны  $d_i m_i$ ; значения максимальных температур в очаге деформации для каждой волокни, полученные с помощью численного моделирования или аналитического расчета процесса волочения  $T_i$ , °С; зависимость для определения сопротивления пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения  $\sigma S_i = f(\varepsilon \Sigma_i)$ , МПа, где  $\varepsilon \Sigma_i$  – итоговая логарифмическая деформация проволоки для  $i$ -го перехода волочения; зависимость может быть получена аппроксимацией экспериментальной кривой растяжения проволоки заготовки; сопротивление пластической деформации проволоки заготовки  $\sigma S_0$ , МПа; скорость деформирования  $\xi_0$ , использованная при получении зависимости  $\sigma S_i = f(\varepsilon \Sigma_i)$ , 1/с; функция для коэффициента влияния скорости деформации на сопротивление пластической деформации проволоки  $Z_i = f(\xi_i)$ , где  $\xi_i$  – скорость деформации проволоки для каждого  $i$ -го перехода волочения; функция может приниматься из справочных данных или из экспериментальных зависимостей; зависимости для диаграмм пластичности  $\Lambda_{pi} = f(k_i)$ , соответствующие разной степени упрочнения обрабатываемой проволоки, где  $\Lambda_{pi}$  – интенсивность сдвиговой деформации разрушения:  $k_i$  – коэффициент напряженного состояния очага деформации для каждого перехода волочения; зависимости могут быть получены аппроксимацией экспериментальных кривых диаграмм пластичности; значение базовой температуры поверхности проволоки, °С. Значение указанной температуры устанавливается по экспериментально установленным зависимостям от требуемой обрывности.

2. Рассчитываем базовый процесс волочения заданного диаметра и свойств проволоки, который обеспечивает относительно стабильное удовлетворительное качество проволоки. При этом определяем значения деформационно-кинематических параметров волочения и энергосиловых режимов волочения: значения вытяжек на каждом переходе  $\mu_i$ ; коэффициент износа  $\beta_i$ ; скорость волочения  $V_i$ :

$$V_{i-1} = \frac{V_i}{\mu_i}, \text{ мм/с}; \quad (2)$$

линейные скорости вращения тяговых шайб  $B_i$ ; величины относительного скольжения,  $C_i$ ; диаметры волок при разработке нового маршрута волочения,  $d_i$  мм; пределы прочности проволоки,  $\sigma_{bi}$  МПа; средняя температура сечения проволоки и температура поверхности проволоки, °С, с учетом охлаждения проволоки в ванне со смазкой на всех переходах волочения до температуры  $t_0$ ; средняя температура сечения проволоки,  $t_{ci}$ ; средняя температура поверхности проволоки:

$$t_{n_i} = t_{o_i} + 0,3 \cdot \sigma_{b_i} (1 - 1/\mu_i) + 2,75 \cdot \sigma_{b_i} \sqrt{V_i \cdot d_i \cdot 10^{-3}}; \quad (3)$$

длина очагов деформации,  $l_i$ , мм; время прохода элементарной точки поверхности проволоки через зоны деформации волок,  $t_i$ , с; относительное обжатие проволоки,  $\delta_i$ ; скорость деформации,  $\varepsilon_i$ , 1/с; итоговая логарифмическая деформация для каждой проволоки,  $\varepsilon \Sigma_i$ ; сопротивление пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения в зависимости от деформационного упрочнения  $\sigma S_i$ ; коэффициент влияния скорости деформации на сопротивление пластической деформации  $Z_i$ ; сопротивление пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения в зависимости от деформационного и скоростного упрочнения  $\sigma S_i$ , МПа; модуль упрочнения проволоки,  $w$ , МПа; коэффициент, определяющий степень противонапряжения проволоки,  $K_i$ ; напряжение волочения,  $\sigma v_i$ , МПа; коэффициент запаса волочения  $\gamma_i$ ; усилия волочения  $P_i$  и усилия противонапряжения  $Q_i$ , Н; мощность волочения,  $N_i$ , кВт; радиальное нормальное напряжение в очаге деформации,  $\sigma_i$ , МПа; среднее напряжение очага деформации,  $\sigma \sigma_i$ , МПа; коэффициент напряженного состояния очага деформации,  $k_i$ ; интенсивность сдвиговой деформации разрушения  $\Lambda_{pi}$ ; интенсивность деформации сдвига в очаге деформации,  $\Lambda_i$ .

3. Все параметры, рассчитанные в п. 2, должны находиться в допустимых пределах, заданных техническими характеристиками волочильного оборудования и свойствами обрабатываемой стали: коэффициент запаса волочения должен находиться в пределах 1,25–3; мощность волочения для всего маршрута волочения не должна превышать мощность мотора привода стана; величина коэффициента скольжения должна превышать число 0 и не превышать число 0,05 (исключение: первый переход волочения); максимальная мгновенная температура поверхности проволоки (3) определяет запас пластичности проволоки и, как следствие – величину обрывности металлокорда, свиваемого из этой проволоки после волочения.

4. Вводятся предлагаемые изменения в режим волочения рассчитанного процесса с целью его оптимизации. По аналогии с базовым процессом формируются исходные данные (п. 1) для измененного процесса с изменением предлагаемых для оптимизации режимов волочения с сохранением величины конечного диаметра проволоки и ее свойств в конце волочения. Расчет измененного процесса выполняется в соответствии с измененными исходными данными по п. 2, 3 разработанной методики.

5. Выполняют общую оценку оптимизации маршрута волочения с помощью критерия, зависящего от скорости волочения и максимальной температуры поверхности проволоки (1).

В качестве примера был выполнен расчет маршрута волочения ультравысокопрочной проволоки  $UT$  диаметром  $d_k = 0,258$  мм из стали с содержанием углерода 82 % на волочильном стане тонкого волочения НТ12.6 из заготовки диаметром  $d_0 = 1,55$  мм.

При базовой температуре поверхности проволоки  $t_{п} = 540$  °С по предложенной методике были получены диаметры валок на каждом переходе с учетом требований: 2300–2116–1934–1768–1616–1477–1350–1234–1128–1031–942–861–787–720–658–601–550–506–466–429–394–369–350, мкм, и другие параметры волочения.

## Результаты оптимизации нового маршрута волочения

Маршрут волочения	$V_i$ , м/с	$t_{п}$ , °С	$K$
21 волока,	17	720,4	
21 волока, базовый	8	537,4	0,89
28 волок, (7 сдвоенных)	8	497,9	0,509
28 волок, (7 сдвоенных)	10	540,4	0,536
28 волок, (7 сдвоенных)	9	518,5	0,151

По результатам оптимизации, представленным в таблице, режим волочения с семью сдвоенными волоками при скорости волочения 9 м/с признан наиболее эффективным по сравнению с другими рассмотренными вариантами, так как все параметры находятся в рекомендованных пределах, и получено минимальное значение критерия  $K$ . Таким образом, обеспечивается повышение эффективности процесса волочения.

## Литература

1. Колмогоров, В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушения / В. Л. Колмогоров – М. : Металлургия, 1970. – 162 с.
2. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров – М. : Металлургия, 1986. – 688 с.
3. Температурно-деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // Литье и металлургия. – 2012. – 3 вып. – С. 205.

## НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ – ОСНОВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ГРАМОТНОСТИ ДИЗАЙНЕРА

У. В. Клочко

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

Научный руководитель О. П. Мурашко

В чем состоит значимость обучения графических дисциплин при обучении учащихся? Какие обнаружены трудности нынешнего графического образования?

В наше время происходит перевод образования на новейший высококачественный уровень, что отображают «новинки», появившиеся в дисциплинах специальности «Дизайнер среды». Отсюда увеличивается потребность в подготовке специалистов в сфере дизайна среды, высококвалифицированных специалистов-дизайнеров. С учетом нынешних концепций инновационных технологий, проявляющихся абсолютно во всех областях человеческого существования, возросли условия к степени высококлассной подготовки выпускников вузов, к самообразованию, умению самостоятельно мыслить, оптимизировать собственную деятельность, осуществлять сложные решения. Высказываются мнения, что начертательная геометрия как дисциплина исчерпала себя, так как на замену ей пришли инновационные компьютерные технологии, которые дают возможность высококачественно целиком осуществлять полный набор дизайнерских чертежей в компьютере. Но для того чтобы осуществить чертеж объекта, следует безупречно продемонстрировать форму проектируемого предмета, понимать и осуществлять конкретные правила построения чер-