

**РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ  
СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ НА СТАНЕ НТ12.6  
ДЛЯ МЕТАЛЛОКОРДА 3+2x0,35UT**

**В. А. Петрусевич**

*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 изменяется не только геометрическая форма и размеры заготовки, но и существенно изменяются физико-механические свойства и структура обрабатываемого металла.

В настоящее время наиболее важной проблемой при волочении проволоки является ее обрывность вследствие снижения ее пластичности. Для решения данной проблемы была разработана методика оптимизации маршрутов волочения [1]–[3].

Расчет нового маршрута волочения выполняем по следующей методике:

1. Задаем исходные данные для расчета маршрута волочения: 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 готовой проволоки  $\sigma$ , МПа; паспортная максимальная скорость проволоки на выходе из волочильного стана  $V_k$ , м/с; полуугол конической рабочей зоны волоки  $\alpha$ , град; температура ванны СОЖ  $t_0$ , °С; напряжение противонапряжения проволоки на входе в волочильный стан  $\sigma_{v0}$ , 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 ( $\mu n_i$ ) 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 волоки  $m_i$ , определяющие длину этой зоны  $d_{im_i}$ ; значения максимальных температур в очаге деформации для каждой волоки, 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 проволочной заготовки; сопротивление пластической деформации проволочной 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 в зависимости из графика на рис. 1 от требуемой обрывности.

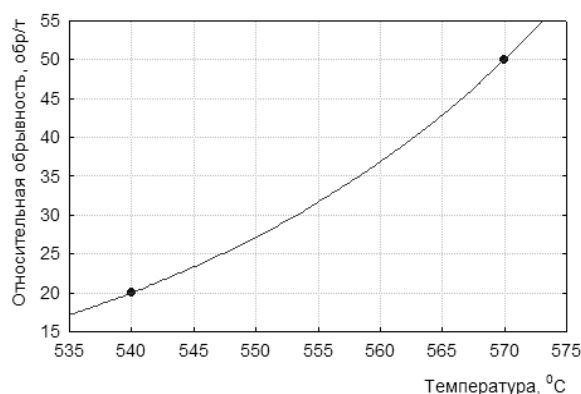


Рис. 1. Зависимость максимального значения относительной обрывности, обр/т, металлокорда при свивке от максимальной температуры поверхности проволоки при волочении, °C

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  $V_i$ ; линейные скорости вращения тяговых шайб  $B_i$ ; величины относительного скольжения:

$$C_i = \frac{B_i - V_i}{B_i}; \quad (1)$$

диаметры волок при разработке нового маршрута волочения  $d_i$  мм; пределы прочности проволоки  $\sigma_{b_i}$  МПа; средняя температура сечения проволоки и температура поверхности проволоки °C с учетом охлаждения проволоки в ванне со смазкой на всех переходах волочения до температуры  $t_0$ :

– средняя температура сечения проволоки:

$$t_{c_i} = t_{o_i} + 0,45\sigma_{b_i} \left(1 - \frac{1}{\mu_i}\right); \quad (2)$$

– средняя температура поверхности проволоки:

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

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 волоки  $\varepsilon \Sigma_i$ ; 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  $K$ ; напряжение волочения  $\sigma v_i$ , МПа; коэффициент запаса волочения:

$$\gamma_i = \sigma v_i / \sigma S_i; \tag{4}$$

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 (4) должен находиться в пределах 1,25–3 (меньшие значения могут привести к дополнительному растяжению проволоки при волочении силой волочения, большие значения приводят к неэффективному расходу энергии волочильных станков); мощность волочения для всего маршрута волочения не должна превышать мощность мотора привода стана (запас мощности должен обеспечиваться в пределах не менее 30 %); величина коэффициента скольжения (1) 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 металлокorda, 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 пп. 2, 3 разработанной методики.

5. Выполняют общую оценку оптимизации маршрута волочения.

В результате расчета маршрута волочения ультравысокопрочной проволоки УТ диаметром  $d_k = 0,35$  мм из стали 96, микролегированной хромом на волочильном стане тонкого волочения НТ12.6 из заготовки диаметром  $d_0 = 2,3$  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	$t_{п}$ , °С
21 волока, 10 м/с	738
21 волока, 4 м/с, базовый	529
28 волок, (7 сдвоенных), 4 м/с	492
28 волок, (7 сдвоенных), 5,5 м/с	544
28 волок, (7 сдвоенных), 6 м/с	560

По результатам оптимизации, представленным в таблице, режим волочения с семью сдвоенными волокнами при скорости волочения 5,5 м/с признан наиболее эффективным по сравнению с другими рассмотренными вариантами, так как все параметры находятся в рекомендованных пределах и получена необходимая температура поверхности проволоки при максимальной скорости. Таким образом, обеспечивается повышение пластических свойств получаемой проволоки при высокой производительности.

#### Л и т е р а т у р а

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. – Минск, 2012. – 3 вып. – С. 205–209.