

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОЧЕНИЯ ТОНКОЙ СТАЛЬНОЙ ЛАТУНИРОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ

Дегтярёв А.В.

МГТУ им. Г.И. Носова

Кафедра машиностроительных и металлургических технологий

Научный руководитель: к.т.н., проф. Харитонов В.А.

Стальная высокоуглеродистая латунированная проволока и получаемый из нее металлокорд используются при производстве резинотехнических изделий (рукава высокого давления, радиальные автомобильные шины и т.д.) Как видно из области применения стальной латунированной проволоки, она работает в сложных условиях нагружения, например, работа металлокорда в автомобильной шине, поэтому должна обладать высокой прочностью и пластичностью и иметь высокое сопротивление усталостным нагрузкам.

С целью анализа влияния на качество готовой латунированной проволоки режимов обжатий, геометрических параметров волочильного инструмента, скорости процесса, применяемого оборудования и т.д., была разработана модель процесса волочения. Модель имеет блочную структуру и учитывает следующие факторы.

1. Характер распределения деформации по сечению проволоки; действие продольных растягивающих напряжений; распределение нормальных контактных и касательных напряжений; противонапряжение; съём металлического покрытия, а также стабильность процесса с учётом распределения напряжений и деформаций.
2. Температурные условия волочения и влияние на вязкость смазки разогрева проволоки на контактах «металл-инструмент» и «металл-вытяжной шкив».
3. Мощность, потребляемую электродвигателем в процессе волочения.

Очаг деформации при мокром волочении латунированной проволоки принимали разделённым на три зоны: I - входная; II - деформационная; III - выходная (см. рис.1.). В свою очередь деформационная зона была разделена ещё на две зоны: зону действия растягивающих и сжимающих напряжений (зона A) и зону действия преимущественно растягивающих напряжений (зона B). Минимальную высоту зоны B определяли в зависимости от показателя фактора формы [1,2] по выражению [3]

$$h = \frac{d_0 + d_1}{2} - \frac{d_0 - d_1}{2(\operatorname{tg} \alpha + f)}, \quad (1)$$

где α - угол наклона образующей канала волоки к оси волочения, град; d_0 и d_1 - начальный и конечный диаметр проволоки, мм; f - коэффициент трения.

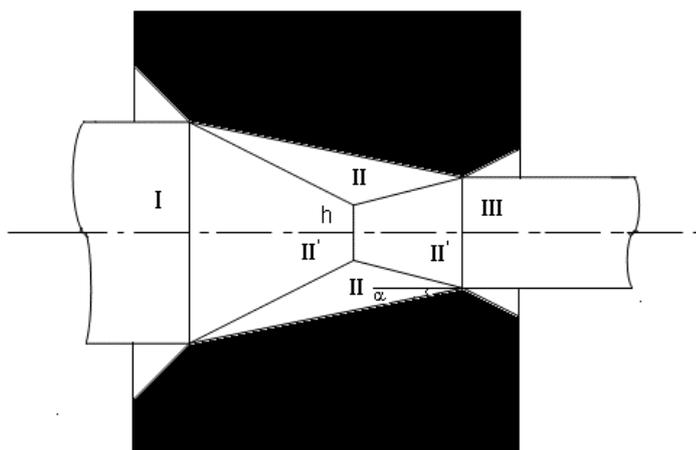


Рис.1. Расчетная схема очага деформации

С учетом принятого разделения деформационной зоны были приняты следующие допущения.

1. В деформационной зоне *B* действует условие пластичности в виде $\sigma_x + \sigma_y = \sigma_s$.

2. В деформационной зоне *A* действует условие пластичности для случая одноосного растяжения $\sigma_x = \sigma_s$.

3. Для удобства расчётов сжимающие напряжения в зоне *A* принимали равными нормальным контактными напряжением $\sigma_y = \sigma_n$, закон распределения которых был принят в соответствии с подходом, описанным в работе Аркулиса Г.Э. [4].

4. Распределение контактных касательных напряжений на границе раздела Металл-Инструмент принимали согласно закону трения Кулона-Амонтона.

5. Изменение сопротивления пластической деформации по длине очага деформации принимали по линейному закону Аркулиса Г.Э.[4].

Напряжения противонатяжения в очаге деформации принимали, исходя из взаимодействия соседних очагов деформации, т.к. на сбегающей стороне проволоки в случае мокрого волочения со скольжением действует постоянно приложенная сила противонатяжения (рис. 2), которую численно можно определить по формуле [5]

$$Q_n = \frac{P_n}{e^{2\pi f_{III} m}}, \quad (2)$$

где P_n – усилие волочение, Н; f_{III} – коэффициент трения между проволокой и шайбой; m – количество витков проволоки на вытяжной шайбе.

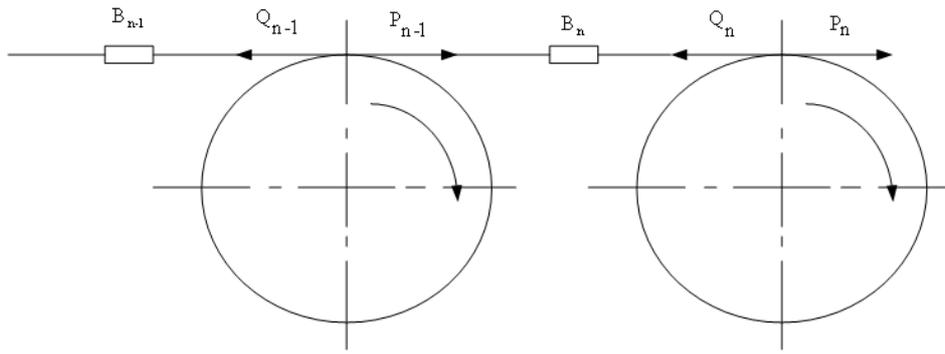


Рис.2. Силовая схема волочения проволоки на многократных волочильных станах со скольжением проволоки

Анализ напряженного состояния проволоки проводился для двух взаимосвязанных очагов деформации, так как только это позволяет получить величину напряжения волочения, при которой будет обеспечен заданный коэффициент запаса прочности переднего конца проволоки, и, соответственно, обеспечить высокую стабильность процесса волочения.

В модели также учитывается величина съёма латунного покрытия, определяемая по формуле [6]

$$\delta = D_0 \left[1 - \frac{\sigma_S - \sigma_q}{\tau} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 + (4\delta_1 + 1)\cos \alpha} \right], \quad (3)$$

где δ – конечная толщина металлического покрытия, мм; D_0 – начальная толщина покрытия, мм; σ_S – напряжение сопротивления пластической деформации, Н/мм²; σ_q – напряжение противонапряжения, Н/мм²; τ – сопротивление материала покрытия чистому сдвигу, Н/мм²; α – угол наклона образующей канала волоки к оси волочения, град; δ_1 – относительная толщина покрытия, определяемая по формуле

$$\delta_1 = \frac{D_0}{d_0}, \quad (4)$$

где d_0 – исходный диаметр проволоки, мм.

Для расчета температуры нагрева проволоки в очаге деформации использовали известную методику [7,8]. Другим источником тепла при волочении со скольжением является трение проволоки на шкивах. Повышение температуры проволоки на шкивах можно оценить следующим образом, полагая, что вся работа трения переходит в тепло [9]

$$\Delta t = \frac{(\sigma_B - \sigma_q) \cdot v_{ск}}{427 \cdot v_n \cdot c \cdot \rho} \cdot 10^6, \quad (5)$$

где v_n – скорость волочения проволоки на данном переходе, м/с; $v_{ск}$ – скорость скольжения проволоки по шкиву, м/с; c – удельная теплоёмкость; ρ – плотность, кг/м³; σ_B, σ_q – напряжение волочения и противонапряжения соответственно, Н/мм².

Для расчета охлаждения проволоки в модели решается стационарная задача о распределении тепла вдоль движущейся проволоки с конвективным теплообменом на боковой поверхности с постоянной температурой на левой границе [10]. Из рассмотрения теплового баланса элементарного диска толщиной Δx получаем обыкновенное

дифференциальное уравнение

$$\frac{dU}{dx} + A \cdot U - B = 0, \quad (6)$$

$$\text{где } A = \frac{2\alpha}{c\rho r v}, \quad B = \frac{2\alpha U_0}{c\rho r v} \quad (7)$$

x - продольная координата; U - температура; U_0 - температура окружающей среды; ρ , c , α , r - плотность, теплоёмкость, коэффициент теплообмена и радиус проволоки соответственно; v - скорость движения проволоки.

Тепловая модель, основанная на уравнениях (5 - 7), позволяет получить распределение температуры вдоль всего маршрута волочения с учётом особенностей мокрого многократного волочения проволоки.

Стабильность процесса волочения определяется во многом наличием смазки на контакте «металл-инструмент» и её вязкостью, зависящей от температуры проволоки при волочении. Принимая соответствующее значение коэффициента кинематической вязкости смазки при рассчитанной температуре, толщину слоя смазки определяем по формуле [11,12]

$$\xi = \frac{6\eta v}{\rho g \alpha}, \quad (8)$$

где η - кинематический коэффициент вязкости; v - скорость волочения.

Расчёт мощности при волочении тонкой латунированной проволоки на волочильных станах со скольжением проводился по известной методике, достаточно подробно описанной в работе [5].

Применение разработанной математической модели для прогнозирования и управления процессом волочения тонкой латунированной проволоки на волочильных машинах со скольжением позволило разработать рациональные маршруты волочения, реализация которых обеспечила снижение нагрузки на электродвигатель и расхода электроэнергии, потребляемой в процессе волочения, уменьшить расход волок, сократить количество обрывов проволоки. Помимо этого изменение технологической схемы производства латунированной проволоки привело к снижению съёма латуни с проволоки.

Литература

1. Бэкофен Б. Процессы деформации. - М.: Металлургия, 1977. - 288 с.
2. Харитонов В.А., радионова Л.В. Расчет режимов равномерной деформации при волочении проволоки //Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. - Вып. 31. - Магнитогорск, 2004. - С. 8-14.
3. Харитонов В.А., Столяров А.Ю., Гофман Н.Г. Разработка рациональных маршрутов волочения проволоки для производства металлокорда // Сталь.- № 6, 2006. — С. 66-68.
4. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1964. - 270 с.
5. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. - М.: Металлургия, 1971. - 448 с.
6. Колмогоров Г.Л., Трофимов В.Н., Конников Г.Г. Формирование смазочного слоя для волочения при наличии подсмазочного покрытия // Изв. вузов. Чер. металлургия. - № 12, 1985. — С. 57 - 59.
7. Красильщиков Р.Б. Деформационный нагрев и производительность волочильного оборудования. - М.: Металлургия, 1970. - 204с.

8. Должанский А. М., Должанский О. А., Ключев Д. Ю. Теоретическое определение параметров трения при волочении проволоки.//Металлург. и горноруд, пром-сть. - № 6, 2002. - С.61 - 64.
9. Беляев О.А., Клубович В.В., Мальцев Г.П., Пивоварчик А.А. Методика расчёта температурных полей и напряжений при многократном волочении проволоки.//Известия АН БССР. Сер. физ.-техн. - №3, 1982.
10. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. - М.: Энергия, 1977. – 344 с.
11. Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т. Трение и смазки при обработке металлов давлением. - М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
12. Харитонов В.А., Головизнин С.М., Столяров А.Ю. Влияние температуры на толщину слоя смазки в условиях многократного мокрого волочения.// Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2006. – С.197 - 204.