

# ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.77

Кальченко А.А., Пашенко К.Г., Кургузов С.А.

## ВОЛОЧЕНИЕ ПРОВОЛОКИ В РЕЖИМЕ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

**Аннотация.** Основным способом производства проволоки является волочение заготовки (катанки) в монолитной волоке. Существующие конструкции волочильного инструмента обеспечивают волочение проволоки в режиме граничного трения, что вызывает ряд негативных явлений. Повышение деформационного разогрева проволоки и инструмента до 200-300°C снижает эксплуатационную стойкость волок, ухудшает качество готовой проволоки и реологические свойства технологической смазки.

Рациональным является такой процесс волочения, при котором давление смазки будет равняться сопротивлению металла деформации, т.е. когда волочение будет осуществляться в режиме жидкостного трения.

Получение столь высокого давления обеспечивается конструкцией волочильного инструмента, состоящего из обоймы, волоки и трубки – насадки.

В работе представлена аналитическая модель, определяющая давление смазки от геометрических параметров конструкции трубки насадки и свойств самой смазки.

При многократном волочении для каждой протяжки, из-за увеличения сопротивления деформации проволоки за счет наклепа металла, потребуется свой волочильный инструмент с конкретными геометрическими параметрами, что приведет к увеличению парка инструмента.

На основе проведенных исследований разработана универсальная конструкция волочильного инструмента, позволяющего автоматически обеспечивать режим жидкостного трения при волочении проволоки из различных марок сталей и цветных металлов. Предлагаемая конструкция, состоящая из обоймы, рабочей и опорной волок, отличается от известных тем, что напорная волока устанавливается в обойме с возможностью осевого перемещения.

Величина перемещения напорной волоки при установившемся процессе волочения пропорциональна давлению смазки в очаге деформации, которая хорошо коррелирует с аналитической моделью, приведенной в данной работе.

**Ключевые слова:** волочение проволоки, трение, волочильный инструмент, смазочный материал, пластичность, твердость, временное сопротивление разрыву, бесфиллерное волочение, волока, проволока, катанка, удаление окалины, обжатие, вытяжка.

Основным способом производства проволоки является волочение заготовки (катанки) через монолитную волоку.

При волочении значительная часть энергии превращается в тепло, которое нагревает деформируемый металл, волоку и смазку. Нагрев протягиваемого металла (>150-250°C) ухудшает условия волочения из-за выгорания смазки, а у стальной проволоки может вызвать деформационное старение металла. Также отрицательное влияние оказывает высокая температура на стойкость волочильного инструмента, который нагревается значительно выше, чем проволока.

В современной науке и практике внешнее трение условно делится на сухое, граничное, жидкостное и пластогидродинамическое. Граничное трение предполагает наличие пленки смазочного вещества между трущимися поверхностями. Граничный слой смазки состоит из нескольких молекул и характеризуется ярко выраженной ориентированной структурой и слоистым строением. Эффективность применения смазок определяется их адгезионными и прочностными свойствами. Известно, что прочность граничной пленки смазки иногда является недостаточной из-за высоких напряжений и температур при волочении, чтобы полностью разделить трущиеся поверхности. Жидкостное

и пластогидродинамическое трение имеет давление в слое смазки, способное разделить трущиеся тела. В этих условиях смазочный слой имеет толщину в десятки тысяч молекул и поэтому не лишен реологических свойств, присущих большому объему. Толщина пленки смазки превышает высоту шероховатости тела и надежно экранирует трущиеся поверхности от контакта между собой. Пластогидродинамическое трение имеет место, если смазка наряду с вязкими обладает и пластическими свойствами.

Трение при волочении требует дополнительных затрат энергии для его преодоления. Оно ограничивает единичные обжатия. На преодоление сил трения даже при условии применения удовлетворительной технологической смазки затрачивается 40-50% от общей силы волочения. Силы трения в очаге деформации вызывают износ инструмента, и тем больший, чем больше их величина; ухудшается качество поверхности изделия. Повышение обрывности металла также связано с трением в очаге деформации.

Силы трения, возникающие в очаге деформации между поверхностью протягиваемой проволоки и инструментом, оказывают значительное влияние на процесс волочения: усилие волочения, а следовательно, и удельный расход мощности на волочение, скорость волочения, надежность (безобрывность) процесса волочения, износ волочильного инструмента и

другие параметры во многом зависят от силы трения.

Процесс трения при волочении отличается от обычного трения скольжения, возникающего в традиционных трущихся парах, и значительно усложняется следующими причинами:

- весьма большие удельные давления, а поэтому подача смазки в зону деформации с целью создания условий жидкостного или даже полужидкостного трения весьма затруднена;
- значительные пластические деформации протягиваемого металла;
- деформационный разогрев проволоки и инструмента значительно ухудшает реологические свойства технологической смазки.

Все это вместе взятое предъявляет особые требования как к самим смазочным материалам, а также к методам их подачи в зону деформации. Снижение коэффициента трения при волочении в производственных условиях может быть достигнуто за счет:

- оптимальной геометрии и высокого качества обработки поверхности волочильного инструмента;
- применения волочения с противонапряжением;
- подачи смазки в зону деформации под большим давлением;
- нанесения на поверхность проволоки качественного подсмазочного слоя;
- интенсивного охлаждения проволоки и инструмента.

Простой способ создания давления на входе в волоку заключается в нагнетании смазки в очаг деформации самой проволоки за счет её прилипания (адгезий) к поверхности проволоки при прохождении её через мыльницу.

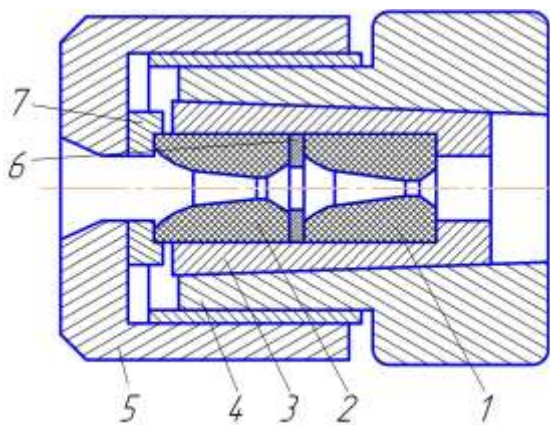


Рис. 1. Сборная волока для волочения проволоки в режиме гидродинамического трения:

- 1 – рабочий твердосплавный вкладыш; 2 – напорный вкладыш; 3 – зажимная втулка; 4 – корпус; 5 – гайка; 6 – уплотнение; 7 – упорная шайба

Сборные волоки были разработаны в начале 60-х годов прошлого века сотрудниками Уральского института черных металлов под руководством В.Л. Колмогорова. В работах В.Л. Колмогорова с сотрудниками достаточно полно освещены вопросы

применения сборных волок для создания условий гидродинамической смазки при сухом волочении проволоки.

Сборная волока, разработанная В.Л. Колмогоровым с сотрудниками, состоит из рабочей твердосплавной волоки и твердосплавного напорного элемента, свободно вставляемых в стальную коническую зажимную втулку, разрезанную по образующей. В качестве напорного элемента применяются твердосплавные волоки. Втулка с ними помещена в коническое отверстие стальной обоймы-корпуса и плотно впрессована в нее. При этом предварительное радиальное напряжение волок получается достаточным для обеспечения их нормальной работы (предотвращается их раскалывание). Твердосплавная напорная волока имеет внутренний диаметр, несколько больший, чем исходная проволока, что обеспечивает нагнетание смазки и повышенное давление перед рабочей волокой. Одно из преимуществ сборных волок состоит в возможности их применения на большинстве действующих проволочных машин без каких-либо существенных конструктивных изменений мыльниц и держателей волок [1].

К сожалению, эти системы имеют один главный конструктивный недостаток: отработанная сухая смазка накапливается между рабочей и напорной волоками, периодически просачивается в корпус и затем выдавливается в мыльницу. Только один этот эффект вызывает три главные проблемы, которые значительно снижают эффективность всей системы давления.

Первая проблема связана с повторным использованием смазки, подвергнутой воздействию высоких температур и давлению. Размельчение и добавление такой смазки к свежему порошку вызывает снижение смазочной способности смазки и увеличение абразивного износа волок. Вторая главная проблема состоит в снижении диссипации тепла из-за образования барьера на пути поглощения тепла стенками инструмента в виде отработанной перегретой смазки, сжатой между волоками и их обоймами. При этом повышение уровня нагрева вызывает уменьшение содержания жиров в смазке, что снижает смазочную способность и вязкость смазки. Далее, в результате повышения нагрева самого твердосплавного инструмента возникает эрозия частиц вольфрама, что увеличивает износ волок, возрастают работа упрочнения проволоки и тепловая кристаллизация смазки, вызывающая образование «туннеля» и ухудшение смазывания проволоки при проходе. Третья главная проблема – низкое давление и отсутствие управления им, что вызывает непостоянное неоптимальное функционирование таких систем нагнетания смазки.

Данные системы, создавая повышенное давление смазки перед рабочей волокой, не решали главной задачи создания режима жидкостного трения при волочении проволоки [3,4].

Более широкие возможности по получению режима жидкостного трения обеспечивает конструкция

волоочильного инструмента, состоящего из обоймы, волокна трубки-насадки (рис. 2). При движении проволоки через мыльницу к волоочильному инструменту на слой смазки, захваченной поверхностью проволоки при входе в очаг деформации, действует препятствующее дальнейшему движению смазки удельное давление  $P$ . С другой стороны, обратному току смазки препятствует сила сопротивления трубы, которая из гидродинамики определяется как [2]

$$R = 2\pi(d + h)l\tau_{см}, \quad (1)$$

где  $\tau_{см}$  – напряжение сдвига смазки;

$l$  – длина трубы;

$d$  – диаметр проволоки.

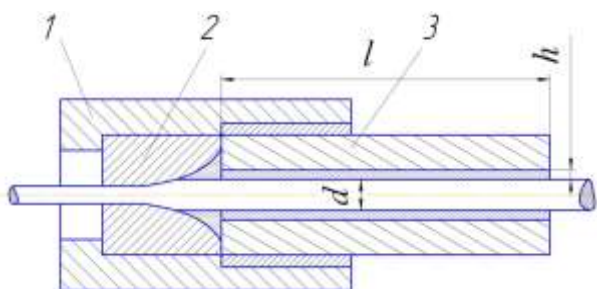


Рис. 2. Конструкция волоочильного инструмента:  
1 – обойма; 2 – волокно; 3 – трубка-насадка

Для достижения условия волочения в режиме жидкостного трения необходимо, чтобы выполнялось равенство

$$P = R / F,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения смазки в трубе-насадке, равная:

$$F = 2\pi(d + h). \quad (2)$$

$$\text{Тогда } P = 2l\tau_{см} / h. \quad (3)$$

Откуда длина трубки насадки, необходимая для получения давления  $P$  при зазоре  $h$ :

$$l = Ph / (2\tau_{см}). \quad (4)$$

Из уравнения (3) видно, при  $\tau_{см} = \text{const}$ , установленном процессе волочения, давление смазки, создаваемое данным инструментом, зависит только от длины трубки-насадки и зазора  $h$ .

Оптимальным является такой процесс волочения, при котором давление смазки перед входом металла в очаг деформации достигает величины сопротивления его деформированию. Следовательно, при многократном волочении для каждой протяжки потребуется свой волоочильный инструмент с конкретными геометрическими параметрами ( $l$ ,  $h$ ), что приводит к увеличению парка инструмента.

Частично данную проблему решает волоочильный

инструмент с регулируемым давлением смазки в очаге деформации [5]. Однако данная конструкция волоочильного инструмента требует настраивать регулятор давления для каждого конкретного технологического режима волочения, что является существенным его недостатком.

На рис. 3 представлена более универсальная конструкция волоочильного инструмента, позволяющего автоматически обеспечить режим жидкостного трения при волочении проволоки из различных марок сталей и цветных металлов. Предлагаемая конструкция отличается от известных тем, что напорная волокна устанавливается в корпусе волоочильного инструмента с возможностью ее осевого перемещения [6].

При установленном процессе волочения напорная волокна отходит от рабочей на расстояние  $l$  (рис. 3,б), обеспечивающее давление смазки  $P$ , равное сопротивлению металла деформации согласно уравнению (3). Применение данной конструкции позволяет изменить величину давления в очаге деформации в широком диапазоне, которое определяется условиями волочения (сопротивления металла деформации, скоростью волочения и т.д.).

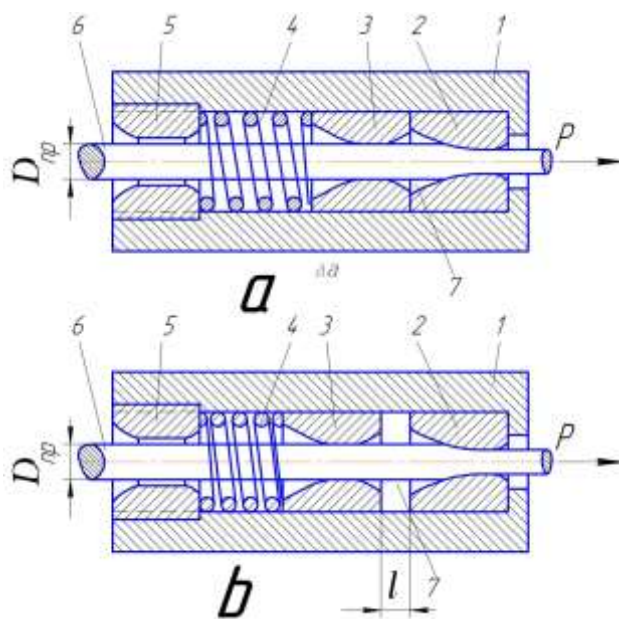


Рис. 3. Конструкция волоочильного инструмента:  
1 – корпус; 2 – рабочая волокна; 3 – напорная волокна;  
4 – пружина; 5 – гайка; 6 – проволока; 7 – полость;  
а – работа в режиме граничного трения; б – работа в режиме жидкостного трения

В таблице показаны результаты эксперимента по выявлению зависимости напорного давления от длины напорного участка  $l$  и величины зазора  $h$  (по рис. 2), давление сдвига смазки  $\tau_{см}$  соответствует 0.75 МПа.

Напорное давление  $P$ , МПа

Зазор $h$ , мм	Длина трубки насадки $l$ , мм		
	70	100	130
0.2	420	620	730
0.3	310	440	540
0.4	240	380	480

Экспериментальные точки возможно аппроксимировать прямой  $\frac{P}{\tau_{сМ}} = 2 \frac{l}{h}$  (рис. 4).

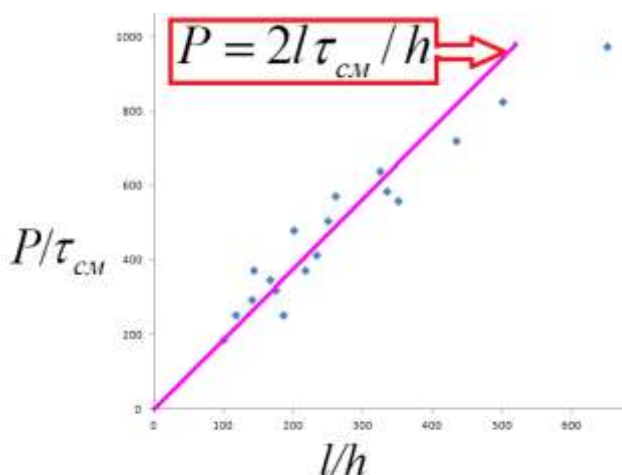


Рис. 4. Зависимость относительного напорного давления от относительной длины напорной трубки

Таким образом, данная конструкция волоочильного инструмента обеспечивает волочение практически любой проволоки в режиме жидкостного трения, позволяет увеличить эксплуатационную стойкость волок более чем в 3 раза, повысить скорость волочения и качество готовой продукции.

**Список литературы**

1. Колмогоров Г.Л., Орлов С.И., Шевляков В.Ю. Инструмент для волочения. М.: Metallurgy, 1992.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1 М.: Наука, 1970. 492 с.
3. Кальченко А.А. Рузанов В.В. Инструмент и системы смазки для волочения проволоки: учеб. пособие. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2014. 55 с.
4. Кальченко А.А. Волочение биметаллической сталлеалюминиевой проволоки // Теория и практика производства метизов. Свердловск, 1977.
5. Кальченко А.А., Коковихин Ю.И. Инструмент для волочения проволоки в режиме гидродинамического трения: пат. №618154 СССР.
6. Кальченко А.А., Рузанов В.В. Устройство для волочения изделий в режиме гидродинамического трения: пат. №1470385 СССР.

**Сведения об авторах**

**Кальченко Александр Андреевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Процессы и машины обработки давлением и машиностроения», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: kalchenko1945@yandex.ru

**Пашченко Константин Георгиевич** – ст. преп. кафедры «Процессы и машины обработки давлением и машиностроения», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: pashhenko-k-g@ya.ru

**Кургузов Сергей Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Процессы и машины обработки давлением и машиностроения», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: ksaask@mail.ru

*INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH*

**LIQUID FRICTION WIRE DRAWING TOOL**

**Alexander A Kal'chenko** – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: kalchenko1945@yandex.ru

**Konstantin G. Pashchenko** – Assistant Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: pashhenko-k-g@ya.ru

**Sergey A. Kurguzov** – PhD (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: ksaask@mail.ru

**Abstract:** *The main method of wire production is drawing the billet (wire rod) in a monolithic die. Existing designs of the drawing tool provide wire drawing in the boundary friction mode, which causes a number of negative phenomena. An increase in the deformational heating of the wire and tool to 200-3000C, which leads to a decrease in the operational resistance of the dies, a decrease in the quality of the finished wire and a deterioration in the rheological properties of the technological lubricant.*

*A rational drawing process is one in which the lubricant pressure equals the resistance of the metal to deformation, i.e. when the drawing will be carried out in liquid friction mode.*

*Obtaining such a high pressure is ensured by the design of the drawing tool, consisting of a holder, die and tube - nozzles.*

*The paper presents an analytical model that determines the pressure of the lubricant from the geometric parameters of the design of the nozzle tube and the properties of the lubricant itself.*

*With multiple drawing for each broach, due to an increase in wire deformation resistance due to metal hardening, you will need your own drawing tool with specific geometric parameters, which leads to an increase in the tool park.*

*Based on the studies, a universal design of a drawing tool has been developed, which allows to automatically ensure liquid friction during wire drawing of various grades of steel and non-ferrous metals. The proposed design, consisting of a cage, a working and a support die, differs from the known ones in that the pressure die is mounted in the cage with the possibility of axial movement.*

*The magnitude of the displacement of the pressure die, with the steady-state drawing process, is proportional to the pressure of the lubricant in the deformation zone, which correlates well with the analytical model presented in this paper.*

**Keywords:** *drawing of a wire, friction, drawing tool, lubricant, hardness, tensile strength, drawing mill, wire, rod, descaling, compression, ductility, die plates, drawing out,*

---

Ссылка на статью:

Кальченко А.А., Пашченко К.Г., Кургузов С.А. Волочение проволоки в режиме жидкостного трения // Теория и технология металлургического производства. 2020. №1(32). С. 26-30.

Kal'chenko A.A., Pashchenko K.G., Kurguzov S.A. Liquid friction wire drawing tool. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2020, vol. 32, no. 1, pp. 26-30.