

УДК 621.315

**Т.В. Костыгова, А.А. Путилова**Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, Россия

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЛОК ПРИ ВОЛОЧЕНИИ МЕДНОЙ ПРОВОЛОКИ**

Рассматривается сложная структура волочильного инструмента, который используется в технологическом процессе волочения проволоки. В ходе эксплуатации волокна подвергается различным типам износа: кольцо износа, полосы, трещины и сколы. Их необходимо своевременно обнаружить и устранить, иначе поверхность проволоки получится некачественной и непригодной к дальнейшей эксплуатации. Допускается перешлифовка волокна на больший диаметр, но при этом изменяется геометрия всей структуры канала. Применение перешлифовки возможно определённое количество раз, так как уменьшаются толщина стенок волочильного инструмента, и параметры основных зон волочильного канала. Очень важен материал волочильного инструмента. При его выборе учитывают следующие свойства: твёрдость, теплопроводность и сопротивление радиальному разрушению. Цель работы заключается в расчёте необходимого количества волок, которое будет применено при волочении медной проволоки диаметром от 8,0 до 0,20 мм, а также в вычислении и сравнении необходимой потребности в волочильных инструментах из алмаза и победита. Для данного процесса были использованы две марки волочильного оборудования: MSM 85 (агрегат грубого волочения), и ММН 121 (агрегат среднего волочения), на которых производилось поочерёдное протягивание металла через волочильные отверстия вплоть до необходимого диаметра. После произведённых расчётов, был сделан вывод о важности правильного использования волок и выбора материалов волочильного инструмента, о снижении экономических затрат. Были составлены таблицы, содержащие информацию о максимальном увеличении диаметра вставки и о количестве потребности в волокнах на волочильной машине типа MSM 85.

**Ключевые слова:** волокна, волочильный инструмент, износ, медная проволока, перешлифовка, алмаз, победит, эффективное использование.

**T.V. Kostygova, A.A. Putilova**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

## **THE EFFICIENCY OF THE USE AND OPERATION OF DIES FOR DRAWING COPPER WIRE**

The complex structure of the drawing tool, which is used in the technological process of wire drawing, is considered. In the course of operation, the die is subjected to various types of wear: a wear ring, strips, cracks and chips. They must be detected and eliminated in a timely manner, otherwise the surface of the wire will turn out to be of poor quality and unfit for further use. It is allowed to rounding the

die to a larger diameter, but at the same time the geometry of the entire channel structure changes. The use of re-grinding is possible a certain number of times, as the thickness of the walls of the drawing die tool and the parameters of the main areas of the die hole are reduced. The material of the drawing die tool is very important. When choosing it, the following properties are taken into account: hardness, thermal conductivity and resistance to radial fracture. The aim of the work is to calculate the required amount the die that will be used when drawing copper wire with a diameter from 8,0 to 0,20 mm, including in the calculation of the availability of the necessary quantities in drawing die tools from diamond and the cemented carbide. For this process, two make of wire-drawing equipment were used: MSM 85 (rough drawing machine), and MMN 121 (mean drawing machine), which alternately rolled metal through drawing die orifice up to the required diameter. After the calculations, the conclusion was made about the importance of the correct use of die, and the choice of materials drawing tool, the reduction of economic costs. Tables were compiled containing information on the maximum increase in the diameter of the insert and on the number of needs in the dies on a wire-drawing machine such as MSM 85.

**Keywords:** die, drawing die tool, wear, copper wire, rounding, diamond, cemented carbide, the efficiency of the use

**Введение.** На кабельных предприятиях проволоку получают путём волочения – протягивания катанки через ряд волок необходимого диаметра. Имеет огромное значение качество волочильного инструмента.

**1. Структура волочильного инструмента и типы износа волоки.** Волоки для волочения проволоки имеют определенную конструкцию и изготавливаются из твёрдых сплавов (победит, технический алмаз (ND), монокристалл (SSCD) и поликристалл (PCD)). Выбор данных материалов позволяет увеличить износостойкость инструмента. Конструкция волоки приведена на рис. 1.

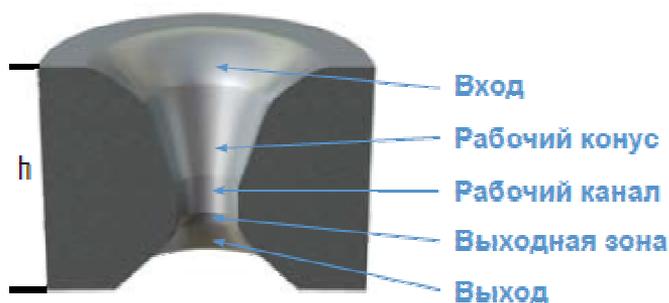


Рис. 1. Конструкция волоки

Волока имеет пять зон. Вход обеспечивает подачу смазочного материала и проволочной заготовки к обжимающему конусу и рабочему пояску. Плавный переход к началу рабочего конуса служит для того, чтобы на переходе не было резких граней. Стандартный угол входа для волоки равен  $60^\circ$ , длина 0,1–0,3 от высоты  $h$  [1, 2].

Рабочий конус, самая важная часть волокни, необходим для деформации (сужения) проволоки. Угол рабочего конуса равен  $12\text{--}20^\circ$ , длина  $0,4 - 0,6 \times h$  [1, 2].

Характеристики рабочего канала (калибрующего пояска) определяют качество поверхности и диаметр проволоки. Его длина обычно составляет  $20\text{--}50\%$  от номинального размера диаметра [1].

Выходная зона — участок с гладко отшлифованной поверхностью, обеспечивающий плавную подачу проволоки из рабочего пояска, сводящий к минимуму скобление проволоки, вызванное ее смещением.

На выходе проволока вытягивается из волокни. Высота выхода должна быть достаточной для обеспечения сопротивления продольному механическому усилию, создаваемому процессом волочения.

Точка, где проволока соприкасается с поверхностью рабочего конуса, очень важна для процесса волочения. Для большинства волок контакт должен иметь место между  $1/3$  и  $2/3$  высоты поверхности рабочего конуса, чтобы обеспечить хорошую деформацию металла. Кольцо износа в первую очередь образуется непосредственно под точкой вхождения [2]. Точки контакта проволоки с волокой можно увидеть на рис. 2.

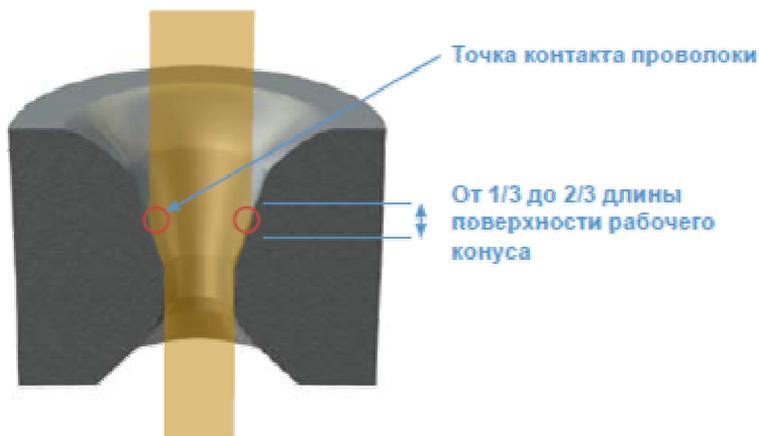


Рис. 2. Точки контакта проволоки с волокой

При выборе материала для производства волок учитывают его твердость, теплопроводность и сопротивление радиальному разрушению. Сравнения физических свойств приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Физические свойства материала

Свойства	PCD	ND	SSCD	Победит
Твёрдость, ГПа	50	88-118	50-100	50
Теплопроводность, Вт/(м·К)	500-600	800-2300	600-2200	29,33
Сопротивление радиальному разрушению, ГПа	1,8	2,0	2,9	1,5

По мере использования существует несколько типов износа: образование кольца износа, полос царапин, трещин, сколов в алмазах [1, 3, 15].

При волочении проволока уменьшается в диаметре и удлиняется в рабочем конусе. С этой границы проволока соприкасается с поверхностью алмаза и начинает формировать кольцо. Это кольцо износа становится глубже по мере того, как проволока проходит через волоку.

Полосы являются показателями тяжелого или чрезмерного износа. Полосы обычно начинаются на кольце износа и проходят до рабочего канала вдоль конуса обжатия. Как только полосы достигают калибрующей зоны и входят в неё, поверхность проволоки быстро ухудшается и размер резко увеличивается.

Трещины могут появляться в том случае, если волока чрезмерно изношена, имеет резкое сужение или испытывает большое напряжение волочения. Но из-за кольца износа визуально их можно не увидеть. Если трещина находится между кольцом износа и рабочим каналом, волоку обычно разрушают или выбрасывают. Когда трещина находится выше кольца износа, волока может быть отремонтирована, так как трещина располагается вне рабочей зоны волоки.

Другим последствием износа может быть скалывание материала с поверхности алмаза, называемое «сколами» в натуральных или синтетических монокристаллических алмазах и «вылетающими частичками» в PCD. Особенно это может происходить в PCD-волоках с крупным зерном или в ND и SSCD-волоках из-за собственной структуры алмаза, особенно в крупных размерах [1, 4–8].

**2. Ремонт волоки и результаты расчёта эффективности использования волочильного инструмента из алмаза и победита.** При эксплуатации происходит изнашивание волок – проволока оставляет отметки на поверхности волоки, и её ремонт становится необходимым.

Для определения степени износа волочильного инструмента проводится периодический контроль волок. В мастерской производятся переполіровка и ремонт волок.

Переполіровка включает в себя устранение дефектов, вызванных волочением проволоки в рабочем конусе. Данная процедура возможна только на волокнах с незначительным износом. Эта операция может укоротить длину рабочего канала, но рабочий диаметр сохранится [9–13].

Ремонт волокна – это полное восстановление волокна, создание соответствующей геометрии. Он устраняет все дефекты, появившиеся в результате прохода проволоки через волочильный инструмент. Эта операция увеличивает диаметр волокна. Значение необходимого увеличения диаметра волокна зависит от износа и общего состояния волокна.

Увеличение диаметра волокна возможно до определенного предела и зависит от износа и общего состояния волокна. Этот предел ограничивается размерами вставки как по высоте, так и по диаметру. При увеличении диаметра вставки необходимо учитывать то, что угол конуса не должен меняться. Диаметр может быть увеличен несколько раз. Максимальное увеличение диаметра каждой вставки для нескольких размеров приведено в табл. 2. Но после нескольких ремонтов вставка становится слишком мала, чтобы удерживать первоначальную геометрию, и такая проволока должна быть заменена. Внешний вид проволоки со вставкой: 5010, с начальным диаметром 0,429 мм, и углом конуса 18 °С после ремонта представлен на рис. 3.

Для расчёта технологического процесса волочения необходимо определить количество волок. Количество волок для проволоки круглого сечения определяется по формуле:

$$k = \frac{\lg(d_0^2 / d_k^2)}{C - \alpha \lg(d_0^2 / d_k^2)}, \quad (1)$$

где  $C$  и  $\alpha$  – коэффициенты, зависящие от вида металла и диаметра протягиваемой проволоки. ( $C = 0,11 \dots 0,20$ ,  $\alpha = 0,01 \dots 0,03$ );  $d_0$  и  $d_k$  – диаметр исходной заготовки и конечный диаметр изделия.

В дальнейшем рассчитывается диаметр каждой волокна по формуле:

$$\lg d_n = \lg d_0 - \lg \frac{d_0}{d_k} \cdot \frac{(1 + \alpha k)}{k} \cdot \frac{n}{1 + \alpha n}, \quad (2)$$

где  $n$  – номер промежуточной волокна [14].

Таблица 2

## Максимальное увеличение диаметра вставки

Размер зерна	5	Самоподдерживающиеся вставки			
		D-6 5010	D-12 5015	D-15 5025	D-18 5035
Размер вставки, мм		3,1×1,0	3,1×1,5	5,2×2,5	5,2×3,5
Максимальный рекомендуемый новый размер волоки, мм		0,5	1,0	1,5	2,0
Максимальный диаметр, мм					
0,101-0,400					
0,401-0,600					
0,601-0,800					
0,801-1,000					
1,001-1,200					
1,201-1,400					
1,401-1,600					
1,601-1,800					
1,801-2,000					
2,001-2,200					
2,201-2,400					
2,401-2,600					
2,601-2,800					

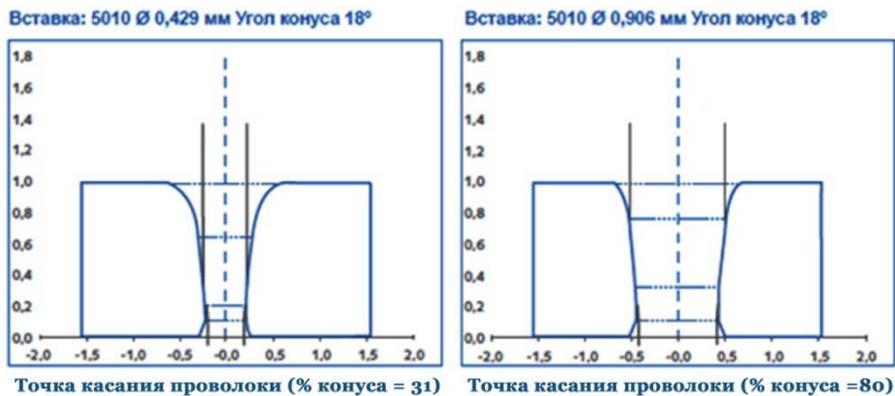


Рис. 3. Внешний вид волоки до и после ремонта

Рассчитывается вытяжка  $\mu$  по проходам и обжатие  $\delta$ . Допустимое обжатие заготовки из практических соображений не должно превышать 28 %. Расчёт вытяжки и обжатия производится по формулам (3) и (4) [6–10]:

$$\mu = \frac{d_{n-1}^2}{d_n^2} = \frac{d_0^2}{d_k^2}, \quad (3)$$

$$\delta = \left( 1 - \frac{1}{\mu} \right), \quad (4)$$

Для расчёта необходимого количества волок (1), которое будет применено при волочении медной проволоки диаметром от 8,0 до 0,20 мм, было использовано две марки оборудования: MSM 85 и ММН 121. На первом агрегате (MSM 85) изделие волочилось до диаметра 1,80 мм, на втором (ММН 121) – от 1,80 до 0,20 мм. Также были просчитаны диаметр каждой волоки (2), вытяжка по проходам (3) и обжатие (4). Проанализировав результаты, полученные при расчёте маршрута волок для двух агрегатов, были составлены следующие номограммы, представленные на рис. 4 и 5. Из них видно, что с увеличением числа волок уменьшается диаметр заготовки.



Рис. 4. Номограмма расчёта волочения для агрегата MSM 85



Рис. 5. Номограмма расчёта волочения для агрегата ММН 121

При выборе материала, из которого будет изготавливаться, а в дальнейшем использоваться волокна, необходимо учитывать несколько факторов, один из которых – это фактор износостойкости волокна. Рассчитав исходные данные средней эксплуатационной стойкости волокоотверстий, а также частный и суммарный расход, было вычислено количество алмазных и победитовых волокон, которое необходимо использовать для волочения проволоки диаметром от 8,00 до 1,80 мм с годовым выпуском 185 т на агрегате MSM 85. Результаты расчётов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Количество потребности в волокнах на волочильной машине MSM 85

Основной маршрут, мм	Алмазные волокна, шт			Победитовые волокна, шт		
	Средняя эксплуатационная стойкость волокоотверстий, кг	Частичный расход волокоотверстий, шт/т	Потребность в волокнах, шт., принятое	Средняя эксплуатационная стойкость волокоотверстий $C_1$ , кг	Частичный расход волокоотверстий, шт/т	Потребность в волокнах, шт., принятое
6,79	20 000 $d^2$	0,00108	1	1000 $d^2$	0,0217	5
5,78		0,0015	1		0,0299	6
4,94		0,00205	1		0,0410	8
4,23		0,00279	1		0,0559	11
3,64	30 000 $d^2$	0,00252	1		0,0755	15
3,14		0,00338	1		0,1014	20
2,72		0,00451	1		0,1352	26
2,37		0,00593	2		0,1780	34
2,06		0,00786	2		0,2356	45
1,8		0,01029	2		0,3086	59

Видно, что потребность в использовании новых победитовых волокон гораздо выше, чем в алмазных, из-за разницы в стойкости к износу. Износостойкость алмазной волокна в 20–80 раз больше, чем победитовой.

**Выводы.** В процессе волочения при использовании волокон необходимо учитывать их материал, постоянно следить за внутренним состоянием волочильного инструмента, а также при необходимости своевременно менять и ремонтировать его. При соблюдении данных условий существенно снизятся экономические затраты. Следует учитывать и то, что на качество поверхности проволоки и износ волокон существенно влияет состав волочильной смазки.

### **Библиографический список**

1. ESTEVES GROUP. Справочник о волоках the Ewizard. – Испания, Diamonds Tools Group BV, 2008. – 122 с.
2. Fort Wayne Wire Die, Inc. «BLUEBook» журнал спецификаций. – Fort Wayne Wire Die, Inc. – 2008. – 24 с.
3. Куренкова Т.П., Лазебникова И.П., Липаткина Т.Н. Определение возможных причин образования дефекта «точечное выкрашивание» в твердосплавном волочильном инструменте в процессе волочения // Литьё и металлургия. – 2011. – № 2. – С. 148–151.
4. Волочение. Понятие о технологическом процессе волочения [Электронный ресурс]. – URL: [http://studopedia.ru/10\\_133758\\_volochenie-ponyatie-o-tehnologicheskom-protsesse-volocheniya.html](http://studopedia.ru/10_133758_volochenie-ponyatie-o-tehnologicheskom-protsesse-volocheniya.html) (дата обращения: 07.03.2017).
5. Исследование влияния геометрии рабочего канала волокна на усилие волочения и эксплуатационную стойкость / В.Ф. Даненко, Е.Ю. Кушкина, Г.Н. Иванова, А.М. Буров, И.А. Ильиных // Известия Волгоград. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 5. – С. 85–89.
6. Костыгова Т.В. Технология производства проводов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 68 с.
7. Берин И.Ш., Днестровский Н.З. Производство медной и алюминиевой проволоки. – М.: Металлургия, 1975.
8. Ватрушин Л.С. Волочение цветных металлов. – М.: Металлургия, 1981.
9. Copyright ЕвроВол. 2009-2016. All Rights Reserved [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.voloki.ru> (дата обращения: 07.03.2017).
10. Волочение проволоки – все тонкости технологии [Электронный ресурс]. – URL: <http://tutmet.ru/volochenie-mednoj-provoloki-filery-standok-video.html> (дата обращения: 07.03.2017).
11. Волочение проволоки [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.voloka.ru/uploads/files/fff.doc> (дата обращения: 07.03.2017).
12. Описание изобретения [Электронный ресурс] / В.П. Колпак, С.Е. Ноздрин, А.С. Востриков, Т.Н. Коллерова. – URL: [http://www.findpatent.ru/img\\_show/7265074.html](http://www.findpatent.ru/img_show/7265074.html) (дата обращения: 07.03.2017).
13. Технология волочения [Электронный ресурс]. – URL: [http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00141353\\_0.html](http://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00141353_0.html) (дата обращения: 07.03.2017).





15. Volochil'noe proizvodstvo. Vidy volocheniia. Oborudovanie i instrument. Tekhnologiiia volocheniia provoloki [Drawing production. Types of drawing. Equipment and tools. Wire drawing technology], available at: [http://studopedia.ru/8\\_156544\\_lektsiya--volochilnoeprozvodstvo-vidi-voloche niya-sortament-produktsii-volochenie-trub-prutkov-provoloki-oborudovanie-i-instrument-tehnologiya-volocheniya-provoloki.html](http://studopedia.ru/8_156544_lektsiya--volochilnoeprozvodstvo-vidi-voloche niya-sortament-produktsii-volochenie-trub-prutkov-provoloki-oborudovanie-i-instrument-tehnologiya-volocheniya-provoloki.html) (accessed 07 March 2017).

### **Сведения об авторах**

**Костыгова Татьяна Васильевна** (Пермь, Россия) – доцент кафедры конструирования и технологии в электротехнике Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 2391854@mail.ru).

**Путилова Анастасия Алексеевна** (Пермь, Россия) – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: liminor\_777@mail.ru).

### **About the authors**

**Kostygova Tatyana Vasilevna** (Perm, Russian Federation) is an Associate Professor at the Department of Engineering and Technology in Electrical engineering Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: 2391854@mail.ru).

**Putilova Anastasiya Alekseevna** (Perm, Russian Federation) is a Student Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: liminor\_777@mail.ru).

Получено 28.04.2017