

На правах рукописи

ОВЧАРЕНКО Владимир Михайлович

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ  
ПРЯДЕЙ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ  
И ПРОВОЛОКИ  
В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННОЙ  
ВОЛОКЕ

Специальность: 05.16.05 — „Обработка металлов давлением“

АВТОРЕФЕРАТ  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00810466 (P)

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
Институт черной металлургии им. З.И. НЕКРАСОВА

На правах рукописи

ОВЧАРЕНКО Владимир Михайлович

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ВОЛОЧЕНИЯ  
ПРЯДЕЙ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ И ПРОВОЛОКИ  
В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННОЙ ВОЛОКЕ

Специальность 05.16.05- "Обработка металлов давлением"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1984 год

АВ 22.10.94

Работа выполнена в отраслевой научно-исследовательской лаборатории прикладной металлофизики и неразрушающих методов контроля Одесского Государственного университета им. И.И.Мечникова.

Научный руководитель: доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины  
А.А.КАНОНИК

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Ю.И.КОКОВИХИН  
кандидат технических наук  
А.П.ЛОХМАТОВ


Ведущее предприятие - Днепропетровское метизное производственное объединение (ДМПО)

Защита состоится "26" мая 1994г. в 12 часов на заседании специализированного совета К141.02.01 в Институте черной металлургии АН Украины по адресу: 320050, г.Днепропетровск, пл.Стародубова,1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института черной металлургии.

Автореферат разослан "15" апреля 1994г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук

 Г.В.Левченко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эффективность металлургического производства в большой степени зависит от рационального использования катанки на сталепроволочно-канатных и метизных предприятиях. При этом такие задачи, как снижение затрат на материалы и ресурсы, повышение производительности производства и качества проволочной продукции имеют общее хозяйственное значение. Традиционные методы решения этих задач каждой в отдельности не дали существенных положительных результатов. Поэтому предлагается метод комплексного решения всех этих задач, основанный на самоорганизационном подходе к процессам пластической деформации стальной катанки, проволоки и прядей для стальных канатов.

Такой подход позволяет определить оптимальные конструктивно-технологические параметры волоочильного инструмента с учетом сложного механизма пластической деформации обрабатываемого изделия в процессе его волочения. В результате повышаются стойкость волоочильного инструмента и качество обрабатываемого изделия, производительность процесса волочения, снижаются энергосиловые и другие затраты, а также улучшается экология сталепроволочного производства.

Цель работы. Повышение эффективности процессов волочения прядей стальных канатов и проволоки за счет оптимизации конструктивно-технологических параметров волоочильного инструмента путем увеличения стойкости твердосплавной волоки, уменьшения силы волочения, снижения затрат на подготовку и проведение процессов волочения.

Научная новизна: - установлена перегруженность твердосплавной волоки окружающими нормальными растягивающими напряжениями, которые на внутренней контактной поверхности превышают предел прочности материала волоки; - получено условие прочности твердосплавной волоки и предложен критерий стойкости волоочильного инструмента; - выявлена связь между величиной напряжения предварительного сжатия и основными видами разрушения твердосплавной волоки; - определены оптимальные конструктивно-технологические параметры одинарного предварительно-

напряженного волоочильного инструмента; -разработан метод повышения стойкости волоочильного инструмента.

Практическая ценность. Оптимальные конструктивно-технологические параметры волоочильного инструмента позволят экономить твердый сплав, стальную проволоку, смазку, воду и снизить затраты на изготовление инструмента и процесс волочения.

Определение геометрии канала волоки по профилю шейки позволит повысить стабильность процесса волочения и качество получаемого изделия, снизить требования к подготовке катанки и заготовки к волочению, улучшить экологию производства.

Предложен перспективный способ пластического обхвата прядей, который с использованием прядевьющих машин двойной скрутки позволит значительно повысить производительность и качество прядей и канатов.

Реализация результатов работы. Проволочный канат по а.с.№653321 был изготовлен на ВСПКЗ и отмечен медалью ВДНИ СССР.

Согласно проведенным разработкам изменена технология запрессовки волок на Одесском сталепроволочно-канатном заводе, что позволило уменьшить расход твердого сплава на 8%.

Метод определения напряженно-деформированного состояния твердосплавной волоки учтен в разработках новых способов абразивной обработки и контроля волоочильного канала, которые проводятся с Одесским сталепроволочно-канатным заводом.

Волоочильный инструмент по а.с.№1560350 испытан и рекомендован к внедрению на ОСПКЗ. Экономический эффект от внедрения полученных в работе результатов на Одесском сталепроволочно-канатном заводе составляет 77,88 тыс.руб. (в ценах 1990г.).

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на Всесоюзной научно-технической конференции "Прочность и долговечность стальных канатов" (г.Одесса, 1977г.); Республиканской школе передового опыта "Пути повышения стойкости твердосплавного и другого инструмента для производства метизов" (г.Одесса, 1979г.); Всесоюзном семинаре по проблемам повышения технологического ресурса стальных канатов (г.Одесса, 1981г.); областной метизной секции НТО ЧМ "Увеличение стойкости

водочильного инструмента" (г.Одесса,1983г.); Объединенном научном семинаре кафедры обработки металлов давлением ДМети и прокатных отделов ИЧМ Минчермета СССР (г.Днепропетровск,1983г.); Совместном заседании секции НТС ИГМИ и кафедры ЛВП (г.Магнитогорск,1985г.); Всесоюзном совещании метизников (г.Магнитогорск,1990г.).

Публикация материалов. По материалам диссертации опубликовано 13 статей и получено 7 авторских свидетельств на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 3-х глав, заключения и приложений, изложена на 128 листах машинописного текста, включает 16 иллюстраций, 15 таблиц и 80 литературных источников.

#### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

##### 1. Стальные канаты и технология их изготовления

Конструктивная сложность канатов, связанная с многообразием эксплуатационно-потребительских требований, приводит к технологическим трудностям при их производстве. Так агрегатная разрывная прочность каната в целом меньше суммарной разрывной прочности всех проволок каната на 8±26% в зависимости от конструктивно-технологических параметров. Для уменьшения этих потерь прочности (от свивки) и для стабилизации свойств многочисленных элементов каната применяют следующие дополнительные методы силовой обработки: обтяжка-предварительное растяжение готового каната, рихтовка-предварительный изгиб с растяжением каната, обкатка каната роликами и пластическое обжатие прядей.

Стальные канаты из круглых пластически обжатых прядей (типа ПК) показали повышенную работоспособность (в 1,5 и более раз) на шахтном наклонном подъеме, металлургических кранах и других грузоподъемных установках. Основное преимущество этих канатов (по сравнению с обычными круглопроволочными) заключается в том, что они состоят из фасонных проволок, которые контактируют между собой не по точкам и линиям, а по площадкам (полосам). Это повышает прочность и работоспособность канатов за счет увеличения заполнения поперечного сечения металлом и за

счет улучшения условий работы проволочных элементов канатов, обеспечиваемое повышенной взаимосвязанностью этих элементов и меньшей величиной контактных напряжений.

Технология изготовления этих канатов отличается от технологии изготовления обычных круглопроволочных канатов наличием дополнительной операции пластического обжатия прядей. Наиболее простым и сравнительно легко осуществимым способом пластического обжатия прядей является волочение, которое позволяет получать тонкие и точные по размерам профили, имеющие высокое качество поверхности на больших длинах. Наибольшее распространение получила схема совмещения операций свивки и волочения прядей, когда на прядевьющей машине вместо свивальных плашек устанавливали обычный твердосплавный волочильный инструмент, который очень широко используется при волочении стальной канатной проволоки.

Совмещение двух указанных операций привело к значительному ухудшению условий работы волочильного инструмента и силовых систем прядевьющего оборудования. Так операция свивки на прядевьющей машине определяет скорость волочения и условия смазки рабочего канала инструмента, а операция пластического обжатия прядей - внутреннее распорное давление на рабочий канал и характер его нагружения. Поэтому по сравнению с процессом волочения проволоки процесс волочения прядей имеет целый ряд особенностей: 1. Циклический характер нагружения внутренней рабочей поверхности инструмента, связанный с дискретностью структуры пряди; 2. Сравнительно небольшие по величине степень обжатия ( $\bar{\epsilon} = 12-16\%$ ) и скорость волочения ( $V = 40$  м/мин.), связанные со спецификой совмещенного процесса свивки и обжатия; 3. Сравнительно высокий предел прочности материала проволок, который, в принципе, может быть в 1,6 раз больше, т.к. прядь состоит из проволок меньшего диаметра и соответственно большей прочности; 4. Значительно хуже условия смазки на внутренней рабочей поверхности инструмента, что тесно связано со всеми предыдущими особенностями. При этом стойкость обычного твердосплавного волочильного инструмента уменьшилась примерно на порядок при почти стопроцентном разрушении.

Сравнительно частая замена волоочильного инструмента и связанная с этим перезаправка в сочетании с перегрузкой узлов и дегаей прядевьющей машины отрицательно влияли на качество пластически обхвата прядей, увеличивали затраты на инструмент, проволоку, энергоресурсы, что снижало эффективность процесса изготовления прядей и канатов. Переход от обычного твердосплавного волоочильного инструмента к двоянному (сборному) с разделением общей степени обхвата на две волюки позволил несколько уменьшить непроизводительные затраты времени на перезаправку и стабилизировать процесс свивки. Однако такой переход дополнительно повисил силу волочения и снизил стойкость инструмента.

## 2. Стойкость волоочильного инструмента

Современный волоочильный инструмент представляет собой довольно сложную конструкцию, основными составными частями которой являются монолитная твердосплавная волюка-заготовка (волюка) и металлическая обойма. Стойкость волоочильного инструмента - свойство волюки противостоять во время эксплуатации изменению формы и размеров волоочильного канала. В теории волочения различают следующие показатели стойкости: стойкость до налипания, стойкость до износа и стойкость до разрушения. Стойкость до разрушения считается более общим показателем, т.к. относится к волюке в целом, являясь результатом предельной усталости материала волюки, и характеризует ее состояние от самого начала до окончания эксплуатации, включая все перешлифовки.

По данным ВНИИМетиза большая часть твердосплавных волюк крупных форм выходит из строя в результате растрескивания в начальной стадии их использования и имеет низкую кратность повторного использования (количество перешлифовок). По данным Запорожского метизного завода двоянный волоочильный инструмент с волюками формы 9 при волочении проволоки диаметром 3,5-5,5 мм разрушается от 18% до 44%, а формы 11 при волочении проволоки диаметром 5,0-6,15 мм - от 30% до 56%. По данным Харцизского сталепроволочно-канатного завода разрушение волоочильного инструмента на первых переходах (входных или черновых волюк)

составляет 65,4-80,8%, а уже на втором переходе 19,2-26,9%. При этом общий расход твердого сплава по метизным предприятиям (обрабатывающим низкоуглеродистую стальную проволоку) составляет примерно 10 гр/т, а сталепроволочно- канатным (обрабатывающим средне- и высокоуглеродистую стальную проволоку)- 20 гр/т.

Такое разрушение твердосплавных волок или, как отмечается в литературных источниках, "низкая стойкость волок стала тормозом к увеличению производительности волочильных станков". При этом в качестве основной причины такого разрушения выделяется катанка, ее геометрические (овал, отклонения диаметра) и поверхностные (наличие окалины) дефекты. Поэтому основным средством борьбы с этим считалось повышение требований к катанке, а также то, что на сталепроволочно- канатных и других предприятиях предусматривалось обрезать концы на каждом мотке катанки. Это приводит к потерям катанки, а частое разрушение волок вместе с потерями производительности приводит к потерям дефицитного и дорогостоящего материала волок, других материалов и ресурсов, связанных с подготовкой и установкой инструмента на волочильном стане.

Таким образом, низкая стойкость твердосплавного волочильного инструмента является важной проблемой не только для процесса волочения прядей стальных канатов, но и для процесса многократного сухого волочения проволоки. Но если при волочении проволоки эту проблему можно решать путем повышения требований к катанке, то при волочении прядей эта возможность отсутствует и поэтому причину низкой стойкости необходимо искать в самом волочильном инструменте.

### 3. Определение напряжений и оценка стойкости твердосплавной волоки

В общем случае обрабатываемое изделие (проволока или прядь) и волочильный инструмент (твердосплавная волока и металлическая обойма) представляют собой симметричную относительно продольной оси систему. Отсюда анализ напряженно- деформированного состояния элементов этой системы целесообразно производить в цилиндрических координатах. Однако из теории ОМД известно, что точное решение осесимметричной задачи очень затруднительно.

Поэтому при помощи ряда допущений и с целью получения наиболее простых зависимостей необходимо переходить от объемной и осесимметричной к плоской задаче.

При протяжке проволоки через конический канал твердосплавной волюки в материале проволоки действует разноименная схема напряженного состояния. При этом выделенный элементарный объем нагружен одним главным растягивающим нормальным (продольным) напряжением и двумя равными по величине главными сжимающими (поперечными) напряжениями. Величины главных нормальных (продольного и поперечного) напряжений и их распределение в деформационной зоне можно определить при помощи приближенного условия пластичности и экспериментальных данных из теории и практики волочения круглых сплошных профилей. На основе этих данных и с учетом малости по величине касательных напряжений (силы трения) можно получить среднее значение нормального контактного напряжения, которое равно по величине пределу текучести материала проволоки и соответствует внутреннему распорному давлению.

При протяжке прядей через конический канал твердосплавной волюки в материале каждой из проволок пряди также действует разноименная схема напряженного состояния. Но в отличие от протяжки проволоки поперечные главные сжимающие напряжения (радиальное и окружное) не равны между собой. Причем радиальные напряжения, являясь активными, превышают по величине реактивные окружные напряжения. С учетом этого условие пластичности запишется несколько иначе, т.е. с увеличенной (на коэффициент Лодэ) правой частью. Наличие пустот между проволоками в поперечном сечении пряди облегчает поперечную деформацию (течение) проволок и приводит к перераспределению между величинами главных продольного и поперечного напряжений, входящих в условие пластичности. По этой же причине поперечные или радиальные напряжения более стабильны по величине и поэтому меньше изменяются вдоль очага деформации, чем при протяжке проволоки. С учетом углов свивки проволок наружного слоя прядей и незначительным их удлинением, радиальные напряжения по сравнению с протяжкой проволок меньше при входе в очаг

деформации и больше при выходе из него. При этом среднее нормальное напряжение на контактной поверхности также как и при протяжке проволоки равно по величине пределу текучести материала проволок.

Это позволяет в качестве допущения представить твердосплавную волоку в виде полого кругового цилиндра, нагруженного равномерно распределенным внутренним давлением, и перейти к плоской осесимметричной задаче.

Оценка стойкости твердосплавной волоки производится путем совместного решения приближенных уравнения равновесия и условия наступления предельного состояния в материале волоки, которое также как и условие пластичности может быть получено по теории Мора. Из теории расчета толстостенных цилиндров и согласно принятым допущениям получим следующее приближенное уравнение равновесия:

$$\frac{dGr}{dr} + \frac{Gr + G\theta}{r} = 0. \quad (1)$$

Согласно теории Мора получим следующее условие наступления предельного состояния

$$G\theta + \sqrt[4]{Gr} = G_{\text{экв}}. \quad (2)$$

Решая совместно эти уравнения и учитывая граничные условия в виде  $G_r = -G_T$  при  $r = r_i$ , получим следующее значение для тангенциальных (окружных) растягивающих напряжений:

$$G\theta = \frac{G_{\text{экв}}}{1-\nu} + \sqrt[4]{\left(\frac{r_i}{r}\right)^{1-\nu}} \left(G_T - \frac{G_{\text{экв}}}{1-\nu}\right), \quad (3)$$

где  $G_{\text{экв}}$  - эквивалентное напряжение;  $r_i$  - внутренний радиус полого цилиндра;  $\nu$  - коэффициент, характеризующий неодинаковость работы материала волоки на растяжение и сжатие;  $G_T$  - предел текучести материала обрабатываемого изделия.

Если в выражение (3) вместо  $G_{\text{экв}}$  подставить предел прочности материала волоки при растяжении ( $G_{\text{в.р.}}$ ), что будет соответствовать наступлению предельного напряженного состояния (в данном случае разрушению), то можно сделать следующее заключение: окружные растягивающие напряжения на внутренней контактной поверхности волоки будут больше предела прочности ( $G\theta > G_{\text{в.р.}}$ ) при

$$\sigma_T \geq \frac{\sigma_{\text{в.р.}}}{1-\nu}$$

Если учесть, что для твердого сплава типа ВК-6  $\sigma_{\text{в.р.}} \approx 700 \text{ Н/мм}^2$  и  $\nu \approx 0,14$ , то получим  $\sigma_{T, \text{max}} = 814 \text{ Н/мм}^2$ . При этом для канатной проволоки  $\sigma_T \approx 0,8 \cdot \sigma_B = 800 + 1920 \text{ Н/мм}^2$ . Отсюда можно сделать вывод о перегруженности внутренней контактной поверхности волоки окружными нормальными растягивающими напряжениями. Это приводит к возникновению трещин на контактной поверхности и с учетом хрупкости материала волоки к разрушению волоки в целом.

Повысить стойкость до разрушения контактной поверхности волоки и прочность волоки в целом можно двумя способами:

1. Путем увеличения прочности материала волоки. Этот способ нецелесообразен, т.к. прочность материала необходимо увеличивать в несколько раз;

2. Путем компенсации действия рабочей нагрузки за счет предварительного сжатия волоки. Этот способ приемлем в настоящее время и перспективен в будущем, т.к. прочность обрабатываемого материала возрастает.

Применяя теорию расчета толстостенных цилиндров, нагруженных внутренним и наружным давлениями, получим следующее значение окружных нормальных растягивающих напряжений на внутренней контактной поверхности волоки:

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_T (K_B^2 + 1) - 2\sigma_H}{1 - K_B^2}, \quad (4)$$

где  $\sigma_T$  и  $\sigma_H$  - соответственно внутреннее и наружное давления;

$K_B = r_1/r_2$  - отношение внутреннего радиуса цилиндра (волоки) к наружному.

Как видно из (4), напряжение  $\sigma_{\theta}$  зависит от  $\sigma_T$ ,  $K_B$  и  $\sigma_H$ . Величина  $K_B$  характеризует размеры твердосплавной волоки и согласно ГОСТ 9453-80 для наиболее применяемых в сталепроволочно-канатном производстве волок форм 6, 9 и 11 равна 0,05±0,26. Следовательно  $K_B < 1$ , а отсюда  $K_B^2 < 1$ . При таком значении  $K_B$  получим

$$\sigma_{\theta} \approx \sigma_T - 2\sigma_H \quad (5)$$

Из (4) и (5) видно, что главное окружное напряжение  $\sigma_{\theta}$  на наиболее нагруженной внутренней поверхности волоки существенно зависит от  $\sigma_T$  и  $\sigma_H$  при незначительности влияния размеров волоки ( $K_B$ ). Согласно (2) величина  $\sigma_{\text{экв}}$  будет уменьшаться с уменьшением величины растягивающего напряжения  $\sigma_{\theta}$ . Следовательно, уменьшая величину растягивающего окружного напряжения  $\sigma_{\theta}$ , мы непосредственно увеличиваем прочность волоки. Согласно (5) на внутренней поверхности волоки не будут действовать растягивающие напряжения при  $\sigma_H > \sigma_T/2$  (6).

Соотношение (6) между напряжением предварительного сжатия  $\sigma_H$  и пределом текучести материала обрабатываемого изделия  $\sigma_T$  обеспечивает наилучшие условия для работы твердого и хрупкого материала волоки за счет компенсации нормальных растягивающих напряжений. Поэтому полученное выражение (6) может быть представлено как условие прочности твердосплавной волоки.

#### 4. Определение параметров способа крепления

Предварительные напряжения сжатия создаются на наружной поверхности твердосплавной волоки при закреплении ее в металлическую обойму. Наиболее надежным является способ холодной запрессовки твердосплавной волоки с конической наружной поверхностью в коническое отверстие, металлической обоймы. Представив обойму в виде полого кругового цилиндра и приняв для нагруженной внутренним давлением обоймы плоское деформированное состояние, получим приближенное условие пластичности в следующем виде:

$$\sigma_{\theta} + \sigma_r = 1,15 \cdot \sigma_{T.об.}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{T.об.}$  - предел текучести материала обоймы.

Решая совместно (7) и (1) и определив радиальные нормальные напряжения на внутренней поверхности обоймы, получим следующее значение напряжения предварительного сжатия:

$$\sigma_H \leq 1,15 \sigma_{T.об.} \ln \frac{r_3}{r_2}, \quad (8)$$

где  $r_3$  и  $r_2$  - соответственно наружный и внутренний радиусы обоймы.

Сила запрессовки волоки в обойму определяется как деформирующее усилие по следующему выражению:

$$P = P_G + P_C, \quad (9)$$

где  $P_G$  и  $P_C$  - равнодействующие соответственно нормальных и касательных напряжений.

Определяя указанные равнодействующие и подставляя их в (9), получим

$$P = G_n \int d \cdot h (tg \gamma + \varphi), \quad (10)$$

где  $d$  и  $h$  - соответственно наружный диаметр и высота волоки;  $\gamma$  - угол конусности наружной поверхности волоки и отверстия обоймы;  $\varphi$  - коэффициент трения.

Экспериментальная проверка влияния силы запрессовки на стойкость волоки производилась на Одесском сталепроволочно-канатном заводе (ОСПКЗ). Согласно рекомендациям на заводе был реконструирован гидравлический пресс для холодной запрессовки твердосплавных волок в металлические обоймы на конус. После реконструкции пресс стал развивать силу запрессовки 200кН вместо до 100кН. Сравнительный анализ стойкости опытного (с усиленной запрессовкой) и обычного одинарного волоочильного инструмента показал, что увеличение силы запрессовки в 2,3 раза привело к уменьшению разрушения в 6,2 раза (Таблица). Это позволило уменьшить годовую норму потребления твердого сплава заводом на 8%.

Из табличных данных видно, что основными видами разрушения твердосплавных волок являются продольное и поперечное. Так разрушаются более 90% волок. Причем при увеличении силы запрессовки эти виды разрушения практически меняются местами, т.е. продольный вид разрушения наиболее характерный для обычных волок изменяется на поперечный, который наиболее характерен для опытных волок. Это подтверждает перегруженность материала твердосплавных волок нормальными окружными растягивающими напряжениями и говорит об эффективности действия такого параметра способа закрепления, как сила запрессовки.

Экспериментальные исследования стойкости указанных опытных волок при изготовлении лифтовых канатов из пластически обжатых прядей (типа ПК) на ОСПКЗ показали, что стойкость до износа или износоустойчивость этих волок повысилась в 1,2 раза.

Таблица

Результаты промышленного испытания волок при протяжке проволоки

Количество обычных волок, шт				Количество опытных волок, шт				Обычные волокна			Опытные волокна		
Прок- смот- рен- ных	разрушившихся			Прок- смот- рен- ных	разрушившихся			Отношение общего количест- ва разру- шившихся к промот- ренным, %	Отношение разружившихся по видам к общему коли- честву, %	Отношение по видам к общему коли- честву, %	Отношение общего количест- ва разру- шившихся к промот- ренным, %	Отношение разружившихся по видам к общему коли- честву, %	
	Общее	по видам разрушения	по частоте		Общее	по видам разрушения	по частоте						попеч- но
1194	108	21	73	1790	24	19	4	9.0	25.0	67.6	1.3	79.2	16.7
1166	100	30	62	1887	23	18	4	8.6	30.0	62.0	1.2	78.3	17.4
1045	142	47	80	2251	33	27	5	13.6	33.1	56.3	1.5	81.8	15.2
954	113	48	57	1921	29	23	4	11.8	42.5	50.4	1.5	79.3	13.8
1019	129	59	62	1952	42	33	8	12.7	45.7	48.1	2.2	78.6	19.0
985	105	35	65	2202	41	27	7	10.7	33.3	61.9	1.9	65.9	17.1
851	138	48	53	2062	58	35	14	16.2	34.8	38.4	2.8	60.3	24.1
848	124	41	75	2412	48	25	19	14.6	33.1	60.5	2.0	52.1	39.6
634	110	38	62	1913	44	26	15	17.4	34.5	56.4	2.3	59.1	36.4
727	135	50	71	2379	71	45	15	18.6	37.0	52.6	3.0	63.4	21.1
775	141	45	87	2277	77	49	24	19.2	31.9	61.7	3.4	63.6	31.2

Следовательно, сила запрессовки позволяет эффективно уменьшить разрушение волок (особенно продольный вид) за счет компенсации действия окружающих нормальных растягивающих напряжений, действующих в поперечных сечениях волоки и приводящих к ее продольному разрушению. Однако такая компенсация не позволяет полностью предотвратить возникновение в материале волоки других предельных напряжений, что подтверждается незначительным повышением износостойкости и увеличением доли поперечного разрушения волок.

#### 5. Определение оптимальных конструктивно-технологических параметров волоочильного инструмента

Наиболее эффективным для материала твердосплавной волоки является создание на внутренней рабочей поверхности волоки напряженного состояния равномерного всестороннего сжатия.

Согласно принятым допущениям из теории расчета толстостенных цилиндров на внутренней поверхности волоки получим

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta} &= \frac{\sigma_T(1+K_c^2) - 2\sigma_H}{1-K_c^2}; \\ \sigma_r &= -\sigma_T; \\ \sigma_z &= -\frac{P}{f(r_2^2 - r_1^2)}. \end{aligned} \quad (11)$$

Из (11) при  $\sigma_{\theta} = \sigma_r$  получим:

$$\sigma_H = \sigma_T. \quad (12)$$

При  $\sigma_r = \sigma_z$ , учитывая (12) и (10), получим

$$r_2 = h(\operatorname{tg} \gamma + \varphi) + \sqrt{[h(\operatorname{tg} \gamma + \varphi)]^2 + r_1^2} \quad (13)$$

Выражение (12) разрешает неопределенность условия прочности (6) и позволяет наиболее рационально использовать материал волоки при полной компенсации действия рабочей нагрузки. Поэтому выражение (12) предлагается как критерий стойкости волоочильного инструмента. Расчеты и эксперименты показывают, что при уменьшении наружных размеров и массы волок примерно на 60% возрастает эффективность способа компенсации действия рабочей нагрузки при предварительном сжатии волоки. Так при сухом многократном волочении стальной канатной катанки стойкость

одинарных предварительно-напряженных волок увеличивается в 2-3 раза по сравнению со сдвоенными и полностью предотвращается разрушение волок.

Оптимальную толщину стенки обоймы определим по рекомендациям теорий обработки металлов давлением и расчета толстостенных цилиндров на прочность, согласно которым  $3 < r_3 / r_2 < 4$ .

Учитывая полученные данные, были разработаны метод повышения стойкости и две конструкции волоочильного инструмента, которые защищены авторскими свидетельствами [19, 20]. Одна из конструкций испытана и принята к внедрению на ОСПКЗ [11, 20].

#### 8. Разработка процессов волочения

На эффективность процесса волочения, заключающейся в высоком качестве получаемого изделия при оптимальных производительности и затратах, оказывают влияние большое число факторов, среди которых можно выделить следующие: 1) свойства обрабатываемого материала; 2) степень обжатия; 3) волоочильный инструмент и износ рабочего канала. Первые два фактора имеют непосредственное отношение к внутренним явлениям, происходящим в материале при пластической деформации изделия. Третий фактор относится к внешнему воздействию на обрабатываемый материал, под действием которого происходят внутренние явления. От согласованности внешнего воздействия и внутренних явлений зависит эффективность процесса волочения (самоорганизационный подход). Учитывая высокие требования к канатной проволоке, более рационально рассматривать на первом плане внутренние явления, с которыми должно быть согласовано внешнее воздействие.

Обеспечить указанную согласованность позволяет новый способ определения оптимальных геометрических параметров рабочего канала волоки [18]. Этот способ заключается в том, что профиль рабочего канала волоки определяется по шейке, которая образуется при растяжении подготовленной к волочению заготовки. В этом случае максимально учитываются реальные свойства обрабатываемого материала, его внутренние возможности и регламентируется характер внешнего воздействия.

Экспериментальная проверка способа, например, при определении угла рабочего конуса волоки по шейке, полученной при

растяжении стальной канатной катанки и измеренной при помощи инструментального микроскопа, показала соответствие угла шейки углу рабочего конуса обычных твердосплавных волок. Экспериментальные исследования стойкости твердосплавного волоочильного инструмента при протяжке прядей на волоочильном стане и на прядевьющей машине показали несоответствие угла рабочего конуса обычных волок этому процессу. Поэтому переход от угла в  $10^\circ$  к  $17^\circ$  позволил уменьшить силу волочения на 20%. Как показали эксперименты при волочении прядей на разрывной машине, применение одинарного волоочильного инструмента вместо сборного (сдвоенного) позволяет дополнительно уменьшить силу волочения на 13,2-32,3% [12].

Учитывая особенности процесса волочения прядей и связанное с ними уменьшение стойкости волоочильного инструмента, предложен новый способ пластического обхвата прядей [14]. Этот способ отличается от обычного тем, что сначала пластически обжимают параллельный пучок проволок, а затем его скручивают в прядь. При этом исключается циклический характер нагружения рабочего канала твердосплавной волоки и уменьшается распорное давление на волоку из-за уменьшения степени обхвата и облегчения деформации проволок, а также улучшаются условия пластической деформации каждой из проволок пряди. Это повышает стойкость волоки и качество прядей, т.к. обхвате параллельного пучка с дальнейшей его скруткой способствует сохранению волокнистой структуры стальной канатной проволоки и создают предпосылки для возникновения структуры наиболее соответствующей характеру действия нагрузок при эксплуатации.

Проведение испытаний опытной партии разработанного одинарного предварительно-напряженного волоочильного инструмента при многократном суком волочении проволоки в условиях ОСПКЗ показали возможность осуществления процесса волочения без охлаждения инструмента водой [11,13]. При этом стойкость инструмента повышается в 1,5-2 раза, а качество проволоки имеет тенденцию к улучшению. Согласно литературным и экспериментальным данным переход от сдвоенного инструмента к одинарному позволяет уменьшить силу волочения на 10-15%.

ЛНБ им. В. Стефанюка  
АН України

смазки и воды на 20%. Следовательно, использование одинарного предварительно-напряженного волоочильного инструмента уже сейчас позволяет повышать эффективность процесса волочения. В перспективе этот инструмент позволяет разрабатывать и внедрять новые безотходные и экологически чистые технологии волочения самых различных изделий.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В результате экспериментальных исследований стойкости твердосплавного волоочильного инструмента при волочении проволоки и прядей определены основные виды разрушения волок, которые подтверждает перегруженность материала волок нормальными растягивающими напряжениями. Продольный вид разрушения встречается чаще поперечного и характерен для твердосплавных волок перегруженных окружными нормальными растягивающими напряжениями, вызванных действием внутреннего распорного давления.

2. В результате анализа напряженно-деформированного состояния элементов системы "обрабатываемое изделие-твердосплавная волока-металлическая обойма" получено условие прочности твердосплавной волоки, которое связывает между собой предел текучести материала обрабатываемого изделия с напряжением предварительного сжатия волоки и обеспечивает компенсацию окружных растягивающих напряжений в волоке.

3. Разработан метод определения оптимальных конструктивно-технологических параметров одинарного предварительно-напряженного волоочильного инструмента, позволяющий полностью компенсировать действие рабочей нагрузки на твердосплавную волоку. Определен критерий стойкости, обеспечивающий наиболее рациональное использование материала волок.

4. Предложен способ определения оптимального профиля волоочильного канала по профилю шейки, образованной при растяжении подготовленной к волочению заготовки, который позволяет максимально учесть реальные свойства материала заготовки, определять и уточнять оптимальную величину обжатия, обеспечивает минимальную величину и равномерное распределение нормальных напряжений вдоль волоочильного канала.

5. Испитания разработанного одинарного предварительно-напряженного волоочильного инструмента при волочении проволоки в цехах ОСПКЗ показали возможность осуществления процесса многократного сухого волочения стальной проволоки без охлаждения инструмента водой и с ограниченным расходом смазки. При этом стойкость инструмента увеличивается в 2-3 раза, качество проволоки не снижается, расход воды и смазки уменьшается на 20%, а сила волочения уменьшается на 10%. При волочении прядей сила волочения уменьшается на 33-52%.

6. Рекомендован перспективный способ изготовления витых проволочных изделий, связанный с использованием производительных машин двойной скрутки, обеспечивающий повышение стойкости волок за счет исключения цикличности нагружения рабочего канала и качества обхвата прядей за счет сохранения исходной волокнистой структуры материала проволок.

Основное содержание работы и результаты исследований отражены в следующих публикациях:

1. Емельянов В.Г., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М., Соломкин Л.Д. Влияние различных смазок на усилие вытяжки пряди. // Прочность и долговечность стальных канатов -Киев-Техника, 1975, с.227-228.
2. Соломкин Л.Д., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М., Черенков А.Н. Исследование процесса пластического обхвата прядей в сборной волоке. // Прочность и долговечность стальных канатов. -Киев-Техника, 1975, с.161-164.
3. Глушко М.Ф., Малиновский В.А., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М. Прядепроволока. // Прочность и долговечность стальных канатов. - Одесса-1977, с.51-59.
4. Овчаренко В.М. Анализ стойкости твердосплавного волоочильного инструмента по разрушению. // Реф. рук. Библиограф. ук. ВНИИТИ, Деп. науч. раб., 1977, N3, с.175
5. Глушко М.Ф., Овчаренко В.М., Малавицкий Н.Ф. Повышение стойкости твердосплавных волок. // Бюл. ин.-та ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИИ, М.: 1979, вып.12, с.36-37.

6. Малиновский В.А., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М. Прядепроволока и ее механические свойства. // Технический прогресс в метизном производстве. М.:Металлургия,1981, №9, с.32-35.

7. Малиновский В.А., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М. Перспективы создания канатов из прядепроволоки. // Технический прогресс в метизном производстве. Сб. науч. трудов. М.:Металлургия,1981,№9, с.35-39.

8. Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М. Экспериментальные исследования стойкости волоки при пластическом обхати малопроволочных прядей. // Прочность и долговечность стальных канатов. -Черная металлургия. Бюл. ВИНТИ. Депонированные рукописи,1981,№11,с.247-251.

9. Овчаренко В.М., Маливицкий Н.Ф. Напряженное состояние и повышение стойкости твердосплавных волок. // Металлургическая и горнорудная промышленность. -1983-№3-с.38-40.

10. Глушко М.Ф., Овчаренко В.М. Прочность и износостойкость составного твердосплавного волоочильного инструмента. // Ред.ж. Проблемы прочности. -Киев-1988,11с.-Рук. деп. в ВИНТИ 25.05.88г., №4028-В88.

11. Овчаренко В.М., Седаков Д.В., Ермолаев Ю.А. Новый волоочильный инструмент, улучшающий экологию производства проволочных изделий. // Тезисы докл. Украинской респ. н.-техн. конф. -Днепропетровск- 1991,с.75-76.

12. Соломкин Л.Д., Овчаренко В.М. Влияние степени обхатия на усилие витяжки при обхатии пряди в одинарной и сдвоенной волоках. // Стальные канаты. Сб. научн. трудов. -Киев-Льбидь,1991,с.177-181.

13. Глушко М.Ф., Овчаренко В.М. Оценка температурного режима работы твердосплавного волоочильного инструмента. // Стальные канаты. Сб. научн. трудов. -Киев- Льбидь,1991,с.142-145

14. Глушко М.Ф., Овчаренко В.М. А.С. 633962 (СССР) Способ изготовления витых проволочных изделий. Бюл. № 43,1978.

15. Глушко М.Ф., Малиновский В.А., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М. Шкарунин В.Е. А.С. 653324 (СССР) Проволочный канат. Бюл. № 11,1978.

16. Малиновский В.А., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М.  
А.С.642393 (СССР) Устройство для обжати прядей. Бюл. N2, 1979

17. Малиновский В.А., Кобяков Ю.В., Овчаренко В.М.  
А.С.737538 (СССР) Способ обжати проволочных прядей. Бюл.  
N20, 1980

18. Глушко М.Ф., Чиж А.А., Овчаренко В.М., Малявицкий Н.Ф.  
А.С.1210938 (СССР) Способ получения оптимального профиля рабочей  
зоны канала волокна. Бюл. N6, 1986

19. Овчаренко В.М. А.С. 1422486 (СССР) Волоочильный  
инструмент. ДСП, приоритет 28.03.86г.

20. Овчаренко В.М. А.С. 1560350 (СССР) Волоочильный  
инструмент. Бюл. N16, 1990.

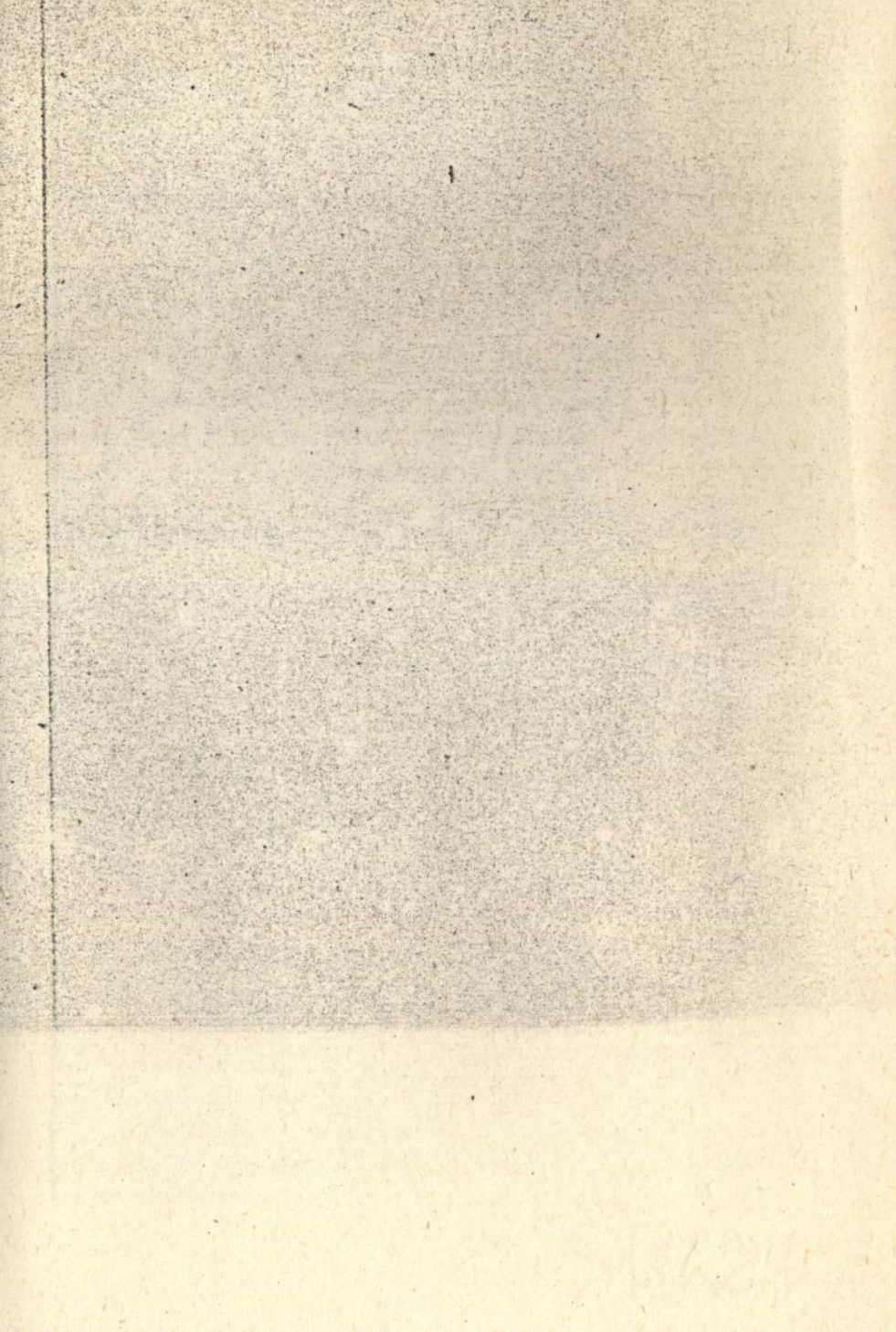
*В.М.*

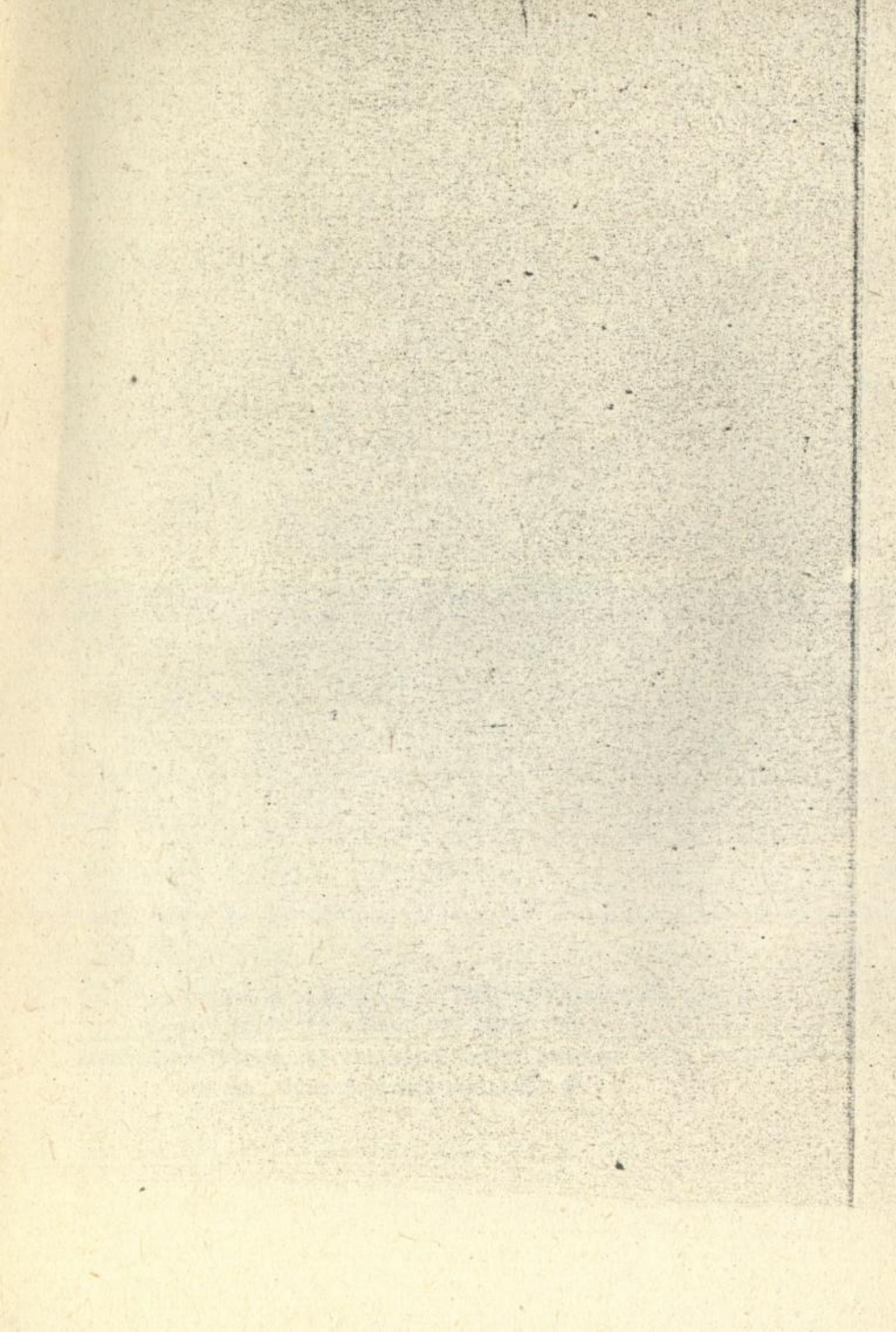
Подписано к печати 14.04.1994 г. Объем 0,80 печ. л.

Формат 60x84<sup>1</sup>/16. Зак. 60. Тираж 100.

---

Типография Украинской государственной академии связи им. АяС. Попова  
Одесса, Старопортофранковская, 61





462723

AB 29.923