

76.05 (043)  
801

Министерство высшего и среднего специального  
образования СССР

Челябинский политехнический институт  
имени Ленинского комсомола

УДК 621.778.1

На правах рукописи

Морозов Геннадий Павлович

РАЗРАБОТКА, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ ПРОЦЕССА  
ДЕФОРМАЦИИ ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ ИЗ СПЛАВОВ  
НА ОСНОВЕ МЕДИ В РОЛИКОВЫХ ВОЛОКАХ

Специальность 05.16.06 -

"Обработка металлов давлением"

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск, 1982

Диссертация выполнена на кафедре прокатки и в проблемной лаборатории "Новые технологические процессы прокатки" Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор В.Н.Выдрин.

Официальные оппоненты: – доктор технических наук, профессор Ю.И.Коковихин;  
– кандидат технических наук, доцент В.С.Нагорнов.

Ведущее предприятие – Каменск-Уральский завод по обработке цветных металлов.

Защита диссертации состоится " 5 " января 1983 г., в 14 часов, на заседании специализированного совета К-053.13.03 по присуждению ученой степени кандидата технических наук в Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола (454044, г. Челябинск, пр. В.И.Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

*разослан 3 декабря 1982 г.*

Ученый секретарь специализированного совета, канд. техн. наук, доцент

*Токовой*

О.К.Токовой.

Одной из важнейших задач "Основных направлений экономическо-го и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года" является дальнейший рост продукции черной и цветной металлургии. В одиннадцатой пятилетке необходимо обеспечить повышение эффективности производства, производительности труда, осуществить решительный поворот развития науки и техники к более эффективному использованию и экономии материальных ресурсов за счет широкого внедрения научно-технических достижений, резко сократить отходы и потери сырья на всех стадиях обработки.

Выполнение поставленных задач в большой степени зависит от внедрения новых прогрессивных способов обработки металлов давлением в черной и цветной металлургии.

Актуальность работы. Одним из основных способов производства прутков и проволоки из сплавов на основе меди является волочение через монолитные фильеры. Этот способ деформации наряду со своей простотой имеет ряд существенных недостатков, обусловленных тем, что в процессе деформации возникают значительные силы трения, на преодоление которых затрачивается большое количество энергии.

В последнее время в Советском Союзе и за рубежом все большее распространение получает протяжка металла в роликовых волоках. Этот способ деформации исключает недостатки процесса волочения через монолитные фильеры. В связи с тем, что затраты энергии на преодоление сил трения существенно снижаются, появляется возможность осуществлять процесс деформации с большими разовыми вытяжками, уменьшить количество промежуточных термообработок, снизить количество брака из-за обрывности переднего конца полосы, уменьшить безвозвратные потери дорогостоящего сырья и повысить выход годной продукции.

Цель работы. Целью работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование процесса протяжки в роликовых волоках, определение влияния различных технологических параметров на основные энергосиловые характеристики процесса и, на базе полученных данных, разработка технологии и оборудования для передела литой заготовки из сплавов на основе меди.

Научная новизна. Впервые с позиции энергетической теории взаимодействия полосы и роликов волокни получены зависимости для нахождения усилия протяжки, критического угла в очаге деформации, давления металла на ролики, коэффициента полезного дейст-

вия процесса и коэффициента запаса прочности переднего конца полосы. Из условия прочности переднего конца полосы определены предельные условия протекания процесса протяжки.

Экспериментальное исследование процесса и проверка полученных теоретических зависимостей осуществлялись как в лабораторных, так и в производственных условиях.

Исследовано влияние способа деформации на механические свойства и структуру проволоки. Определена зависимость механических свойств и структуры проволоки от режимов термической обработки исследуемых сплавов.

Практическая ценность. Получены зависимости, позволяющие определить основные энергосиловые параметры процесса протяжки в четырехроликовых волоках со смещением пар роликов, а так же в двухроликовых волоках.

Разработаны две конструкции роликовых волок и технология изготовления рабочего инструмента. Разработана технология передела ряда сплавов на основе меди (Бр ОЦ 4-3, Бр ОФ 8-0,3, Л 80, ЛС 59-1) с  $\phi$  12 на  $\phi$  5 мм.

Исследовано влияние способа деформации и режимов промежуточных термических обработок на механические свойства и структуру проволоки. Выполненные исследования позволили сформулировать рекомендации по выбору способа деформации, схемы калибровки роликов, маршрутов протяжки и режимов термообработок.

Экономический эффект от использования результатов исследования на Туимском заводе по обработке цветных металлов и Краснокамском заводе металлических сеток составляет 151,8 тыс.руб. в год.

Апробация работы. Основное содержание работы опубликовано в 6 статьях и доложено на следующих научно-технических конференциях и семинарах: Межвузовской научно-технической конференции "Новые технологические процессы и оборудование прокатного производства - средство повышения качества и экономии металла", Челябинск, 1980 г., совещании ВПО "Союзцветметобработка" МММ СССР "Новые Технологические процессы обработки металлов давлением", Артемовск, 1980 г., научно-техническом совещании "Производство труднодеформируемых сталей и сплавов", Челябинск, 1979 г., XXIX - XXXII научно-технических конференциях Челябинского политехнического института в 1976-82 г.г.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, изложенных на 102 страницах машинописного текста, 88 иллюстраций, 6 таблиц, списка использованной литературы — 104 наименований и приложения.

### Особенности получения прутков и проволоки из сплавов на основе меди

Сравнительный анализ способов получения заготовок показал, что наиболее перспективными и в настоящее время получающими широкое распространение являются непрерывная и полунепрерывная разливка. Однако, ряд сплавов на основе меди (Бр.ОФ 8-0,3, Бр. ОФ 6,5-0,15, ЛС 59-I и некоторые другие) относятся к категории труднодеформируемых материалов, их деформация как в холодном так и в горячем состоянии затруднительна из-за образования трещин, всевозможных расслоений, а так же дефектов структуры. Использование литой заготовки из таких сплавов накладывает на процесс пластической деформации дополнительные трудности. Одним из перспективных способов деформации литой заготовки является прокатка. Однако, она не получила широкого распространения по следующим причинам:

1. горячая прокатка многих марок бронз и латуней затруднительна в связи с тем, что с повышением температуры обработки наблюдается ухудшение пластических свойств деформируемого материала, что приводит к образованию трещин;
2. холодная прокатка таких сплавов сложна из-за неблагоприятных условий трения на контактной поверхности полоса-валок, что приводит к плохому захвату полосы валками и нестабильности процесса.

Использование для деформации роликовых волок позволяет объединить в одном процессе преимущества прокатки и волочения через монолитную фильеру. Анализ технико-экономических показателей свидетельствует о целесообразности применения протяжки в роликовых волоках для деформации сложных в обработке сплавов на основе меди. Однако, использование этого процесса в промышленности сдерживается из-за отсутствия надежных конструкций роликовых волок и недостаточной изученности самого процесса.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЯЖКИ

В развитие теоретических и технологических основ процесса протяжки в роликовых волокнах большой вклад внесли советские ученые И.Л.Перлин, В.Н.Выдрин, В.Я.Осадчий, Ю.И.Коковихин, И.К.Николаев, М.И.Бояршинов, М.Г.Поляков, А.Г.Стукач, В.Г.Шеркунов и др.

В качестве базового условия при определении энергосиловых параметров процесса протяжки в роликовых волокнах используется условие энергетического баланса в очаге деформации. Основные положения энергетической теории применительно к процессам обработки металлов давлением сформулированы и развиты в работах сотрудников кафедры прокатки Челябинского политехнического института под руководством В.Н.Выдрина.

В случае протяжки в четырехроlikовой волоке со смещением пар роликов для получения круглого профиля наиболее приемлема система калибров круг-овал-круг. Схема процесса протяжки в такой волоке изображена на рис. I.

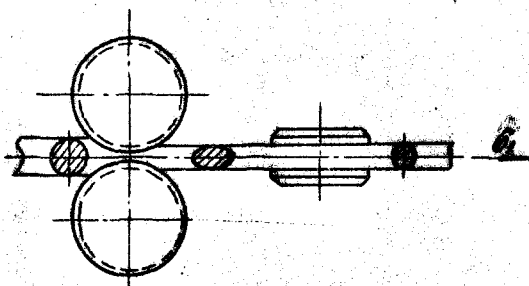


Рис. I. Схема протяжки в двоярной роликовой волоке

В общем виде условие баланса энергии записывается в виде

$$N_f - N_p - N_T - N_x - N_0 = 0, \quad (I)$$

где  $N_f, N_0$  - соответственно мощности переднего и заднего натяжения;  
 $N_p$  - мощность формоизменения;  
 $N_T$  - мощность сил трения на контакте полоса-валок;  
 $N_x$  - мощность сил сопротивления вращению холостых роликов.

В результате решения уравнения (I) относительно величины усилия протяжки получено

$$\begin{aligned} \sigma_{12} = & \frac{1}{2} \sigma_{12} \lambda_1 \sigma_{12} + \frac{\sigma_{12} \sigma_{12}}{3 \sigma_{12} \cos \gamma_{12}} \left[ 2 \left( \frac{R_{11}}{R_{12}} - 1 - \frac{\gamma_{12}}{\alpha_{12}} \cos \lambda_1 \right) \times \right. \\ & \times \left[ (R_{12} - a) \left( \frac{1}{2} \alpha_{12} - \gamma_{12} - \frac{\gamma_{12}^2}{3 \alpha_{12}^2} \right) + \frac{b_{12}^2}{2 \sigma_{12}} \left( \frac{1}{2} \alpha_{12} - \gamma_{12} - \frac{\gamma_{12}^2}{\alpha_{12}^2} \right) \right] - \\ & - \frac{1}{2} \frac{\sigma_{12}}{\alpha_{12}} (R_{12} - a + \frac{b_{12}^2}{2 \sigma_{12}}) (\alpha_{12}^2 - 2 \gamma_{12}^2) \left. \right] + \frac{N_{11} + N_{12}}{V_{12}} + \\ & + \frac{1}{2} \sigma_{12} \lambda_2 \sigma_{12} + \frac{1}{3} \frac{\sigma_{12} \sigma_{12}}{\sigma_{12} \cos \gamma_{12}} \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{R_{11}}{R_{12}} - 1 \right) + \right. \\ & - \left. \left( \frac{1}{2} \frac{\gamma_{12}}{\alpha_{12}} - \frac{1}{2} \right) \cos \lambda_2 \right] + \frac{1}{3} \frac{R_{11} \sigma_{12} \gamma_{12}}{\sigma_{12} \cos \gamma_{12}} \left[ \alpha_{12} - \left[ 1 + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\alpha_{12}^2}{\alpha_{12}^2} + 2 \frac{\gamma_{12}}{\alpha_{12}} \left( 1 - \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{12}} \right) \right] \right] \sigma_{12} \left. \right] \pm \sigma_{12}. \quad (2) \end{aligned}$$

В выражении (2) приняты следующие обозначения:

- $\psi$  - коэффициент неравномерности деформации;
- $\lambda$  - вытяжка;
- $\sigma_{12}$  - среднее по очагу деформации сопротивление деформации;

$\sigma_c$  - средние по очагу деформации удельные силы трения;

$\beta_c$  - критический угол по вершине калибра;

$S_{cr}$  - площадь поперечного сечения полосы в критическом сечении, соответствующем углу;

$M_{cr}$  - мощность сил сопротивления вращению в подшипниках роликов;

$V_{cr}$  - секундный объем.

Остальные обозначения указаны на рисунках 2а и 2б. В формуле (2) последний индекс в принятых обозначениях означает принадлежность данного параметра к первому (1) или второму (2) очагу деформации.

Из условий энергетического баланса, по методике разработанной В.Н. Выдриным, получены зависимости для нахождения среднего удельного давления  $P_0$  металла на ролик. При протяжке по схеме круг-овал

$$P_0 = \frac{e^{\frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01} \cos \beta_c}}{(1-1)} \left\{ \psi \sigma_{c0} \sigma_{c1} + \left[ \frac{1}{e^{\frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01}}} (\sigma_{01} - \sigma_0) - \sigma_0 - \sigma_1 \right] + \right. \\ \left. + \frac{2 \sigma_c \beta_c}{S_c e^{\frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01} \cos \beta_c}} \left\{ 2 \left( \frac{R_c}{R_0} - 1 - \frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01} \right) \left[ (R_0 - a) \left( \frac{1}{3} \alpha_{01} \beta_c - \frac{\beta_c^2}{3 \alpha_{01}^2} \right) + \right. \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\beta_c^2}{6 R_c} \left( \frac{1}{3} \alpha_{01} - \frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \right) \right] - \frac{1}{4} \frac{\alpha_{01}}{\alpha_{01}} (R_0 - a + \frac{\beta_c^2}{6 R_c}) (\alpha_{01}^2 - 2 \beta_c^2) \right\} \right\}. \quad (3)$$

В формуле (3) индексом  $S_c$  обозначена величина площади поперечного сечения полосы на выходе из очага деформации.

В случае протяжки овала в круглом калибре формула для нахождения среднего удельного давления имеет вид

$$P_0 = \frac{e^{\frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01} \cos \beta_c}}{(1-1)} \left\{ \psi \sigma_{c0} \sigma_{c1} + \left[ \frac{1}{e^{\frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01}}} (\sigma_{01} - \sigma_0) - \right. \right. \\ \left. \left. - \sigma_0 - \sigma_1 \right] + \frac{4 R_c \beta_c \alpha_{01} \sigma_c}{S_c e^{\frac{\beta_c}{\alpha_{01}} \alpha_{01} \cos \beta_c}} \left[ \frac{2}{3} \left( \frac{R_c}{R_0} - 1 \right) + \left( \frac{2}{3} \frac{\beta_c}{\alpha_{01}} - \frac{1}{4} \right) \alpha_{01} \right] \right\}. \quad (4)$$



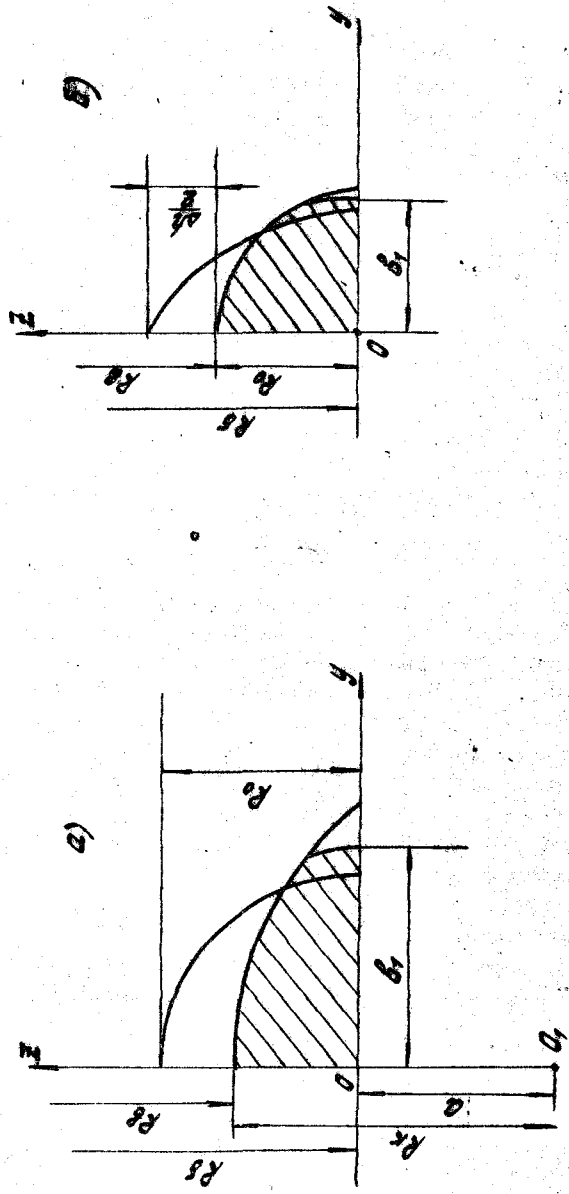


Рис.2. Деформация металла по схеме калибров  
(изображена  $\frac{1}{4}$  часть изготовления и калибра):  
а) круг-овал;  
б) овал-круг

Получены зависимости позволяющие определить коэффициент запаса прочности переднего конца полосы и коэффициент полезного действия процесса.

Предельные условия протекания процесса определены из условия прочности переднего конца полосы записанного в виде  $\sigma_1 < \sigma_{ст}$ , где  $\sigma_{ст}$  - предел текучести переднего конца полосы. Составлены и реализованы программы расчета полученных зависимостей на ЭЦВМ "Мир-2".

Экспериментальное исследование проводилось на оборудовании кафедры прокатки и проблемной лаборатории "Новые технологические процессы прокатки" Челябинского политехнического института, а так же в проволочном цехе завода по обработке цветных металлов Балхашского горно-металлургического комбината. Исследования проводились на станах МК-150x4 и МК 165x4, с четырехроликовыми калибрами, волочильном стане "Кратос" с диаметром тянущего барабана 600мм, оборудованным роликовой волокой с диаметром роликов 150мм и волочильной машине ВМ-550 с установленной на ней роликовой волокой, в разработке которой принимал участие автор.

Экспериментальные исследования показали, что давление металла на ролики волоки в значительной степени зависит от величины вытяжки в калибре, причем эта зависимость проявляется тем существенней, чем выше прочностные характеристики материала. Так, при волочении латуни ЛС 59-I давление металла в овальном калибре больше в 2,1-3,4 раза чем при деформации латуни Л63, а в круглом калибре в 1,7 раза.

Исследование влияния смазки на величину полного давления показало, что по сравнению с твердыми смазками (исследовались мыльная стружка и стиральный порошок "Новость"), жидкие смазки (растительное масло, смесь 50% растительного и 50% минерального масел, эмульсия типа СП 59) несколько больше снижают давление. Характерно, что разница в давлении при протяжке с применением смеси масел, растительного масла и эмульсии изменяется незначительно (до 7,6%). Заднее натяжение приводит к снижению давления, это особенно заметно при протяжке с большими разовыми вытяжками и меньшим пределом текучести деформируемого металла.

Сравнением экспериментальных данных с теоретическими зависимостями, установлено, что расчетные формулы дают несколько заниженные значения (8/21%), однако такая точность для инженерных

расчетов может считаться удовлетворительной.

Исследование усилия протяжки в роликовых волокнах представляет особый интерес, так как данный параметр является одним из основных для осуществления процесса, а также потому, что такие исследования для сплавов на основе меди выполнены впервые.

Увеличение вытяжки за проход при всех прочих равных условиях ( $\frac{R_2}{R_1}$ ,  $T$ ,  $f$ ,  $R_2$  — постоянны) приводит к увеличению усилия протяжки. Причем, это изменение тем больше, чем выше прочностные характеристики материала. Так при протяжке бронзы Бр.Б-2 необходимо приложить усилие в 1,7 раза большее, чем при деформации латуни Л 80.

На усилие протяжки определенное влияние оказывает коэффициент трения. Разница в величине усилия протяжки с применением мыльной стружки (макс.усилие) и растительного масла (мин.усилие) составляет 16%. Установлено, что скорость протяжки оказывает незначительное влияние на усилие протяжки. При увеличении скорости протяжки с 1,0 до 2,0 м/с наблюдалось уменьшение усилия протяжки на 3-5%.

Увеличение отношения  $\frac{R_2}{R_1}$  приводит к уменьшению усилия протяжки. Причем, увеличение вытяжки приводит к более интенсивному изменению усилия протяжки при изменении отношения  $\frac{R_2}{R_1}$ . Так при вытяжке  $\lambda = 1,56$  изменение отношения  $\frac{R_2}{R_1}$  с 8 до 25 приводит к уменьшению усилия протяжки в 3,47 раза, а при  $\lambda = 1,31$  такое же изменение  $\frac{R_2}{R_1}$ , уменьшает усилие протяжки в 2,58 раза.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Разработка и исследование промышленной технологии осуществлялось на базе роликовых волок, сконструированных при участии автора в Челябинском политехническом институте. Были разработаны два типа роликовых волок: четырехроликковая волока со смещением пар роликов (рис.3) и четырехроликковая волока с четырехвалковым калибром. И та и другая волока включает в себя следующие узлы и устройства: станину, узел горизонтального валька, узел вертикального валька, нажимное устройство, устройство осевой регулировки и устройство для уравнивания рабочих роликов. Волоки предназначены для протяжки проволоки с  $\varnothing 12,0$  до  $\varnothing 2,5$  мм. Рабочий ролик  $\varnothing 180$  мм бандажированный, ширина бочки ролика 37 мм. Пределы осевой регулировки  $\pm 2,0$  мм. Волоки оборудованы вводной арматурой.

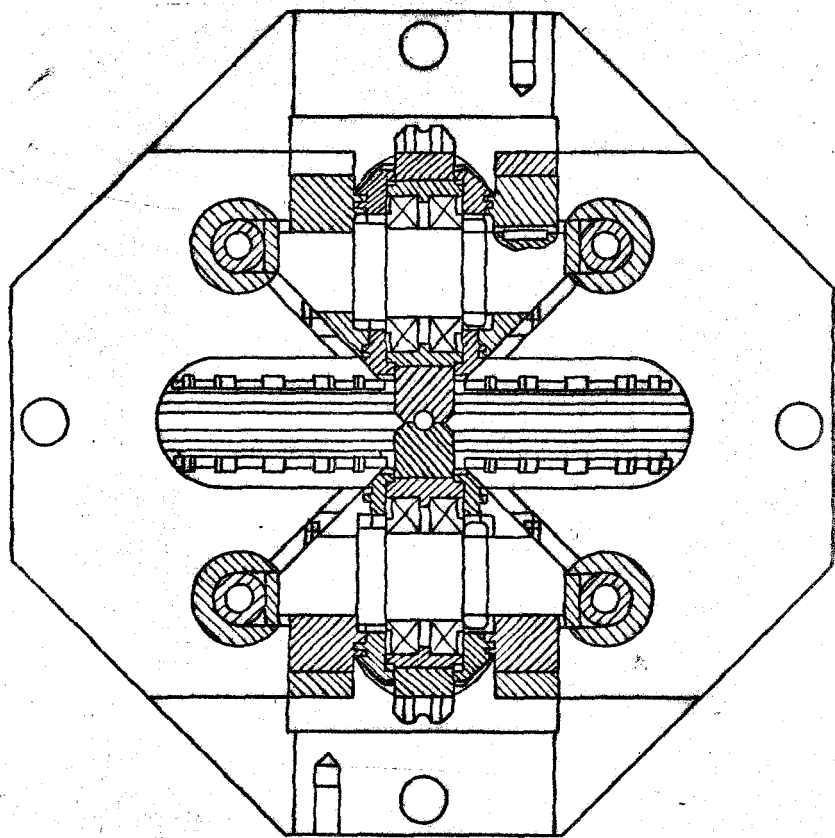


Рис.3. Роликовая волока конструкции ЧИИ  
со смещением пар роликов

Важным вопросом является технология изготовления рабочего инструмента. С участием автора разработан весь технологический цикл изготовления банджа роликов от операции поковки до готового ролика. Определены режимы термической обработки при изготовлении роликов из сталей марок 9Х и Х12М. Разработаны схемы шлифования торцов банджа, внутреннего отверстия и калибра. Разработаны варианты заточки абразивного инструмента и сконструированы шаблоны контроля роликов.

Разработанная технология была применена при изготовлении роликов, использованных при проведении как лабораторных так и промышленных исследований.

При разработке технологии обработки сплавов на основе меди в роликовых волокнах использовались заготовки, характеристики которых приведены в таблице.

В результате исследования был предложен ряд вариантов калибровок. Так, на рис. 4 приведена калибровка для протяжки заготовки Бр. ОФ 8-0,3 м  $\varnothing$  II,75 мм на  $\varnothing$  5 мм. В ходе промышленного испытания разработанных калибровок осуществлялся отбор образцов для металлографических исследований и определения механических свойств.

Характеристика заготовок

Таблица

№ п/п	Материал	Структура	$\varnothing$ заготовки
1	Бр. ОФ 8-0,3	литая неотоженная	$\varnothing$ II,75 мм
2	Бр. ОФ 8-0,3	литая отожженная	$\varnothing$ II,75 мм
3	Бр. ОФ 8-0,3	обжатая неотоженная	$\varnothing$ Ю,60 мм
4	Бр. ОФ 8-0,3	обжатая отожженная	$\varnothing$ Ю,60 мм
5	Бр. ОЦ 4-3	литая неотоженная	$\varnothing$ II,75 мм
6	Бр. ОЦ 4-3	литая отожженная	$\varnothing$ II,75 мм
7	Латунь Л 80	литая отожженная	$\varnothing$ II,75 мм
8	Латунь ЛС 59-I	прессов. отожженная	$\varnothing$ 5,8 мм

Схема изготовления проволоки марки Бр ОФ 8.0-0,3  $\varnothing$  3.4 мм через монолитную волоку включает в себя чередование холодной деформации и промежуточных отжигов. Деформация осуществляется по следующим переходам  $\varnothing$  II,2 —  $\varnothing$ Ю,2 —  $\varnothing$  8,4 —  $\varnothing$  5,2 —  $\varnothing$  4,0 —  $\varnothing$  3,4 мм. После каждой разовой деформации (она

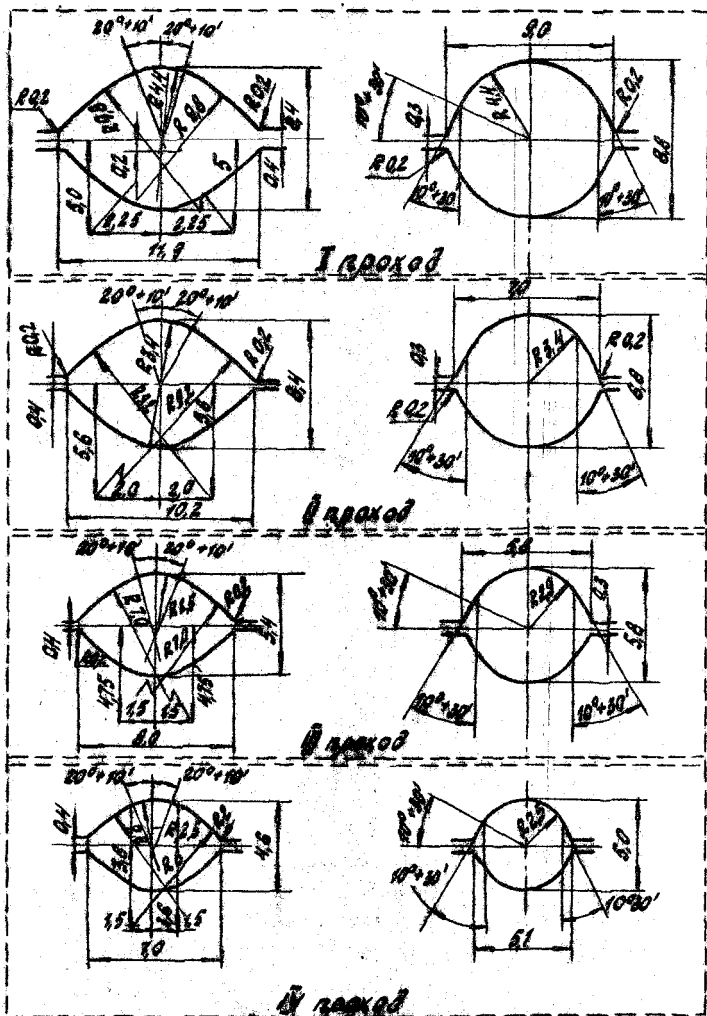


Рис. 4. Калибровка валков двойной роликовой волокни

обозначена на схеме стрелкой) следует промежуточный отжиг. Исследование механических свойств показало, что проволока  $\varnothing 8,4$ ;  $6,4$  и  $5,2$  мм имеет относительное удлинение  $10-16\%$ . Это свидетельствует о том, что пластические свойства материала на этих переходах использованы не полностью. Однако, имеющийся резерв пластичности путем интенсификации обжатий использовать в монолитных фильерах не удалось из-за обрывов переднего конца полосы. Применение роликовых волок позволило это осуществить и убрать один проход и одну термообработку. Исследования показали, что существенным положительным результатом протяжки в роликовой волоке является получение качественно нового полуфабриката с более мелким равномерным зерном. По заключению потребителя этого полуфабриката (Краснокамского завода металлических сеток) изделия, изготовленные из проволоки, полученной в роликовых волоках, обладают более высокими эксплуатационными характеристиками в сравнении с изготовленными из проволоки, полученной в монолитных фильерах.

В результате исследования микроструктуры и механических свойств определено, что оптимальным, с точки зрения получения заданных механических свойств, является отжиг при температуре  $570-590^{\circ}\text{C}$  в течении  $2-3$  часов. Повышение температуры отжига до  $630^{\circ}\text{C}$  так же как и увеличение времени отжига до  $4$  час. приводит к росту величины зерна, что затрудняет деформацию такой проволоки на тонких размерах.

При изучении деформации латуни Л80 через монолитную фильеру по маршруту  $\varnothing 11,5 \rightarrow \varnothing 8,5 \rightarrow \varnothing 7,0 \rightarrow \varnothing 6,0 \rightarrow \varnothing 5,3$  мм установлено, что размер  $5,3$  можно получить за меньшее количество проходов. В монолитных фильерах это не удается сделать из-за повышенной обрывности проволоки. Протяжка проволоки Л80 через роликовую волоку по маршруту  $\varnothing 11,5 \rightarrow \varnothing 8,5 \rightarrow \varnothing 6,8 \rightarrow \varnothing 5,3$  проходила устойчиво, без обрывов. Сравнение микроструктуры показало, что у полученной волочением через монолитную фильеру проволоки типично вытянутая структура с параллельными линиями скольжения, а у полученной в роликовых волоках, наряду с продольными волокнами, образуются линии поперечного скольжения, что свидетельствует о запасе пластичности.

Исследованием процессов волочения проволоки из латуни ЛС59-1 через монолитную волоку и протяжки её через роликовую волоку установлено, что при деформации в монолитной волоке обжатия не превышают  $35-37\%$  с применением промежуточного отжига

и травления, а применение роликовой волоки позволило увеличить степень деформации до 50-52%, что позволяет исключить три операции: волочение, промежуточный отжиг и травление.

Таким образом, проведенные исследования позволили выбрать для каждой марки сплавов наиболее рациональные схемы протяжки.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ имеющихся литературных источников показал, что одним из перспективных способов деформации сплавов на основе меди является способ протяжки в роликовых волоках. Особенно целесообразно его применение при обработке литых заготовок с  $\varnothing$  (16-12) мм до  $\varnothing$  4 мм.

2. Впервые с позиций энергетической теории взаимодействия полосы и роликов выполнено комплексное теоретическое исследование параметров процесса протяжки в роликовых волоках.

3. Получены зависимости, позволяющие определить все необходимые для разработки технологии параметры, в том числе давление металла на ролики, усилие и напряжение протяжки, предельно допустимые вытяжки, коэффициент запаса прочности переднего конца полосы. Исследована кинематика очага деформации при протяжке в роликовых волоках.

4. Экспериментально определено влияние различных параметров процесса (трение на контактной поверхности, коэффициент вытяжки, диаметр роликов, скорость протяжки, заднее натяжение) на усилие протяжки и давление металла на ролики. Полученные экспериментальные данные показали удовлетворительную сходимость с ними теоретических результатов.

5. Разработаны, при непосредственном участии автора, два варианта четырехроликовых волок, позволяющих деформировать металл как в четырехвалковых, так и в двойных двухвалковых калибрах.

6. Разработана технология изготовления рабочего инструмента роликовых волок.

7. Выполненные исследования позволили разработать калибровки и режимы обжатий латуни Л80 и ЛС59-1, а также бронз Бр. ОЦ 4-3 и Бр. ОФ 8,0-0,3. Сравнение деформации этих сплавов прокаткой, протяжкой в роликовых волоках и волочением в монолитных фильерах показало целесообразность производства проволоки с  $\varnothing$  12 мм до  $\varnothing$  5 мм в четырехроликовых волоках со смещением пар роликов.

8. Выполнено металлографическое исследование структуры и исследование механических свойств проволоки из сплавов на основе



меди в зависимости от способа деформации. Исследование подтвердило целесообразность применения роликовых волок при производстве проволоки до  $\varnothing$  4 мм и позволило рекомендовать для деформации систему калибров круг-овал-круг.

9. Исследованием влияния термической обработки на механические свойства и структуру проволоки из бронзы Бр. ОФ 8,0-0,3 установлено, что для получения высококачественного полуфабриката окончательный отжиг необходимо осуществлять при температуре  $570^{\circ}$ - $590^{\circ}$ С в течение 2-3 часов.

10. Промышленная проверка разработанной технологии показала, что применение протяжки в роликовых волоках при переделе с  $\varnothing$  12мм на  $\varnothing$  5мм позволяет исключить три операции: волочение, отжиг и травление.

11. Экономический эффект от внедрения результатов работы на Туимском заводе по обработке цветных металлов в Краснокамском заводе металлических сеток составил 151,8 тыс.руб в год.

#### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

1. Морозов Г.П., Черноусова К.Т. Механические свойства литой бронзы ОЦ 4-3, - В сб.: Влияние предварительной деформации на свойства металлов и сплавов. - Алма-Ата: Наука, 1971.

2. Баиметов Н.Б., Чернышева Ю.П., Морозов Г.П. Влияние предварительной деформации на механические свойства бронзы ОЦ 4-3. - В сб.: Структура и свойства оловянистых бронз. ВИНТИ, № 5861-73.

3. Барков Л.А., Шеркунов В.Г., Морозов Г.П. и др. Прокатка бронзы Бр. ОФ 8-03 на станах с многовалковыми калибрами. В сб.: Теория и технология прокатки, № 209. - Челябинск: ЧИИ, 1978.

4. Шеркунов В.Г., Штер А.А., Морозов Г.П. Исследование процесса прокатки с натяжением в круглом четырехвалковом калибре. - В сб.: Теория и технология прокатки. № 209. - Челябинск, ЧИИ, 1978.

5. Выдрин В.Н., Шеркунов В.Г., Морозов Г.П. и др. Влияние способа деформации и режима отжига на механические свойства проволоки Бр. ОФ 8-0,3. - Цветные металлы, 1980, № 8.

6. Морозов Г.П., Часников А.Я. Влияние способа деформации на механические свойства и структуру проволоки Л 80. - Цветные металлы, 1982, № 3.

