

6
А-52

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

Сибирский металлургический институт им. Серго Орджоникидзе

На правах рукописи

Татьяна Григорьевна КЛУБИНА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ НА
ПРЯМОТОЧНЫХ СТАНАХ

Диссертация на русском языке

Специальность 05.16.05 - обработка металлов давлением

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

НОВОКУЗНЕЦК - 1973

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РСФСР

Сибирский металлургический институт им. Серго Орджоникидзе

На правах рукописи

Татьяна Григорьевна КЛУБИНА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ НА
ПРЯМОТОЧНЫХ СТАНАХ

Диссертация на русском языке

Специальность 05.16.05 – обработка металлов давлением

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук

НОВОКУЗНЕЦК – 1973

Современные прямоточные станы для волочения проволоки круглого сплошного профиля из металла различных марок получили широкое распространение в металлургической и кабельной промышленности. Объясняется это их простотой, универсальностью, меньшим числом переключений проволоки по сравнению с другими станами, большими скоростями волочения, удобством обслуживания. Наряду с перечисленными достоинствами указанные станы обладают рядом недостатков, основными из которых является невозможность регулярного контроля и поддержания заданного технологического режима волочения.

В настоящее время управление станом осуществляется волоочильщиком по приборам, измеряющим токи возбуждения двигателей, что не даёт возможности определять и контролировать силу волочения. Только наличие на стане приборов, непосредственно измеряющих силовые параметры, позволит обслуживающему персоналу устанавливать и поддерживать оптимальный технологический режим, приводящий к экономическому эффекту и способствующий повышению износостойкости волоочильного инструмента. Кроме того, это поможет выявить причины и резко снизить обрывность проволоки и получить более точные значения давления металла на волокна с учётом действительных условий волочения.

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей технологического процесса волочения проволоки на прямоточных станах. Работа состоит из шести глав.

В первой главе приводится обзор литературных данных по вопросам теории и практики использования протекторных покрытий при волочении проволоки круглого сплошного профиля. Проанализированы методы аналитического и экспериментального определения силы волочения, а также рассмотрено влияние протекторных

ния, скорости, коэффициента внешнего трения и дробиности деформации на процесс волочения.

Большой вклад в теорию и практику волочения с противонапряжением внесли советские и зарубежные учёные: А.Я.Хейн, С.И.Губкин, А.И.Целиков, И.Л.Перлин, Е.В.Пальмов, И.М.Павлов, А.Л.Тарнавский, И.А.Юхвяд, А.М.Когос, И.Н.Недовизий, В.Л.Колмогоров, В.З.Жилкин, Ф.Томпсон, В.Льюэг, А.Помп, К.Льюис, Ф.Кербор, А.Эйхингер и многие другие.

Практическое использование принципа волочения с противонапряжением применительно к многократным станам нашло своё выражение в советских машинах разработки институтов ЦНИИТМАШ и ВНИИТМАШ, а также в станах ряда иностранных фирм США, Англии и др. стран. Большинство новейших станов, именуемых прямоочными, конструируются по принципу прямого ввода проволоки в вологу. Такие машины обладают рядом преимуществ по сравнению с петлевыми и со станами с накоплением.

Для проектирования и эксплуатации любого оборудования необходимо иметь сведения о действующих силовых параметрах, которые могут быть определены аналитическим или экспериментальным путём. Базой для вывода большинства аналитических зависимостей служит метод совместного решения приближённых дифференциальных уравнений равновесия сил в очаге деформации и уравнения пластичности. В общем случае такие системы очень сложны, поэтому их решают с рядом допущений, что снижает точность метода. Указанным способом получены выражения для определения напряжений волочения с учётом противонапряжения С.И.Гускиным, А.И.Целиковым, И.Л.Перлиным, А.Л.Тарнавским, В.Н.Шамшаевым, П.Л.Симоновым, В.Я.Шапиро, В.З.Жилкиным и др.

Другим методом является экспериментальное определение силы волочения в лабораторных и производственных условиях, которые проводили И.Л.Перлин, А.Л.Тарнавский, Н.Г.Решетников, А.И.Иванов, В.З.Жилкин, С.П.Буркин, А.Н.Леванов и др. Наиболее точным и реальным является замер параметров волочения в производственных условиях, однако, он связан с определёнными трудностями и обладает большой трудоёмкостью.

Созданием постояннодействующей аппаратуры по замеру силовых параметров волочения занимаются Томское СКБ измерительных приборов, К.А.Гречаний, Ю.П.Мироненко, В.Е.Власов, Б.В.Беспалов, И.Г.Гринман, В.М.Пустыльников, А.А.Винницкий, Ю.И.Малахов, П.П.Сахарчук и др. Особое внимание уделялось исследованию волочения с противонапряжением.

Влияние скорости на силу волочения изучала Б.В.Пальмов, И.Л.Перлин, А.Л.Тарнавский, И.Н.Недовизий, Н.Г.Решетников, В.З.Жилкин, Н.З.Днестровский, Ф.Томпсон, Я.Хисаси, И.Наоцугу, Бернгейт, В.Кунда и др. Несмотря на противоречивость некоторых мнений, преобладающим является заключение о том, что при общей тенденции к стабилизации и снижению силы волочения с ростом скорости в диапазоне средних и высоких скоростей эта зависимость является функцией многих факторов, определяющих условия волочения, и в каждом конкретном случае будет иметь определённый характер.

Ввиду противоречивости мнений в вопросах существования критического противонапряжения, эффективности волочения с противонапряжением, величины оптимального его значения, а также отсутствия выводов о роли противонапряжения в работе прямоочных волочильных станов, возникает необходимость в оценке влияния противонапряжения на силу волочения. В связи с этим основной задачей настоящей работы является разработка аппаратуры и метода замера прогн-

вонатяжения, а также выяснение степени его влияния на параметры волочения.

Во второй главе рассматриваются результаты лабораторных исследований по уточнению влияния противонатяжения на силовые параметры и оценке его критического значения. В первом параграфе приводится описание лабораторной установки, которая выполнена на базе разрывной машины и состоит из сборной рамы с двумя глитами, представляющими собой мембранные упругие элементы. Прибор подвешивается через тензометрическую пластину к верхней траверсе. Нижняя мембрана с установленной волокой измеряет давление на инструмент, а верхняя - противонатяжение, создаваемое упором, закреплённым на свободном верхнем конце проволоки. Приведён расчёт месдоз и даётся оценка ожидаемой погрешности эксперимента. На примере волочения проволоки из оловянно-фосфористой бронзы марки БрОФб,5-0,4 получены зависимости параметров волочения от противонатяжения, носящие линейный характер и свидетельствующие об отсутствии его критического значения. Предложен графоаналитический метод, позволивший выразить давление на волоку, отнесённое к площади поперечного сечения переднего конца проволоки в виде:

$$p_a = K_0 \left(1 - \frac{\sigma_a}{\sigma_{\delta 0}} \right),$$

а также напряжение волочения с учётом противонатяжения в виде:

$$K_a = K_0 + \left(\mu - \frac{K_0}{\sigma_{\delta 0}} \right) \sigma_a,$$

где K_0 - напряжение волочения без противонатяжения;

μ - вытяжка;

σ_a - напряжение противонатяжения;

$\sigma_{\delta 0}$ - предел прочности проволоки до волочения.

Во втором параграфе приводится описание и результаты экспе-

риментов по определению влияния дробности деформации на величину силы волочения и прочностные свойства проволоки, выполненные на вышеуказанной лабораторной установке. Методика исследования заключается в том, что одна и та же степень деформации посредством сменных волок, устанавливаемых на верхней мембране установки, разделяется на две с разным соотношением частных вытяжек. Результаты исследований показали, что дробность деформации увеличивает силу волочения на 10-15% а счёт роста суммы частных вытяжек вследствие упругой деформации проволоки после первой волоки и уменьшает предел прочности металла на 1-4%.

В третьей главе приводится описание и результаты комплексных промышленных исследований, проведённых на прямоточном волочильном стане типа ВМЗ-4/550 Балхашского завода по обработке цветных металлов с целью определения действительных нагрузок на инструмент, установления взаимозависимости между силовыми параметрами и выявления влияния ряда факторов на процесс волочения.

В первом параграфе рассматривается аппаратура для замера силовых параметров волочения, часть которой была разработана вновь, а другая часть представляет собой усовершенствованную имеющуюся. Изменения, внесённые в приборы, связаны с устранением отдельных недостатков и недоработок, а также с приспособлением их к используемому оборудованию. Приведено описание и расчёты датчиков и электрической схемы.

Во втором параграфе даётся оценка погрешности измерений, которая с учётом динамики процесса не превышает $\pm 5\%$.

Третий параграф посвящён описанию тарировки аппаратуры. В целях максимального исключения ошибок измерений тарировка проводилась непосредственно на стане. Имитатором проволоки являлся

стальной трос. Приводится описание тарировочного приспособления и различные схемы тарировки в зависимости от точки маршрута.

В четвёртом параграфе рассматриваются результаты измерения параметров волочения по действующим технологическим маршрутам. В ходе промышленных исследований волочению подвергалась оловянно-фосфористая проволока различных марок. Автором были проведены многочисленные эксперименты с записью на осциллографической бумаге семи силовых параметров и скорости волочения, изменяющихся с момента заправки, в процессе разгона, установившегося режима и остановки стана. Характерной особенностью процесса является тесная связь между всеми силовыми параметрами и изменение противонатяжения в противофазе с давлением на волоку. Получены данные средних значений силовых величин в установившемся режиме при различных материалах проволоки, схеме обжаты и скоростях волочения. Результаты показали, что противонатяжение и меняется произвольно и в широких пределах. Последнее лишнее раз подтверждает необходимость осуществления его постоянного контроля.

В пятом параграфе описываются эксперименты, поставленные для выяснения влияния противонатяжения на силовые параметры. Сущность методики исследования состояла в том, что замеры осуществлялись при установившейся скорости путём плавного изменения противонатяжения посредством тока возбуждения двигателя тягового барабана. Результаты исследований показали, что критическое противонатяжение отсутствует, а сила волочения и давление на волоку изменяются линейно с ростом противонатяжения и обратно друг другу. Полученные данные совпадают с результатами исследований, проведённых автором ранее со сталью ОвКП и ОВГА.

В шестом параграфе рассмотрены опыты по выявлению зависимости давления на волоку от скорости волочения. Методика экспери-

мента заключался в том, что давление на волоку измерялось в тот момент, когда противонатяжение обращалось в нуль. Результаты показали, что давление на инструмент при волочении проволоки из оловянно-фосфористой бронзы со смазкой растительным маслом снижается во всём интервале скоростей от 0,25 до 6 м/сек. Причём до 2 м/сек наблюдается более резкое уменьшение, составляющее 20%, а в дальнейшем оно понижается до 15%. График экспериментальной зависимости совпадает с расчётными кривыми, выполненными на основании выведенных в работе формул.

Седьмой параграф посвящён изучению влияния изгиба проволоки тяговыми барабанами и отклоняющими роликками приборов на её геометрические параметры и прочностные свойства. В результате выявилось, что во многих точках изгиба проволоки имеет место уменьшение поперечного сечения, свидетельствующее о протекании на прямоточном стане процесса деформации металла вне волоки. Кроме того, наблюдается разупрочняющее действие изгиба, зависящее от точки маршрута.

В четвёртой главе проводится сравнительный анализ зависимостей для определения напряжений волочения с учётом противонатяжения, выведенных С.И. Губкиным, А.И. Челиковым, А.П. Тарнавским, И.Л. Перлцим, В.Н. Шамраевым, Л.Л. Симоновым, В.Г. Шапиро, Ф. Кербером и А.Э. Хингером, и сопоставление результатов расчёта с опытными данными.

В первом параграфе показано, что в рассматриваемых формулах заложено увеличение коэффициента трения с ростом диаметра, а также то, что различным величинам вытяжки, исходного диаметра сопротивления деформирования соответствуют для одной и той же формулы различные, существенно отличающиеся значения коэффициента трения, полученные на основе принятой в литературе мето-

дики его определения. Кроме того, при одинаковых условиях волочения коэффициенты трения вычисленные по разным формулам, резко различаются и зависят от давления на волоку. Полученные результаты свидетельствуют о том, что способ определения коэффициента трения по известной формуле посредством замера давления на волоку неточен.

Во втором параграфе проведено сравнение аналитических уравнений с целью оценки учёта ими противонапряжения. Показано, что рассмотренные формулы с различной погрешностью отражают влияние противонапряжения на напряжение волочения. Предложены формулы, позволяющие оценить точность учёта этого влияния любым аналитически выражением.

В пятой главе рассматриваются особенности силового режима работы прямоточного волочильного стана.

Первый параграф посвящён оценке эффективности использования противонапряжения. На основании полученных в работе зависимостей, определяющих взаимосвязь силовых параметров, выводится формула расчёта мощности, необходимой для осуществления процесса волочения, которая в общем случае имеет вид:

$$\sum N = \sum_{n=1}^{n=k} (P_{on} V_n R) - \sum_{n=2}^{n=k} [Q_n V_n R \left(\frac{1}{\mu_n} + \frac{P_{on}}{P_{pon}} - 1 \right)],$$

где: k - кратность волочильного стана; V - скорость проволоки на тяговом барабане; P_0 - давление на волоку при отсутствии противонапряжения; Q - противонапряжение; P_{p0} - сила разрыва проволоки до входа в волоку; r - радиус тягового барабана.

Проведённый анализ формулы показал, что мощность, затрачиваемая на волочение с противонапряжением, меньше мощности, расходуемой без него, для чего должно выполняться условие:

$$1 < \mu_n < \frac{P_{pon}}{P_{pon} - P_{on}}$$

При этом экономия энергии находится из выражения:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_{n=2}^{n=k} [Q_n V_n \left(\frac{1}{\mu_n} + \frac{P_{on}}{P_{pon}} - 1 \right)]}{\sum_{n=1}^{n=k} (P_{on} V_n)} \cdot 100(\%),$$

которое показывает, что для получения наибольшей эффективности необходимо создавать максимально возможные противонапряжения.

Далее представлен вывод формул по расчёту максимально допустимых напряжений противонапряжения, зависящих от технологического маршрута, а именно:

$$\text{при } \mu > \sigma_{в1} / \sigma_{в0} \quad \sigma_{Q\text{макс}}' = \zeta' \sigma_{в0} \frac{\sigma_{в1} - K_0}{\sigma_{в0} \mu - K_0};$$

$$\text{при } \mu < \sigma_{в1} / \sigma_{в0} \quad \sigma_{Q\text{макс}}'' = \eta'' \sigma_{в0},$$

где: $\sigma_{в1}$ - предел прочности проволоки после волочения;

η' ; η'' - коэффициенты запаса противонапряжения.

В целях устранения опасности обрыва проволоки коэффициенты запаса противонапряжения берутся с учётом реальных условий процесса волочения и имеют вид:

$$\eta' = \frac{(1 - \Delta_0) [\sigma_{в1} (1 - \Delta_1) - K_0] (\sigma_{в0} \mu - K_0)}{[\sigma_{в0} \mu (1 + \Delta_0) - K_0] (\sigma_{в1} - K_0)};$$

$$\eta'' = 1 - \Delta_0,$$

где Δ_0 ; Δ_1 - максимальные относительные отклонения предела прочности проволоки до и после волоки соответственно от среднего значения.

Уменьшение расхода мощности на прямоочных волочильных станах можно объяснить снижением затрат энергии на преодоление сил трения в очаге деформации вследствие перераспределения напряжений использованием противонатяжения, т.к. в отличие от однократного волочения, где последнее повышает силу протяжки, противонатяжение участка проволоки, сходящей с каждого из промежуточных барабачков, частично или полностью компенсирует увеличение крутящего момента за счёт противонатяжения перед предшествующей барабану волокой.

Во втором параграфе даётся способ определения и контроля оптимального силового режима работы стана, который внедрён наряду с постояннодействующими приборами по замеру давлений на волски в проволочном цехе Балхашского завода по обработке цветных металлов. Указанный способ соответствует установленным максимально возможным значениям противонатяжений и, тем самым, призван обеспечивать максимальное снижение затрат энергии и минимальный износ волочильного инструмента. Приборы, определяющие давления на волски, аналогичны использованным в промышленных исследованиях. В качестве регистраторов сигналов, снимаемых с мембранных датчиков, применены автоматические потенциометры типа ЭПД, приспособленные к измерению давления путём некоторых переделок.

Третий параграф посвящён математической обработке результатов и оценке необходимого числа экспериментов. В усло-

виях внедрения постояннодействующей аппаратуры по замеру давлений на волски и вышеупомянутого способа вопросы о достоверности данных по прочностным свойствам проволоки, о знании реального разброса их значений и о необходимом количестве замеров при определении предела прочности вдоль маршрута имеют большое значение. В связи с этим проводилась математическая обработка результатов предварительных экспериментов и оценка необходимого числа опытов в условиях дальнейшей эксплуатации стана. При этом для доверительной вероятности 99% и максимально допустимой величине относительного доверительного интервала среднего значения, равной 5%, достаточно произвести 15 ± 5 замеров при условии 20 ти предварительных экспериментов.

В шестой главе проводится обсуждение результатов работы. Выполненные лабораторные и промышленные исследования подтвердили существенное влияние противонатяжения на силовые параметры, в частности, на давление на волоку. По некоторым литературным источникам уменьшение последнего с ростом противонатяжения объясняется тем, что проволока, подвергаясь упругим и малым упруго-пластическим деформациям от противонатяжения, входит в очаг пластической деформации с небольшим уменьшением своего первоначального поперечного сечения. При этом влияние противонатяжения на зону пластической деформации исключается и создано представление о критическом противонатяжении.

Теоретически для объяснения роли критического противонапряжения авторы исходят из созданной ими схемы распределения доле-вых и суммарных напряжений по очагу деформации при волочении. В основу этой схемы положены неизменность суммы доле-вых и рачи-альных напряжений в каждом сечении пластической области очага деформации и деление деформационной зоны на упругую и пластическую области. Рассматривая различные схемы связи напряжения противонапряжения с долевыми напряжениями, авторы ограничиваются явлениями происходящими в металле у входа в волоку, и совершенно не учитывают того, что металл в очаге деформации и вне его представляет собой единое целое, и всякое растягивающее напряжение, приложенное к входящему концу, действует не только на предположае-мому ими упругую зону, но и в пластической области.

Высказанное возражение ставит под сомнение теоретическое обоснование и действительное существование критического противонапряжения. Вероятно, такого противонапряжения не существует, поскольку всякая нагрузка на задний конец проволоки должна вызывать дополнительные напряжения волочения. Обнаруженная же рядом авторов неизменность, слабый рост или даже спад силы волочения в некотором диапазоне изменения противонапряжений связаны, по-видимому, с постановкой эксперимент. Действительно, противонапря-жение в этих опытах создавалось грузом, который подвешивался к проволоке, перекинутой через блок и изгибающейся на нём под углом в 180° . Известно, что такой изгиб создаёт в металле перераспределение остаточных напряжений и вызывает частичное уменьшение показателей механических свойств. Так, в настоящей работе получен разупрочняющий эффект от тяговых барабанов и дополни-тельных рс-тиков приборов. Разупрочнение приводит к более резкому уменьшению давления на волоку, а следс-ательно и к первоначаль-

начальному снижению силы волочения.

Отмеченное явление, вероятно, следует отнести к эффекту Баушингера, когда малое первичное пластическое деформирование материала снижает его сопротивление пластическому формоизменению при повторном нагружении, имеющем направление, противоположное первичному. На характер изменения давления металла на волоку с введением проти онапряжения, очевидно, оказывают влияние упрочнение металла, а также соотношение диаметров проволоки и блока. В работе К. П. Колчина указано, что уменьшение прочностных характеристик полосы с введением дополнительного изгиба повышается по мере упрочнения. Этим обстоятельством объясняется, по-видимому, отмечаемая исследователями зависимость критического противонапряжения от предварительной деформации. Так при волочении отожжённого металла критическое противонапряжение отсутствует. Очевидно также, что влияние изгиба проволоки будет различно в зависимости от марки материала, что подтверждается в экспериментах различными значениями критического противонапряжения для разных материалов.

Экспериментальные и расчётные данные показали, что скорость волочения также значительно влияет на величину давления на волоку. Одной из причин этого, возможно, является уменьшение сопротивления деформированию вследствие повышения температуры в очаге деформации. На основании формул, выведенных Р. Б. Красильщиковым для расчёта температуры в очаге деформации, было получено, что температура в конце очага деформации при волочении оловянно-фосфористой бронзы составляет 478°C . При такой температуре может произойти повышение пластичности бронзы и, следовательно, понижение сопротивления деформированию, а отсюда - и падение давле-

ция на волоку. Увеличение скорости волочения приводит к тому, что температура аккумулируется в небольшом объеме и, следовательно, способствует повышению температуры металла в очаге деформации, а значит, и снижению сопротивления деформированию.

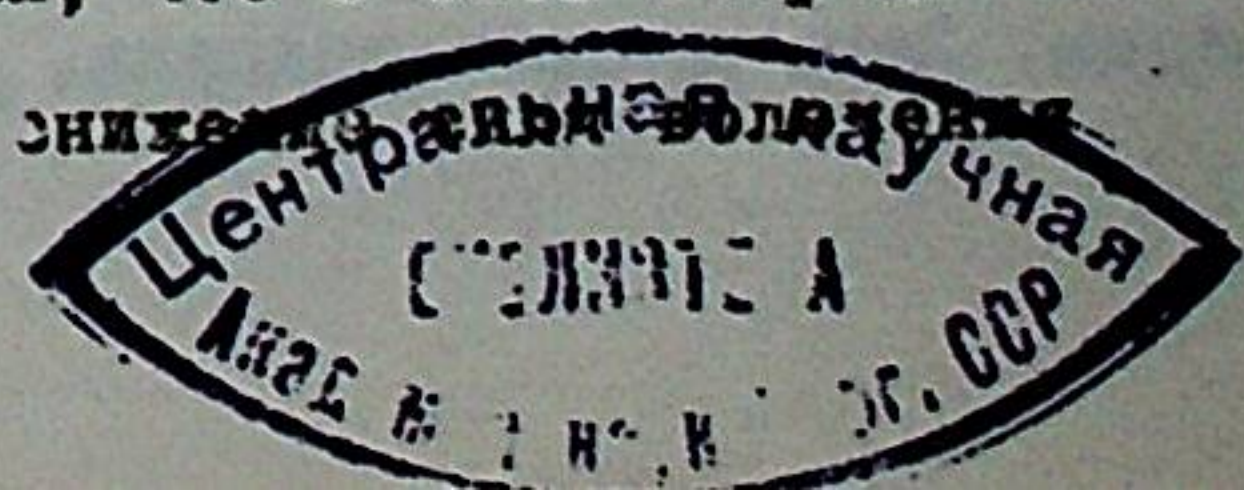
Установленное изменение геометрических размеров проволоки и её механических свойств позволяет утверждать, что в процессе движения проволоки по тяговым барабанам и отклоняющим роликам измерительных приборов происходят её необратимые формоизменения. Согласно полученным данным противонапряжение на прямоочных станах достигает больших величин, которые вызывают и повышенное значение силы волочения. Следовательно, в проволоке на участках до и после волоки возникают большие растягивающие напряжения, которые сами по себе могут привести к необратимым формоизменениям. Однако, процесс облегчается изгибами проволоки на барабанах и роликах. Малые пластические деформации и характер изгиба проволоки на барабанах и роликах создают необходимые условия для проявления разупрочняющего эффекта. Отмеченное разупрочняющее действие при условии получения проволоки с заданными механическими характеристиками может оказаться нежелательным. В общем же случае такой эффект может дать экономию энергии за счёт снижения силы волочения. В этом смысле станы, имеющие барабаны меньших диаметров, должны быть более эффективны по сравнению со станами с большим диаметром тяговых барабанов, а также станы петлевого типа более эффективны по сравнению с прямоочными станами при прочих равных условиях.

При рассмотрении осциллограмм изменения силовых параметров в процессе волочения на прямоочном стане можно заметить непо-

стоянство параметров. Особенно значительно изменяется давление на первую волоку, которое периодически может уменьшаться почти до нуля. Последнее говорит о том, что процесс волочения через неё носит циклический характер. Поскольку на прямоочном стане силовые параметры взаимосвязаны между собой, то изменение одного из них мгновенно передаётся остальным. Источником колебаний может быть любое из усилий на каждой волоке. Основными причинами, влияющими на изменение силовых параметров, могут явиться:

1. Нестабильность работы электрической части стана.
2. Неоднородность проволоки по прочностным свойствам и геометрическим параметрам по её длине.
3. Характер внешнего трения в волоке, на что влияет не только состояние смазочного слоя, но и подготовка поверхности.
4. Характер трения на тяговых барабанах.

Однако, первые три причины не являются систематическими и преобладающими. Рассматривая четвертую из них, учитываем, что на прямоочных станах первый барабан работает со скольжением. При этом скольжение проволоки наступает в тот момент, когда количество её, протянутое через волоку, окажется большим, чем объём, проходящий во вторую. В указанный момент между первым барабаном и второй волокой образуется петля, в результате чего уменьшается противонапряжение у второй волоки, а сила волочения в первой - падает до нуля. Падение противонапряжения приводит к увеличению давления на вторую волоку и снижению силы волочения через неё. Вследствие падения нагрузки на втором барабане начнёт расти его скорость, что приводит к ослаблению натяжения проволоки между этим барабаном и третьей волокой, т.е. уменьшается противонапряжение у третьей волоки, что в свою очередь влечёт рост давления на третью волоку и снижение силы волочения.



через неё и т.д. Процесс скольжения на первом барабане продолжается до тех пор, пока противонапряжение у второй волоки не достигнет значения, достаточного для создания необходимых сил трения. Тогда проволока не может протягиваться через волоку. Рост противонапряжения у второй волоки приводит к обратному изменению всех силовых параметров на стане. Данные осциллограмм свидетельствуют о том, что максимальные по амплитуде колебания отражают описанные процессы. На основании этого делается вывод, что скольжение на первом барабане является одним из основных источников колебаний силовых параметров на стане.

Из рассмотрения осциллограмм обнаруживается, что существуют также другие колебания. По данным изменения давления на волоку при работе однокругного стана типа ВС-1/650, работающего без скольжения, ранее было сделано заключение, что волочение на указанном стане протекает дискретно. Имеет место фактическая остановка движения проволоки, когда нижний виток её затягивается и резко брасывает вверх с конической поверхности барабана весь накопившийся запас проволоки. В этот момент последняя скользит по барабану в направлении волочения. Аналогичная картина, только менее ярко выраженная, имеет место и на прямоточном стане. Первый виток проволоки, наматываясь на барабан, поднимает кверху все последующие витки её. Каждый последующий виток, перемещаясь по конической поверхности барабана, оказывается большего диаметра, чем диаметр барабана. По этой причине ослабевает связь между проволокой и барабаном на какое-то время, что может привести к некоторому проскальзыванию, пока проволока не затянется. В момент ослабления связи должна уменьшиться сила волочения, что повлечёт снижение давления и противонапряжения на предыдущей волоке. Это, в свою очередь, повлияет на скорость предыдущего

барабана и вызовет уменьшение противонапряжения и силы волочения, и, следовательно, увеличение давления на предыдущую волоку. С другой стороны, ослабевание связи между проволокой и барабаном сопровождается понижением противонапряжения и силы волочения через последующую волоку, при этом давление на неё возрастёт, и т.д. При рассмотрении осциллограмм, действительно, обнаруживаются броски параметра в волочения, соответствующие описанному характеру.

Проведённый сравнительный анализ аналитических зависимостей для определения напряжений волочения показал, что они имеют различную погрешность, причиной чего может являться неточность учёта противонапряжения, а также внешнего трения и сопротивления деформированию. Для оценки влияния противонапряжения можно пользоваться выражением, определяющим взаимосвязь силовых параметров. Кроме того, в работе предложены формулы, по которым легко оценить точность этого влияния любой аналитической зависимостью. Полученные значительные расхождения между вычисленными по имеющимся аналитическим формулам давлениями на волоки и экспериментально определёнными значениями последних приводят к выводу, что в настоящее время более точным способом установления давления на волоку может явиться экспериментальный замер в реальных условиях, который требует наличия на стане постоянно действующих приборов по определению силовых параметров волочения.

Предполагаемое отсутствие критического противонапряжения несколько меняет взгляд на эффективность использования противонапряжения. Данный вопрос, вероятно, правильнее было бы рассматривать в отдельности применительно к волочению через одну волоку.

ку и на многократных волочильных станах. Поскольку сила волочения увеличивается при любом значении противонапряжения, то в случае протяжки через одну вставку можно говорить лишь об экономии расхода волочильного инструмента вследствие снижения давления на его рабочую поверхность. Проведённый анализ эффективности использования противонапряжения на прямоочных волочильных станах показал, что любое противонапряжение вызывает экономию мощности за счёт снижения затрат энергии на преодоление сил трения в очаге деформации, когда вытяжка находится в определённых пределах. Причём эта экономия увеличивается с ростом кратности стана и величин противонапряжений.

Результаты внедрения способа определения и контроля оптимального силового режима работы стана показали, что предложенный методика достаточно проста и удобна в эксплуатации, а формулы для расчёта всех необходимых величин довольно точны. Проведённая при этом математическая обработка результатов экспериментов с целью оценки необходимого числа опытов по измерению прочностных свойств проволоки марки Бр0Ф6,5-0,4 ограничивает их 20-ю замерами, что должно обеспечивать запас прочности, необходимый для предотвращения опасности обрыва.

О С Н О В Н Ы Е В Ы В О Д Ы

1. Впервые произведён комплексный замер силовых параметров волочения оловянно-фосфористой бронзы и стали на прямоочных станах ВМЗ-4/550 и ВС6-7/550 в производственных условиях.
2. Внедены последовательно действующие приборы по замеру давлений на проволоку станом ВМЗ-4/550 БГМК.
3. Установлено, что зависимости силовых параметров волочения

от противонапряжения носят линейный характер, и что интенсивности роста силы волочения и спада давлений на проволоку с увеличением противонапряжения зависят от давления на проволоку без противонапряжения и от напряжения разрыва протягиваемой проволоки.

4. Предложены зависимости, определяющие взаимосвязь между тремя силовыми параметрами волочения.
5. В процессе экспериментов не было обнаружено критического противонапряжения, возможная причина появления которого заключается в отсутствии учёта разупрочняющего действия изгиба.
6. Экспериментально получено и расчётным путём подтверждено, что при волочении проволоки из оловянно-фосфористой бронзы со смазкой растительным маслом увеличение скорости в диапазоне 0,25 + 6 м/сек вызывает понижение давления металла на проволоку в среднем на 30%.
7. Определено, что использование на прямоочных станах дополнительных отклоняющих роликов, а также уменьшение диаметров тяговых барабанов может дать экономию энергии за счёт разупрочняющего эффекта, приводящего к снижению силы волочения.
8. Проведённое сравнение некоторых аналитических зависимостей для расчёта напряжений волочения показало несовпадение не только расчётных значений с экспериментально определёнными в промышленных условиях усилиями волочения, но и между вычисленными по разным формулам силовыми параметрами.
9. Рассмотренные аналитические зависимости с различной погрешностью отражают влияние противонапряжения на напряжение волочения. Более точно это влияние может быть учтено при использовании предлагаемых формул.
10. На основании выведенных зависимостей между силовыми парамет-

рами волочения предложен простой метод оценки точности учёта влияния противонапряжения любой аналитической формулой.

11. В рассмотренных аналитических зависимостях для расчёта напряжений волочения учёт сил трения и напряжения текучести недостаточно обоснован. Кроме того, эти формулы совершенно не учитывают тепловые явления, имеющие место в очаге деформации, и скорость волочения, которыми, как показали результаты замеров и расчётов, нельзя пренебрегать.
12. На прямоочных волочильных станах применение противонапряжения создаёт экономию мощности за счёт уменьшения затрат энергии на преодоление сил трения в очаге деформации во всех случаях, когда значения вытяжек в каждой волоке соответствуют определённом неравенству. Эта экономия тем больше, чем выше кратность стана и больше величины противонапряжений.
13. Определено, что для прямоочных волочильных станов во всех случаях наиболее эффективным является применение максимально возможных противонапряжений, определяемых по выведенным в работе зависимостям.
14. Внедрён способ определения и контроля оптимального силового режима работы прямоочного стана, который на основе установленных постояннодействующих приборов по замеру давлений на волоки и выведенных зависимостей между силовыми параметрами даёт возможность использовать волочильный стан в режиме, обеспечивающем максимальную экономию энергии и минимальный износ волочильного инструмента.

Результаты работы доложены:

- на Республиканской конференции по вопросам автоматизации производственных процессов, г. Алма-Ата, 1968.
- на объединённом заседании кафедр "Пластическая обработка металлов давлением" и "Машины и обработка давлением" Ленинградского ордена Ленина Политехнического института имени М.И.Калинина, г. Ленинград, 1972.
- на совместном заседании кафедр "Обработка металлов давлением" и "Прокатно-волочильное производство" Магнитогорского Горно-металлургического института имени Г.И.Носова, г. Магнитогорск, 1973.
- на совместном семинаре кафедры "Механическое оборудование металлургических заводов" и Отраслевой лаборатории по автоматизации процессов волочения Казахского Политехнического института имени В.И.Ленина, г. Алма-Ата, 1973.

и опубликованы в следующих работах:

1. А.А.Винницкий, А.Г.Гомельский, Т.Г.Клубина и др. Изменение параметров волочения на прямоочных станах ВСБ-7/550. Сб. "Автоматизация производственных процессов", изд. "Наука" КазССР, Алма-Ата, 1970, стр.127.
2. Т.Г.Клубина, А.А.Винницкий. О соотношении силовых параметров при волочении с противонапряжением. Труды Фрунзенского ПИ, серия "Обработка металлов давлением", Фрунзе, 1971, стр.137-144.
3. Т.Г.Клубина, А.А.Винницкий. Об эффективности использования противонапряжения на прямоочных волочильных станах. "Известия ВУЗов, Чёрная металлургия", № 4, 1972, стр.95-98.