

правах рукописи



РУМЯНЦЕВ Аркадий Николаевич

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА УВЕЛИЧЕНИЯ
ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ ДЛИННОМЕРНЫХ ПРОФИЛЕЙ
ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ.**

(Специальность 05.03.05. – Технологии и машины обработки давлением).

Автореферат

**Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва 2006 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н. Э. Баумана.

Научный руководитель - Колесников Александр Григорьевич, д. т. н., проф.

Официальные оппоненты -

д.т.н., проф., Ступников Владимир Петрович.

к.т.н., доц., Шишко Владимир Борисович.

Ведущее предприятие - АХК «ВНИИМЕТМАШ»

Защита состоится " 15 " 03 2006г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д212.141.04 в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д.5.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Телефон для справок 267-03-63

Автореферат разослан " 26 " 04 2005г.

Ученый секретарь Совета



Семенов В.И.

Актуальность проблемы. В настоящее время промышленность выпускает большое количество типоразмеров длинномерных профилей с различным поперечным сечением и различного назначения. Длинномерные профили широко применяются как готовые изделия (рельсы, балки, трубы, контактные провода, различные направляющие и т. п.), так и в качестве заготовок для последующей обработки методами обработки металлов давлением (ковка, штамповка) и методами обработки резанием.

Часть профилей, использующихся в качестве готовых изделий, в процессе эксплуатации подвержены интенсивному износу (рельсы, различные направляющие, контактные провода) и, в дальнейшем, нуждаются в частой замене. Например, истирание поперечного сечения контактного провода на 30 % приводит к его замене на новый, т. к. ослабленное сечение не в состоянии выдерживать силу натяжения провода между опорами. Изъятые из эксплуатации изношенные длинномерные профили в дальнейшем используются только в качестве лома при вторичной переработке металлов.

Вместе с тем, изношенные длинномерные профили все еще продолжают обладать необходимым набором химических, физических и механических свойств, достигнутых ранее на этапе металлургического передела.

Экономное расходование металлов и их эффективная вторичная переработка являются основными задачами современной промышленности, так как производство металлов и их переработка характеризуются дороговизной, насыщено множеством чрезвычайно сложных и энергоемких технологических операций и сопровождаются вредными выбросами.

Поэтому диссертационная работа посвящена проблеме восстановления длинномерных профилей методами, позволяющими снизить себестоимость продукции и энергозатраты на вторичный передел, улучшить экологическую ситуацию.

Представленная работа выполнялась на кафедре "Технологии и оборудование прокатки" МГТУ им. Н. Э. Баумана в соответствии с направлением "Разработка технологий и оборудования для получения изделий из техногенного сырья методами пластической деформации" и при поддержке гранта научно-исследовательских работ Госкомитета РФ по высшему образованию за 1999 год по теме "Разработка способа изготовления медных контактных проводов из техногенного сырья".

Цель и задачи работы. Целью работы является разработка способа восстановления изношенного сечения длинномерного профиля методом пластической деформации и разработка научно-обоснованной методики расчета энергосиловых параметров процесса.

В работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Установление функциональных взаимосвязей между условиями износа длинномерного профиля и изменением его технологических и эксплуатационных характеристик.



1738180

Румянцев А. Н. Разработка и

МГТУ
им. Н. Э. БАУМАНА
БИБЛИОТЕКА

2. Разработка технологической схемы восстановления длинномерного профиля методом пластической деформации.

3. Разработка физической и математической моделей процесса деформирования изношенного длинномерного профиля на основе исследований закономерностей течения металла в очаге пластической деформации.

4. Разработка методик проектирования технологического процесса восстановления длинномерного профиля. Разработка алгоритмов и программ для определения силовых и кинематических параметров.

Научная новизна. В работе теоретически и экспериментально обоснован новый способ увеличения поперечного сечения длинномерного профиля методом пластического деформирования. Впервые получены зависимости для расчета силовых и деформационных параметров процесса восстановления длинномерного профиля.

Автор защищает:

1. Результаты экспериментальных исследований изменения механических свойств длинномерного профиля в процессе деформационного восстановления.

2. Разработанные физическую и математическую модели деформирования длинномерного профиля.

3. Способ восстановления длинномерного профиля методом пластического деформирования.

4. Методику расчета энергосиловых, кинематических и технологических параметров процесса восстановления длинномерного профиля.

Достоверность научных результатов работы подтверждается выполнением граничных условий, удовлетворительным согласованием расчетных и экспериментальных данных по силе деформирования, достижением заданных ГОСТ 2584-86 механических и электрических свойств восстановленного длинномерного профиля (медного контактного провода), использованием современных методов и аппаратуры для экспериментальных исследований.

Практическая ценность. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны методики и даны рекомендации для определения температурных, скоростных и силовых параметров процесса восстановления медного контактного провода МФ85, МФ100.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены на Международном научно - практическом семинаре «Инженерный бизнес и защита окружающей среды» (г. Варна, Болгария, 1996 г.), на Международном научно - практическом семинаре «Новые технологии и средства оснащения производства» (г. Сочи, 1996 г.), а также на научных семинарах кафедры МТ-10 МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ и получен 1 патент на изобретение № 2109591.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности работы, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен обзор методов получения длинномерных профилей. Отмечено, что основными способами получения длинномерных профилей являются операции обработки металлов давлением: прокатка, прессование, волочение. Приведены примеры поперечных сечений длинномерных изделий получаемые этими способами. Проанализированы существующие способы увеличения поперечного сечения длинномерных профилей, отмечено, что эти способы имеют узконаправленный диапазон применения и не решают проблемы в целом. На основании анализа литературных источников и ряда проведенных экспериментов с длинномерным профилем (контактным проводом) было выявлено совместное влияние пластической деформации и термической обработки на свойства получаемого изделия. В результате был предложен новый способ восстановления изношенного сечения длинномерного профиля, состоящий в непрерывной высадке в закрытую матрицу. На этот способ был получен патент РФ на изобретение № 2109591. Сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлен теоретический анализ процесса. В качестве метода исследования использовался энергетический метод, а именно метод верхней оценки. Приведена методика определения кинематического состояния и силового режима. На рис. 1 изображена расчетная схема процесса деформирования.

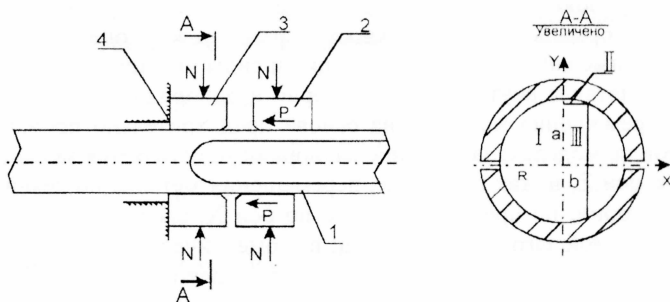


Рис. 1. Расчетная схема процесса деформирования

1 – провод, 2 – первый матричный узел, 3 – второй матричный узел, 4 – упор

Для математического моделирования технологического процесса была предложена геометрическая модель очага пластической деформации рис. 2.

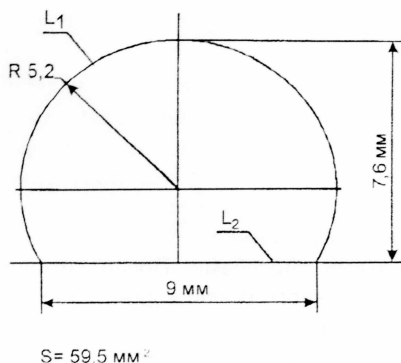


Рис. 2. Поперечное сечение очага пластической деформации

Очаг деформации моделировался цилиндром рассеченный плоскостью, параллельной плоскости оси цилиндра. Так как, весь объем деформируемого металла находится в очаге пластической деформации ($D < h$), то высоту очага пластической деформации принимали равной ходу деформирования. Основные допущения, принятые при решении данной задачи: деформируемый металл однороден, изотропен, жесткопластичен ($\sigma_s = \text{const}$); деформации пропорциональны вызывающим их напряжениям; силы контактного трения τ_k не зависят от нормальных напряжений σ_s и определяются по зависимости Зибеля ($\tau_k = \mu \cdot \sigma_s$); в металле допускаются разрывы перемещений в неограниченно тонких слоях – поверхностях разрыва, если сохраняется при этом непрерывность нормальных к поверхностям разрыва компонент перемещений; температурные напряжения, деформации и силы инерции пренебрежимо малы; течение металла внутри зон равномерно и однородно; кинематически возможные перемещения задаются на основе предварительно проведенных экспериментов на моделях; заполнение калибра осуществляется за счет осадки образца по оси Z , и, как следствие, перемещения металла по сечению по сложной траектории, но преимущественно по оси X , сложность траектории определяется формой заготовки и матриц; в геометрической модели стремилась к равенству площадей и периметров изношенных проводов и стандартных. Установили взаимосвязь между ходом пуансона и размерами высаженной части детали, исходя из условия постоянства объема.

$$\Delta h = \frac{(2 \cdot \sin \alpha_1 + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - 2 \cdot \sin \alpha_0 - \sin \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0)}{(3\pi/4 + 2 \cdot \sin \alpha_1 + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1)} \cdot h_0, \quad (1)$$

где: h_0 – высота заготовки до деформирования, h_1 – высота заготовки после деформирования, S_0 – $\frac{1}{2}$ площади заготовки до деформирования, S_1 – $\frac{1}{2}$ площади заготовки после деформирования, Δh – ход пуансона, R – радиус матрицы, α - угол между осью Y и радиусом R , проведенным из начала координат до пересечения границ зон 2 и 3 с матрицей. Угол α может изменяться от 20° (α_0) в исходном состоянии до 90° в конечном. Подставляя ряд значений α_1 в формулу (1), получали соответствующий ряд значений Δh . Зависимость $\Delta h = f(\alpha)$ изображена на графике (рис. 3).

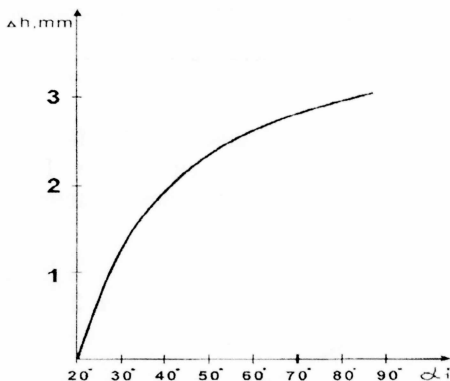


Рис. 3. График зависимости хода пуансона от угла α

Задавая значения Δh получим соответствующие значения угла α , а, следовательно, и геометрические размеры заготовки.

В каждой из зон были определены кинематически возможные скорости деформации с учетом граничных условий и интенсивности кинематически возможных скоростей деформации. Кинематически возможное поле скоростей в 1-й зоне определим из выражения (2):

$$\begin{aligned} V_x &= \pi \cdot V_0 \cdot R / 4 \cdot h, \\ V_y &= -\pi \cdot V_0 \cdot R / 4 \cdot h, \\ V_z &= -V_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Кинематически возможное поле скоростей во второй зоне определим из выражения (3):

$$\begin{aligned} V_{z_2} &= -V_0, \\ V_{x_2} &= -\frac{\pi \cdot V_0 \cdot X}{4 \cdot h \cdot \sin \alpha} + \frac{\pi \cdot V_0 \cdot R}{4 \cdot h}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$V_{12} = \frac{\pi \cdot V_0}{4 \cdot \sin \alpha} \cdot \frac{y}{h}.$$

Кинематически возможное поле скоростей в 3-ей зоне определим из выражения (4):

$$\begin{aligned} V_{z_3} &= -V_0, \\ V_{x_3} &= -\frac{\pi \cdot V_0 \cdot R}{2 \cdot h}, \\ V_{y_3} &= \frac{\pi \cdot V_0 \cdot y^2}{4 \cdot h \cdot R \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для определения силового режима в каждой зоне были определены мощности внутренних сил, сил среза и сил трения. Полную мощность деформирования N , определяли суммированием мощностей внутренних сил, сил среза и сил трения.

$$N = N_{вн}^1 + N_{вн}^2 + N_{вн}^3 + N_{ср}^{2-3} + N_{тр1} + N_{тр2} \quad (5)$$

где:

$$- N_{вн}^1 = \sigma_s \cdot \frac{\pi^2 \cdot R^2 \cdot V_0}{4 \cdot \sqrt{2}} \text{ - мощность внутренних сил в 1-й зоне;}$$

$$- N_{вн}^2 = \sigma_s \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V_0 \cdot (1 - \cos \alpha)}{3} \text{ - мощность внутренних сил во 2-й зо-}$$

не;

$$- N_{вн}^3 = \sigma_s \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot V_0 \cdot R^2 \cdot \cos \alpha \text{ - мощность внутренних сил в 3-й зоне;}$$

$$- N_{ср}^{2-3} = \frac{\sigma_s \cdot \pi \cdot V_0 \cdot R^2 \cdot \cos \alpha}{8 \cdot \sqrt{3}} \cdot (-\operatorname{ctg} \alpha + 6)) \text{ - мощность сил среза;}$$

$$- N_{тр1} = -\mu_s \cdot \sigma_s \cdot V_0 \cdot \int_0^{h-\delta h} \frac{\pi \cdot R}{2} dz = -\mu_s \cdot \sigma_s \cdot V_0 \cdot (h_0 - \delta h) \cdot \frac{\pi \cdot R}{2} \text{ - мощность сил тре-}$$

ния в 1-й зоне;

$$- N_{тр2} = -\mu_s \cdot \sigma_s \cdot V_0 \cdot \int_0^{h_0-\delta h} \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} dz = -\mu_s \cdot \sigma_s \cdot V_0 \cdot (h_0 - \delta h) \cdot \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ} \text{ - мош-}$$

ность сил трения во 2-й зоне;

- V_0 – скорость перемещения пуансона; μ_s – коэффициент трения пластически деформируемого металла о матрицу; δh – ход пуансона.

Окончательно, полная мощность деформирования определим из выражения (6):

$$N = \sigma_s \cdot V_0 \cdot \left[\frac{\pi^2 \cdot R^2}{4 \cdot \sqrt{2}} + \frac{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot (1 - \cos \alpha)}{3} + \sqrt{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \cos \alpha + \frac{\pi \cdot R^2 \cdot \cos \alpha \cdot (-\operatorname{ctg} \alpha + 6)}{8 \cdot \sqrt{3}} + \mu_s \cdot (h_0 - \delta h) \cdot \frac{\pi \cdot R}{2} + \mu_s \cdot \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha \cdot (h_0 - \delta h)}{180^\circ} \right] \quad (6)$$

Полную силу деформирования определим по формуле:

$$P = \frac{N}{V_0}$$

Зависимость силы деформирования P от хода пуансона δh изображена на рис. 4.

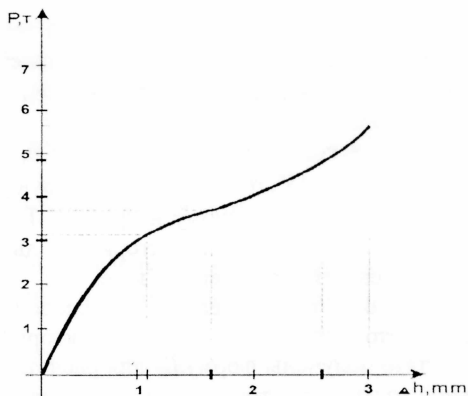


Рис. 4. График зависимости силы деформирования от хода пуансона

Установлено, что для восстановления профиля провода марки МФ85 с 30 % износом до стандартных размеров требуется уменьшение длины провода на 3,3 мм за один ход инструмента. При этом расчетная сила деформирования составит 5,6 т.

Для оценки адекватности теоретического анализа напряженно-деформированного состояния металла в очаге пластической деформации реальным условиям теоретически рассчитаны траектории движения частиц металла в очаге пластической деформации.

Очаг пластической деформации трехмерный. Для расчета использовалась двумерная проекция очага пластической деформации на плоскость XZ , полученная его сечением плоскостью $y = 0$ (рис. 5).

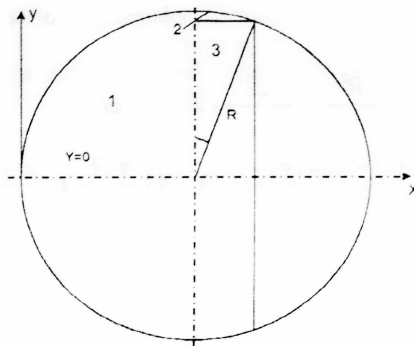


Рис. 5. Проекция очага пластической деформации на плоскость XZ ($y=0$)

Выбирали ряд точек с номерами 0....4 и строили траекторию их движения. Точки с номерами 0, 1, 2 находятся в третьей зоне. Воспользовались уравнениями движения точек в этой зоне. В эти уравнения в качестве переменной входит угол α . Значение этого угла в третьей зоне при сечении ее плоскостью $y = 0$ изменяется от 20° до 90° .

Вычисляли текущие координаты X_i , Z_i точек 0, 1, 2 для следующих значений угла α : $\alpha = 30^\circ$, $\alpha = 45^\circ$, $\alpha = 90^\circ$. Соответствующие углу α значения δ выбирали по графику, изображенному на рис. 3. Точки с номерами 3, 4 находятся в первой зоне. Для расчета траектории их движения воспользовались уравнениями движения точки в первой зоне.

Было проведено теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния металла вдоль траекторий движения выбранных точек, в результате получены формулы для расчета накопленной деформации материальной точки вдоль траектории движения.

Ниже приведены формулы для расчета накопленной деформации вдоль траекторий движения точки в первой и в третьей зонах соответственно:

$$\varepsilon_u = -\frac{\pi}{\sqrt{2} \cdot \sin \alpha} \cdot \ln \frac{Z}{Z_0} \quad \text{и} \quad \varepsilon_u = -\frac{\pi}{\sqrt{2} \cdot \sin \alpha} \cdot \ln \frac{Z}{Z_0}, \quad (7)$$

где Z_0 и Z - начальная и конечная координата точки.

По этим формулам вычисляли накопленную степень деформации вдоль траекторий движения точек 0....6.

Для исследования распределения напряжения текучести вдоль траекторий движения выбранных точек σ_u применяли степенную аппроксимацию истинной кривой упрочнения:

$$\sigma_u = A \cdot \varepsilon_u^n, \quad (8)$$

где: $A = \sigma_s \cdot (1 + \delta) / n^k$; $n = \ln(1 + \delta)$; δ – относительное удлинение при растяжении.

Для расчетов, в качестве примера, применяли следующие механические свойства изношенного контактного провода:

$$\sigma_s = 330 \text{ МПа}, \quad \delta = 7 \, \%.$$

В окончательном виде получаем расчетную формулу:

$$\sigma_u = 423,3 \cdot \varepsilon_u^{0,067} \quad (9)$$

Подставляя в эту формулу величины значений накопленной деформации, рассчитанной выше для различных частиц металла напряженное состояние вдоль траекторий движения выбранных точек.

Полученные зависимости 1-9 использовались при разработке методики расчета силы деформирования в зависимости от изменения технологических факторов; даны основные рекомендации для построения технологического процесса.

Таким образом, во второй главе были получены следующие аналитические зависимости:

- зависимость формоизменения заготовки в зависимости от хода пуансона;

- формулы для определения кинематически возможных скоростей деформаций и интенсивности кинематически возможных скоростей деформаций в каждой из зон;

- формулы для определения мощности сил среза, сил трения, внутренних сил;

- формулы для определения полной мощности деформирования;

- формулы для определения силы деформирования от хода пуансона;

- формулы для определения траектории движения частиц металла в очаге пластической деформации;

- уравнения для расчета накопленной деформации материальной частицы вдоль траектории движения;

- уравнения для расчета напряженного состояния вдоль траектории движения материальной частицы.

Полученные зависимости позволили установить размеры поперечного сечения профиля в процессе пластической деформации; определить напряженно – деформированное состояние вдоль траекторий движения частиц металла в очаге пластической деформации и на этой основе сформулировать техническое задание на проектирование оборудования.

В третьей главе проведено экспериментальное исследование напряженно – деформированного состояния и кинематики течения металла в очаге пластической деформации. Для обоснования расчетной схемы очага пласти-

ческой деформации при теоретическом исследовании было проведено экспериментальное исследование формы и границ очага пластической деформации заготовки. В качестве метода исследования был применен метод координатной сетки.

Эксперименты осуществлялись на медных разрезных образцах, в качестве оборудования использовался гидравлический пресс П-6324 силой 1600 кН с силоизмерительным устройством типа БМГ н1-160. На фотографиях деформированной координатной сетки (рис. 6) в местах ее перегиба строили границы очага пластической деформации.

Видно, что в очаге пластической деформации после полного заполнения профиля можно выделить две пластические зоны, внутри которых течение металла можно принять однородным. На недеформированной сетке, были выделены три характерные зоны, т. к. зона 3 является переходной зоной, и по мере заполнения матрицы перетекает в зону 2. Размеры 3-ей зоны уменьшаются до нулевых при полном заполнении матрицы, а размеры 2-й зоны увеличиваются.

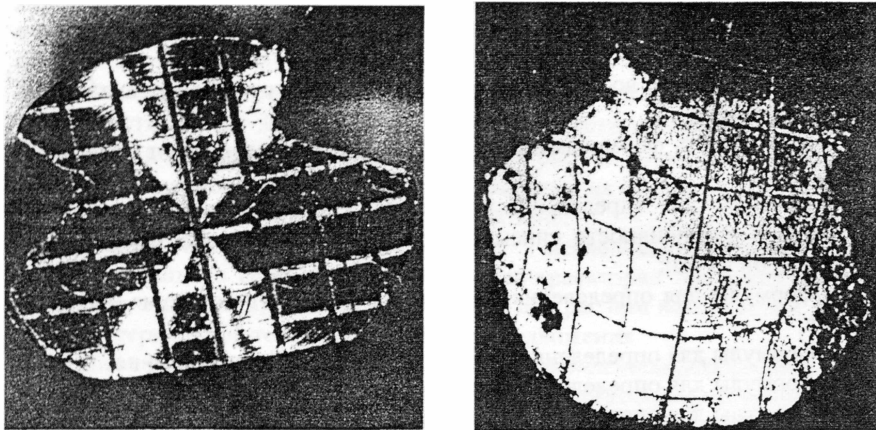


Рис. 6. Фотография деформированной координатной сетки (справа) и недеформированной координатной сетки (слева)

Таким образом, зона 3 на фотографии деформированной координатной сетки не видна. На деформированной сетке замеряли размеры очага пластической деформации. Результаты анализа течения, формы и размеров очага пластической деформации позволяют сделать вывод о правильном построении расчетной схемы теоретического исследования процесса.

Для оценки адекватности построенной модели очага пластической деформации реальным условиям протекания процесса деформирования проводились эксперименты с медными разрезными образцами, которые разрезали на две равные части относительно оси симметрии. На одну из меридиональных

плоскостей наносили квадратную сетку, образцы соединяли и деформировали. Эти опыты позволили определить изменение координат узлов меридиональной сетки, получить фотографии изменения размеров очага пластической деформации в продольном сечении.

Траектории движения точек 0, 1, 2, 3, 4 полученные экспериментально и рассчитанные теоретически имеют хорошую сходимость, максимальное расхождение составляет не более 8%. На основе проведенных экспериментальных исследований подтверждены границы очага пластической деформации, поэтому можно сделать вывод об адекватности реальным условиям теоретического анализа напряженно – деформированного состояния металла в очаге пластической деформации.

В четвертой главе описаны ход проведенного эксперимента по увеличению изношенного поперечного сечения медного контактного провода и экспериментальная установка, на которой был восстановлен изношенный контактный провод МФ85. На рис. 7 и рис. 8 показаны изношенные и восстановленные провода. При деформировании провода максимальная сила деформации составила – 5,2 т. Теоретически рассчитанная сила деформирования по формуле (6) составляет 5,6 т. при операции высадки; погрешность расчета составляет 5%.



Рис. 7. Фото изношенного провода

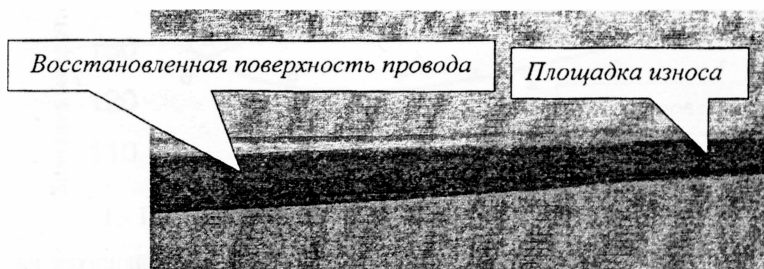


Рис. 8. Фото восстановленного провода с фрагментом площадки износа

Для проверки механических свойств восстановленного провода были проведены сравнительные эксперименты по определению микротвердости у стандартного и восстановленного проводов (рис. 9).

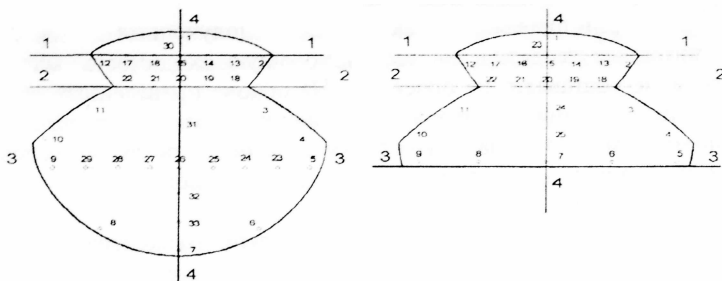


Рис. 9. Схема расположения точек на поперечном сечении провода для измерения микротвердости на стандартном и восстановленном профиле (слева) и изношенном профиле (справа)

Результаты изменения микротвердости в разных точках поперечного сечения провода показаны графически для стандартного, изношенного и восстановленного проводов на рис. 10-12. Измерения проводились в точках сечений 1-1, 2-2, 3-3, 4-4 и по периметру поперечного сечения.

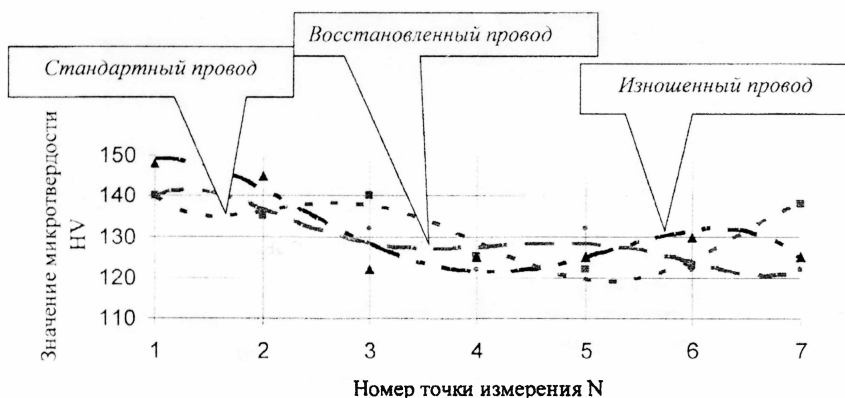


Рис. 10. Значения микротвердости в точках сечения 1 - 1

В таблице 1 приведены значения соответствия точек находящихся на оси X (рис. 10) номерам точек согласно рис. 9.

Таблица 1

Соответствие точек измерения

N точки на графике	1	2	3	4	5	6	7
N точки на рис. 9	2	13	14	15	16	17	12

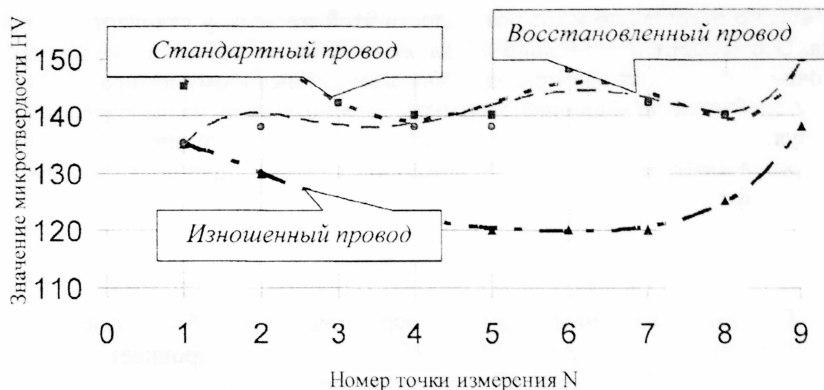


Рис. 11. Значения микротвердости в точках сечения 3-3

В таблице 2 приведены значения соответствия точек находящихся на оси X (рис. 11) номерам точек согласно рис. 9.

Таблица 2

Соответствие точек измерения

N точки на графике	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N точки на рис. 9	5	23	24	25	26	27	28	29	9

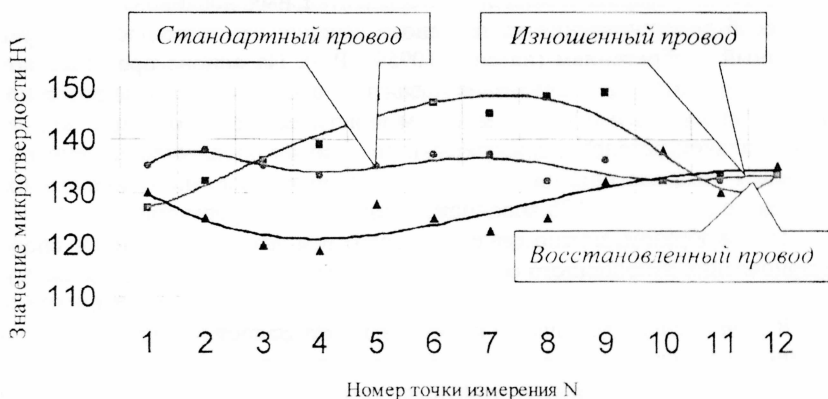


Рис. 12. Значения микротвердости в точках периметра

В сечениях 1-1 ,3-3, эти графики находятся примерно на одном уровне. Видно, что в сечении 1-12 у восстановленного провода точки измерения микротвердости лежат выше, чем у стандартного. Таким образом, в результате применения предложенной схемы напряженно-деформированного состояния в рабочей зоне восстановленного провода микротвердость повышается на 18%, по отношению к микротвердости этой же зоны у стандартного провода. Это говорит о правильно предложенной схеме деформации, так как в рабочей зоне контактный провод подвержен интенсивному истиранию и поэтому требуется повышенная твердость именно в этой части провода. Используя эмпирическую зависимость между деформацией и пределом прочности при растяжении для меди М0, определяли предел прочности при растяжении по формуле (10):

$$\sigma_{\epsilon} = 25 + 1.5 \cdot \epsilon^{0.58} \quad (10)$$

При расчетах принимаем 30 % деформацию, то $\sigma_{\epsilon}=35,78$ кгс/мм²

У стандартного провода (ГОСТ 2584 – 86) предел прочности при растяжении равен 36,75 кгс/мм². Погрешность расчетов не превышает 2%, поэтому, восстановленный провод по своим механическим свойствам соответствует требованиям ГОСТа.

При исследовании изношенного медного контактного провода было выяснено, что максимальный износ контактного провода составляет 30 % от его номинального сечения; распределение износа поперечного сечения контактного провода по длине провода равномерное, максимальное расхождение составляет 8 %, а минимальное значение предела прочности при растяжении у изношенного провода равно 30 кгс/мм². Установлено, что у изношенного длинномерного профиля: предел прочности снижается на 20 %, а пластические свойства возрастают на 15-20 % по отношению к исходному профилю. По результатам теоретических и экспериментальных исследований предложен способ восстановления изношенного сечения длинномерного профиля признанный изобретением (патент 2109591 РФ). На основе предложенного способа разработана и реализована новая технологическая схема восстановления длинномерного профиля методом пластической деформации. На экспериментальной установке практически реализован предложенный способ и тем самым доказана принципиальная возможность восстановления медного контактного провода МФ85 холодной пластической деформацией.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что предложенный способ восстановления изношенного сечения длинномерного профиля позволяет получить исходные геометрические размеры и механические свойства.

В пятой главе дан анализ конкурентноспособности предлагаемой технологии и продукции, описаны перспективы развития технологии увеличения поперечного сечения длинномерных профилей на примере контактного провода; разработан алгоритм и методика определения силовых и кинематических параметров технологического процесса увеличения поперечного се-

чения изношенного длинномерного профиля; изучено влияние технологических факторов на силу деформации. Установлено, что сила деформации уменьшается на 10,7 % при увеличении коэффициента трения по матрице с 0,005 до 0,5 и, следовательно, необходимо стремиться к созданию условий максимального трения в полуматрицах. Выяснено, что увеличение высоты очага пластической деформации приводит к росту силы деформирования с одной стороны, с другой - увеличивает производительность машины. Рекомендуемое значение этой величины равно 12 мм. Разработанный алгоритм проектирования технологического процесса увеличения поперечного сечения длинномерного профиля и методика расчета основных технологических факторов применяется на ОАО «Арнест» (г. Невинномысск) при проектировании и изготовлении установки по восстановлению контактного провода.

Общие выводы.

1. Установлены функциональные взаимосвязи между условиями износа длинномерного профиля и их влиянием на технологические и эксплуатационные характеристики, что позволило определить изменение механических свойств изношенного длинномерного профиля: предел прочности снижается на 20 %, а пластические свойства возрастают на 15-20 % по отношению к исходному профилю.
2. По результатам теоретических и экспериментальных исследований предложен способ восстановления изношенного сечения длинномерного профиля признанный изобретением (патент 2109591 РФ). На основе предложенного способа разработана и реализована новая технологическая схема для восстановления длинномерного профиля методом пластической деформации на примере контактных проводов марок МФ85, МФ100.
3. Установлены закономерности течения металла в очаге пластической деформации, заключающиеся в определении границ очага деформации и напряженно-деформированного состояния. Установлено, что высота очага пластической деформации равна ходу деформирования. Рекомендуемое значение этой величины – 12 мм.
4. Разработаны физическая и математическая модели процесса восстановления длинномерного профиля, на основе которых выполнен анализ напряженно - деформированного состояния очага деформации. Установлено, что для восстановления профиля провода марки МФ85 с 30 % износом до стандартных размеров требуется уменьшение длины провода на 3,3 мм за один ход инструмента. При этом расчетная сила деформирования составит 5,6 т.
5. Разработан алгоритм и методика определения силовых и кинематических параметров технологического процесса увеличения поперечного сечения изношенного длинномерного профиля.
6. Результаты работы в виде технологической схемы и методики проектирования технологических параметров процесса используются на ОАО «Арнест» (г. Невинномысск, завод по производству алюминиевых баллонов) при разработке установки по восстановлению контактного провода.

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Колесников А. Г., Румянцев А. Н., Орехов Д.А. Реновация контактных проводов // Инженерный бизнес и защита окружающей среды: Сб. тезисов докладов Международного научно - практического семинара. - Барна, 1996.-С.38.
2. Колесников А.Г., Румянцев А.Н., Орехов Д.А. Реновация контактных проводов // Тяжелое машиностроение. - 1996. - № 10. - С.38 .
3. Колесников А. Г., Орехов Д. А., Румянцев А. Н. Исследование механических характеристик контактного провода // Машиностроитель. - 1997. - № 4. - С.41.
4. Колесников А. Г., Румянцев А. Н., Орехов Д. А. Реновация контактных проводов // Тяжелое машиностроение. - 1997. - № 6. - С.24-25.
5. Колесников А. Г., Румянцев А. Н., Орехов Д. А. Оценка силовых параметров процесса восстановления сечения изношенного контактного провода пластическим деформированием // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Машиностроение – 1997. – № 4. – С.28–33.
6. Патент 2109591 (РФ). «Способ восстановления изношенного сечения контактного провода из меди»/ А.Г. Колесников, Д.А. Орехов, А.Н. Румянцев // Б.И.-1998.-№12
7. Колесников А. Г., Колобов А. А., Румянцев А. Н. Экономическое обоснование способа реновации изношенного контактного провода // Машиностроитель. – 1998.-№ 11-12. – С.52–53.

Подписано к печати 23.01.06г. Заказ №6 Объем 1.0 п. л. Тираж 150
Типография МГТУ им. Н. Э. Баумана