



На правах рукописи

Седых Василий Борисович

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОНКОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ЛЕНТЫ
ЗА СЧЕТ АСИММЕТРИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Специальность 05.16.05 -
"Обработка металлов давлением"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск

1996

Работа выполнена на кафедре "Обработка металлов давлением (прокатка)" и в проблемной лаборатории "Новые технологические процессы прокатки" Челябинского государственного технического университета.

Научный руководитель: Доктор технических наук, профессор
Агеев Л.М.

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Гун Р.С.;
Кандидат технических наук
Агитов Л.А.

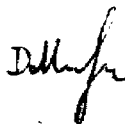
ведущее предприятие: АО "НМТВА" (Нытвенский металлургический завод).

Защита состоится 5 июня 1996 года в 14.00 часов на заседании специализированного совета Д 053.13.04 при Челябинском государственном техническом университете (454080, г.Челябинск, пр.им.Ленина, 76).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского государственного технического университета.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1996 г.

Ученый секретарь:
специализированного совета
Д.Ф.-м.н., профессор



Мирзаян Л.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В современных условиях, когда цветные металлы стали не только дефицитными, но и очень дорогими, а конкурентная борьба заставляет производителей стремиться к снижению цен на свою продукцию, применение композиционных материалов вместо монOMETаллов является актуальным как никогда. Подобные материалы используются давно, но объем их выпуска и ассортимент пока недостаточны. Практически любые пластически деформируемые металлы и сплавы можно соединить совместно холодной прокаткой. Поэтому, кроме дюралюмина, композиционные материалы могут обладать таким комплексом физико-химических, механических, электрических и других характеристик, который невозможен для монOMETалла.

Процесс деформации композиционных материалов в силу различия механических и геометрических характеристик компонентов несимметричен по своей природе. Следовательно, целенаправленно используя внешнюю асимметрию, можно управлять параметрами процесса деформации, получая композиционные материалы с заданными характеристиками. Однако, простые и надежные методики оценки параметров асимметрии процесса деформации многослойных материалов в настоящее время отсутствуют.

Цель работы:

1. Создание математической модели процесса асимметричной холодной прокатки многослойной ленты с учетом совместного действия продольных и межслойных касательных напряжений.
2. Исследование влияния параметров асимметричного процесса прокатки на качество многослойной ленты на основе математической модели и экспериментальным путем.
3. Разработка новых эффективных способов получения многослойных лент и их прокатки, обеспечивающих высокое качество многослойных лент.

Практической целью работы является разработка новой технологии и оборудования для производства многослойных лент, применяемых для изготовления миниатюрных источников питания.

Научная новизна. На базе инженерного метода решения задач теории пластичности впервые разработаны математические модели процесса осадки биметаллической заготовки и процесса асимметричной прокатки биметаллической полосы, учитывающие совместное

действие межслойных касательных напряжений и послойных продольных напряжений.

Математическая модель прокатки биметаллической полосы апробирована на стане ПВ - 200.

Разработана программа расчета параметров процесса прокатки многослойной полосы на ЭВМ.

Получены зависимости неравномерности послойной деформации компонентов биметаллической полосы от таких видов внешней асимметрии процесса прокатки, как:

- геометрическая асимметрия;
- кинематическая асимметрия;
- физическая асимметрия;
- силовая асимметрия;
- смешанная асимметрия.

На уровне изобретений разработан ряд новых способов получения многослойных материалов.

Практическая ценность. Разработано, изготовлено и сдано в эксплуатацию оборудование для производства многослойных лент в условиях КЗ ТТК. Разработана технология прокатки ленты медь-сталь 06кп-никель. Экономический эффект от ее внедрения составил 22,7 тыс.руб в ценах 1988 года. Разработана технология получения триметаллической ленты медь-нержавеющая сталь-никель и биметаллической ленты медь-нержавеющая сталь. Разработанные технологии защищены 2 авторскими свидетельствами СССР. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработок на КЗ ТТК составляет 90 тыс. руб. в ценах 1989 года.

Апробация работы. Основное содержание диссертации излагалось на

1. Научно-технической конференции "Молодые ученые и специалисты черной металлургии Урала - научно-техническому прогрессу" - Златоуст, 1986.

2. Всесоюзном научно-техническом совещании "Повышение качества плоского проката из тяжелых цветных металлов". - Москва, ВЛХ, 1988.

3. Научно-техническом семинаре "Новые технологии производства слоистых металлов, перспективы расширения их ассортимента и применения". - Магнитогорск, МГМИ, 1989.

4. Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции". - Челябинск, ЧПИ, 1989.

5. Научно-технических конференциях Челябинского политехнического института. - Челябинск, ЧПИ, 1987...1990.

Публикация. Основное содержание диссертации опубликовано в 14 печатных работах, восемь из них - авторские свидетельства на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений; содержит 204 страниц, включает 80 рисунков, 6 таблиц. Список литературы содержит 82 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Традиционная технологическая схема производства многослойных лент (МЛ) способом холодной прокатки включает подготовку контактных поверхностей исходных материалов, их совместную холодную прокатку, диффузионный отжиг (при необходимости), прокатку на заданный размер и отделку проката.

При деформации МЛ из различных материалов путем холодной прокатки возможны 2 варианта:

- процесс плакирования, при котором исходные компоненты не сцеплены между собой;

- процесс прокатки многослойной ленты, предусматривающий наличие сцепления компонентов на входе в очаг деформации.

Очевидно, что в процессе плакирования компоненты деформируются в общем случае неравномерно. Процесс же прокатки МЛ, вследствие наличия сцепления слоев, осуществляется при равномерной послойной деформации компонентов. Следовательно, на границе раздела компонентов возникает межслойные касательные напряжения τ_{mc} , а на границах очага деформации происходит перераспределение продольных напряжений σ_{xi} . Знание величин τ_{mc} и σ_{xi} представляет значительный практический интерес. Известно, что максимальная величина межслойных касательных напряжений не может превышать τ_s "мягкого" компонента (компонента с меньшим сопротивлением деформации). В противном случае при достижении τ_{mc} величины τ_{sm} произойдет расслоение компонентов МЛ, что недопустимо.

Аналогично, вследствие перераспределения продольных напряжений на границах очага деформации, величина σ_{xi} может достигнуть величины σ_{si} , что приведет к нарушению целостности ленты или к

разрыву 1-го компонента.

Известен ряд работ, посвященных оценке величины τ_{mc} и ϵ_{xi} в процессе деформации. Однако в большинстве из них рассматривается раздельно величина τ_{mc} и ϵ_{xi} , или наперед задается величина одного из этих параметров, т.е. полученные формулы неприменимы для случая совместного действия межслойных касательных напряжений τ_{mc} и продольных напряжений ϵ_{xi} .

Основная задача при деформации МЛ заключается в выравнивании условий деформации различных по своим свойствам компонентов путем создания целенаправленной внешней асимметрии процесса деформации. При этом возможны такие виды асимметрии:

- геометрическая асимметрия;
- кинематическая асимметрия;
- физическая асимметрия;
- силовая асимметрия;
- смешанная асимметрия.

Однако возможности процесса производства многослойных лент способом холодной прокатки, находящего широкое применение в промышленности, исследованы еще недостаточно. Отсутствуют достоверные методики расчета параметров процесса, не в полной мере исследовано влияние различных факторов на НДС компонентов МЛ.

Заметим, что в процессе деформации многослойного материала возможны случаи, когда деформация компонента с большим сопротивлением деформации превышает деформацию компонента с меньшим сопротивлением деформации. Это может иметь место, например, при значительной разнице толщин совместно деформируемых материалов. В связи с этим деформируемость компонентов многослойного материала целесообразно характеризовать усилием, необходимым для деформации компонента. В дальнейшем компонент, для деформации которого необходимо меньшее усилие, будем называть "мягким", а компонент, для деформации которого необходимо большее усилие, будем называть "твердым".

В целом, при производстве МЛ способом холодной прокатки необходимо решить три основные задачи:

1. Обеспечить необходимое качество сцепления слоев МЛ в процессе плакирования.
2. Сохранить прочность сцепления слоев в процессе последующей прокатки МЛ до конечного размера.

3. Обеспечить заданное соотношение толщин компонентов в готовой многослойной ленте.

Таким образом, задачи исследования можно сформулировать следующим образом.

1. Создание математической модели процесса холодной прокатки многослойной ленты с учетом совместного действия продольных и межслойных касательных напряжений.

2. Исследование влияния параметров процесса прокатки на качество многослойной ленты на основе математической модели и экспериментальным путем.

3. Разработка новых эффективных способов получения многослойных лент и их прокатки, обеспечивающих высокое качество многослойных лент.

Практической целью работы является разработка новой технологии и оборудования для производства многослойных лент, применяемых для изготовления миниатюрных источников питания.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ХОЛОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТОНКОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ЛЕНТЫ *

При разработке методики расчета энергосиловых параметров приняты следующие основные положения:

- Деформация плоская.
- Область пластической деформации ограничена "жесткими" концами, находящимися в упругом состоянии. Жесткие концы в процессе деформации сохраняют прямолинейное движение.
- В основу разработки положен инженерный метод, предполагающий совместное решение упрощенных дифференциальных уравнений равновесия и условия пластичности.
- В пределах одного компонента нормальные напряжения полагаются независимыми от вертикальной координаты.
- Отсутствие расслоения и прямолинейное движение концов полосы вне очага деформации автоматически предполагают равенство послеслойных вытяжек компонентов.
- Совместная равномерная деформация различных по свойствам компонентов достигается за счет возникающих на границе раздела компонентов межслойных касательных напряжений и соответствующего

* Выполнено при научных консультациях Н.В.Судакова.

перераспределения продольных напряжений на границах с "жесткими" концами.

С целью наглядности анализа и апробации разрабатываемого метода предварительно рассмотрим процесс осадки многослойной заготовки с различными геометрическими и механическими характеристиками компонентов. Минус промежуточные выкладки, приведем сводку основных полученных результатов:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_M &= \epsilon - 1,15 \epsilon_{SM} \left[\frac{K_S - 1}{K_H + 1} \right] K_H, \\ \epsilon_T &= \epsilon + 1,15 \epsilon_{SM} \left[\frac{K_S - 1}{K_H + 1} \right], \\ \tau_{MC} &= \frac{\tau_M (K_T - K_H)}{1 + K_H}, \\ P_C &= -1,15 \epsilon_S - 0,5 \frac{f}{h_M} \left[\frac{K_T + 1}{K_H + 1} \right] + \epsilon. \end{aligned} \right\} (1)$$

Анализ приведенных зависимостей показывает, что величина $\frac{f}{h_M}$ поддается управлению путем изменения параметров K_T , K_H , K_S и $\frac{f}{h_M}$. Подробнее вопросы выбора оптимального сочетания параметров процесса деформации биметалла будут рассмотрены ниже.

При разработке математической модели процесса прокатки рассматривался процесс прокатки МЛ с различным отношением окружных скоростей валков к скорости концов полосы. Подобный процесс прокатки получил название процесс общего вида (ПОВ).

Точку смены знака МКН по аналогии с условиями трения на поверхностях контакта металла с валками будем называть критической, обозначив ее координату X .

При заданных значениях ε_0 , τ_M , τ_T , X_M , X_T , h_{OM} , h_{OT} , вытяжки полосы λ , а также механических характеристик компонентов ленты и параметров валков, определению подлежат: ε_{OM} , ε_{OT} , ε_1 , ε_{1M} , ε_{1T} , τ , X , P_c .

Для расчета разности средних продольных напряжений на границах очага деформации использовались формулы В.Н.Видрица и Н.В.Судакова, в которых усредненное значение сопротивления деформации биметалла рассчитывалось как

$$\varepsilon_s = \frac{(\varepsilon_{ST} + \varepsilon_{SM} K_H) K_H}{K_H + 1}, \quad (2)$$

а усредненное значение коэффициента A как

$$A = \frac{\varepsilon_{SOM} A_M h_{OM} + \varepsilon_{SOT} A_T h_{OT}}{\varepsilon_{SOM} h_{OM} + \varepsilon_{SOT} h_{OT}}. \quad (3)$$

В результате было получено следующее выражение для определения разности средних по сечению продольных напряжений на границах очага деформации при прокатке биметаллической полосы:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_0 = 1,15 \varepsilon_{S0} \left[(1 + A) \ln \lambda - A \left[\frac{\lambda - 1}{\lambda} \right] \right] - \frac{\varepsilon}{h_0 \ln \lambda} * \\ * \left[\tau_M \left(2 \lambda^{-1} - \bar{X}_M - 1 - \lambda \right) + \tau_T \left(2 \lambda^{-1} - \bar{X}_T - 1 - \lambda \right) \right]. \quad (4)$$

Использование инженерного метода, в основе которого лежат дифференциальные уравнения равновесия и условие пластичности,

позволяет выразить величину средних нормальных контактных напряжений как:

$$\epsilon_{zz} = 1,15 \epsilon_{s0} \left[1 + 2A - 2A \frac{\lambda - 1}{\lambda \ln \lambda} \right] - 0,5 (1 + A) \epsilon \lambda + \frac{\epsilon}{h_0 \epsilon \ln \lambda} \kappa_p - \epsilon_0, \quad (5)$$

где $\kappa_p = \tau_T \left[2 \bar{X}_T \lambda^{1 - \bar{X}_T} \epsilon \ln \lambda - \epsilon \ln \lambda + 2 \lambda^{1 - \bar{X}_T} - \bar{X}_T - \lambda - 1 \right] + \tau_M \left[2 \bar{X}_M \lambda^{1 - \bar{X}_M} \epsilon \ln \lambda - \epsilon \ln \lambda + 2 \lambda^{1 - \bar{X}_M} - \bar{X}_M - \lambda - 1 \right].$ (6)

По причине взаимозависимости $\epsilon(\epsilon_{zz})$ и $\epsilon_{zz}(\epsilon)$ расчет длины очага деформации выполняется методом итераций. При этом в качестве исходного приближения принимается

$$\epsilon = \sqrt{R h_0 \left\{ \frac{\lambda - 1}{\lambda} \right\}}. \quad (7)$$

При задании τ_M и τ_T может быть использовано либо условие Зибеля ($\tau_i = f_i \epsilon_{sci}$), либо условие Кулона ($\tau_i = \mu_i P_{ij}$).

Для определения ϵ_{Om} и ϵ_{Ot} необходимо располагать двумя уравнениями. В качестве одного из них может служить условие равновесия (равномерного движения) заднего конца полосы

$$\epsilon_{Om} h_{Om} + \epsilon_{Ot} h_{Ot} = \epsilon_0 h_0. \quad (8)$$

В качестве второго уравнения используем условие равенства нормальных контактных напряжений ϵ_{zzi} , действующих в плоскости входа в очаг деформации на "мягкий" и "твердый" компоненты. В результате получаем:

$$\epsilon_{Om} = \epsilon_0 - 1,15 \frac{K_h}{1 + K_h} \left[\epsilon_{s0T} - \epsilon_{s0M} \right]. \quad (9)$$

$$\varepsilon_{0T} = \varepsilon_0 + 1,15 \frac{1}{1 + K_h} (\varepsilon_{s0T} - \varepsilon_{s0M}). \quad (10)$$

$$\varepsilon_{1M} = \varepsilon_1 - 1,15 \frac{K_h}{1 + K_h} (\varepsilon_{s1T} - \varepsilon_{s1M}), \quad (11)$$

$$\varepsilon_{1T} = \varepsilon_1 + 1,15 \frac{1}{1 + K_h} (\varepsilon_{s1T} - \varepsilon_{s1M}). \quad (12)$$

Межслойные касательные напряжения так же, как и перераспределение продольных напряжений на границах очага деформации, способствуют выравниванию условий деформации разнородных по свойствам компонентов. Определению подлежат два параметра: X и τ .

Неизвестные X и τ находятся следующим образом. Деформация каждого компонента рассматривается отдельно. При этом для каждого компонента записывается основное энергетическое уравнение, а в качестве второго уравнения служит условие равновесия. В результате координата X находится численным методом из уравнения:

$$2 \frac{1 - \bar{X}}{X \lambda} \ln \lambda + \left[2 \lambda \frac{1 - \bar{X}}{1 - \lambda} - 1 - \lambda \right] \left(1 - \frac{B}{E} \right) - \ln \lambda = 0. \quad (13)$$

После определения координаты X величина межслойных касательных напряжений τ находится из уравнения:

$$\tau = \frac{B}{E}. \quad \text{Где} \quad (14)$$

$$B = \frac{1,15 (\varepsilon_{s0T} N_T - \varepsilon_{s0M} N_M) + \varepsilon_{0M} - \varepsilon_{0T} - \frac{K_M}{\ln \lambda} \tau_M \gamma_M + \frac{K_T}{\ln \lambda} \tau_T \gamma_T}{K_T + K_M} \ln \lambda, \quad (15)$$

$$\tau_i = 2 \frac{1 - \bar{X}_i}{X_i \lambda} \ln \lambda - \ln \lambda + 2 \lambda \frac{1 - \bar{X}_i}{1 - \lambda} - 1. \quad (16)$$

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие основные выводы:

Качество ленты, а именно плоскостность, кольцеватость, и т.д. во многом определяется величиной послойных продольных напряжений на границах очага деформации. Кроме того, достижение послойными продольными напряжениями критических значений чревато появлением трещин или разрывов компонентов и многослойной ленты в целом. Под критическим значением величины послойных продольных напряжений следует понимать сопротивление деформации материалов компонентов. Следовательно, назначая условия осуществления процесса прокатки МЛ необходимо контролировать величину послойных продольных напряжений, избегая достижения ими критических значений.

Причиной расслоения компонентов МЛ в процессе прокатки является достижение величиной МКН ее предельного значения. Под предельным значением величины МКН понимается сопротивление деформации при чистом сдвиге менее прочного компонента ($\tau_{5 \text{ min}}$). Подытожим основные факторы, позволяющие управлять величиной МКН.

а) По мере перемещения критических точек на поверхностях контакта металла с валками в сторону выхода из очага деформации величина МКН снижается.

б) При создании со стороны "твердого" компонента меньшего коэффициента трения величина МКН снижается.

в) При снижении величины заднего натяжения биметаллической ленты величина МКН снижается.

г) При увеличении длины очага деформации (например, за счет увеличения диаметров рабочих валков) величина МКН снижается.

Соотношение толщин компонентов в большинстве случаев задается требованиями к МЛ, поэтому не может быть использовано в качестве управляющего фактора. В то же время сопротивление деформации материалов компонентов перед лакированием можно изменять (например, за счет предварительного упрочнения путем холодной прокатки). Таким образом, соотношение прочностных характеристик компонентов биметалла также может быть использовано в качестве фактора, позволяющего управлять величиной МКН.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АСИММЕТРИЧНОЙ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТОНКОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ЛЕНТЫ

Экспериментальные исследования проводились на лабораторном прокатном стане ПВ - 200 конструкции ЧПИ.

Для проведения экспериментальных исследований процесса плакирования стан дополнительно был оборудован фрикционным разматывателем. На входе в валки был установлен направляющий калиброванный ролик для фиксации лент в поперечном направлении.

Исходные ленты перед плакированием обезжиривались ацетоном и зачищались вращающимися стальными щетками.

Для определения усилия прокатки под каждым нажимным вальцом были установлены мессдозы с кольцевым упругим элементом, на который наклеивались проволоочные тензодатчики. Для измерения крутящих моментов проволоочные тензодатчики наклеивались на валы шпинделей, на которые устанавливались кольцевые токо-съемники для получения необходимой информации в процессе прокатки. Натяжения на металках контролировались с помощью амперметра по величине тока двигателя.

Усиление электрических сигналов измеряемых параметров осуществлялось с помощью тензоусилителя "Топаз - 3", после чего сигнал выводился на стрелочные амперметры.

На базе исследования химического состава компонентов биметаллической ленты, используемой для производства МИП фирмой "Неговс", в качестве основы была выбрана нержавеющая сталь 12Х18Н10Т. В качестве плакирующего материала использовалась медь М0.

Экспериментальное исследование процесса плакирования проводилось на стане ПВ - 200 в варианте дуо. Диаметр рабочих валков составлял 180 мм. На валки были нанесены поперечные риски с расстоянием между ними по окружности 100 мм.

В ходе эксперимента были реализованы следующие величины рассогласования скоростей валков (K_v): 1; 1,18; 1,3. Рассогласование скоростей валков задавалось жестко при помощи сменных зубчатых шестерен. При прокатке с рассогласованием скоростей валков ведущим был верхний валок.

Для каждого варианта рассогласования скоростей валков усилие прокатки варьировалось от 190 кН до 450 кН, заднее натяжение стальной ленты от 0,77 кН до 3,87 кН, переднее натяжение биметал-

ческой ленты оставалось постоянным и равным 1,2 кН.

Качество сцепления компонентов биметаллической ленты оценивалось методом многократного перегиба ленты на 180° в соответствии с ГОСТ 13813 - 68. Для количественной оценки качества сцепления использовался коэффициент K , численно равный количеству перегибов биметаллической ленты на 180° до появления расслоения, трещин или излома.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Качество сцепления слоев повышается при увеличении степени деформации. В то же время рассогласование скоростей валков при постоянной степени деформации не оказывает существенного влияния на качество сцепления слоев.

2. Величина средних нормальных контактных напряжений не влияет на качество сцепления слоев.

3. С ростом степени деформации НДС увеличивается. С ростом рассогласования скоростей валков НДС снижается.

В ходе экспериментального исследования процесса прокатки биметаллических лент решались две основные задачи:

1. Качественная оценка адекватности математической модели процесса прокатки биметаллической ленты.

2. Исследование влияния параметров процесса прокатки на неравномерность послойной деформации компонентов биметаллической ленты.

Исследование проводилось на стане ПВ - 200 в варианте двух диаметров рабочих валков 180 мм и в пятивалковом варианте с диаметром рабочих валков 60 мм. В качестве исходного материала использовалась биметаллическая лента типа сталь 08кп - латунь Л63.

Программа проведения экспериментального исследования процесса прокатки биметаллической ленты представлена в таблице 1.

В процессе прокатки фиксировались величина усилия прокатки и крутящих моментов на валках. Для определения координат критических точек на бочку валков были нанесены риски с расстоянием между ними 100 мм. Переднее и заднее натяжения биметаллической ленты устанавливались в соответствии с расчетами. С целью оценки неравномерности послойной деформации компонентов после прокатки на выходе из валков лента обрезалась и фиксировался радиус остаточного изгиба ленты. Для этого распрямленная лента разрезалась на отрезки длиной 200 мм и

Программа проведения экспериментального исследования

Таблица 1

Вид асимметрии				
Кинематическая	Геометрическая	Физическая		
Управляющий параметр				
K_7	K_n	K_c	λ	
$R = 90$				
1	1	0,45	1,1;1,2;1,3	
		1	1,1;1,2;1,3	
		3,6	1,1;1,2;1,3	
1,18	1	0,45	1,2;1,3;1,4	
		1	1,2;1,3;1,4	
		3,6	1,2;1,3;1,4	
	0,7	1	0,45	1,2;1,3;1,4
			1	1,2;1,3;1,4
			3,6	1,2;1,3;1,4
	2,7	1	0,45	1,2;1,3;1,4
			1	1,2;1,3;1,4
			3,6	1,2;1,3;1,4
1,3	1	0,45	1,3;1,4	
		3,6	1,3;1,4	
$R = 30$				
1	1	0,45	1,1;1,2;1,3	
		3,6	1,1;1,2;1,3	

замерялось расстояние между концами отрезка в подвешенном (изогнутом) состоянии. Радиус изгиба рассчитывался численным методом по формуле

$$2 r \sin \frac{L}{2 r} - l = 0, \quad (17)$$

где r - радиус изгиба;

L - длина отрезка в распрямленном состоянии;

l - длина отрезка в изогнутом состоянии.

Обработка результатов экспериментального исследования осуществлялась с использованием метода наименьших квадратов. Ввиду того, что целью экспериментального исследования является качественная оценка адекватности математической модели, взаимосвязь параметров описывалась по линейному закону. При этом коэффициент корреляции был не менее 0,9.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Полученные экспериментальные данные достаточно близки к расчетным. В большинстве случаев экспериментальные значения усилия прокатки превосходят расчетные на 10 - 25%.
2. С увеличением вытяжки НДС компонентов увеличивается.
3. Эффективными управляющими факторами являются создание различных условий смазки на поверхностях контакта металла с вальками и изменение соотношения толщин слоев.
4. Использование рассогласования скоростей валков ощутимого влияния на НДС компонентов не оказывает.
5. Основные закономерности влияния параметров процесса прокатки на усилие прокатки и НДС компонентов, приведенные в главе 2, в ходе экспериментального исследования подтвердились.

ВАРИАНТЫ АСИММЕТРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ ТОНКОЙ МНОГОСЛОЙНОЙ ЛЕНТЫ

При назначении режимов прокатки МЛ материалы и мехсвойства компонентов, их начальные и конечные толщины являются заданными. Следовательно, основная задача технолога состоит при наличии указанных ограничений в создании оптимальных условий деформации, обеспечивающих высокое качество ленты и гарантирующих отсутствие расслоения ленты при ее прокатке.

Решить поставленную задачу можно с использованием внешней асимметрии процесса деформации. Выбор вида асимметрии зависит от характеристик МЛ и возможностей завода - изготовителя МЛ. В частности, на базе проведенных экспериментальных и теоретических исследований разработаны и защищены авторскими свидетельствами

СССР следующие способы производства биметаллов:

1. Способ прокатки биметалла в валках неравного диаметра, один из которых не вращается.
2. Способ прокатки биметалла в валках, вращающихся с различными окружными скоростями.
3. Способ прокатки биметалла с различными условиями трения на поверхностях контакта металла с валками.
4. Способ получения биметалла с предварительным упрочнением одного из компонентов.
5. Способы получения биметалла с различным задним натяжением компонентов.
6. Способ прокатки биметалла с направлением полосы на входе в выходе из очага деформации под углом к горизонтальной плоскости.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

На Куусинском заводе ТТК создан участок по производству многослойных лент для миниатюрных источников питания, включающий прокатный стан ПВ - 150, зачистное устройство и вспомогательное оборудование. Отработана технология получения три- и биметаллических лент в условиях КЗТТК. На технологию получения триметаллической ленты получено 2 авторских свидетельства СССР. Внедрена технология прокатки триметаллических лент. Экономический эффект составляет 22,7 тыс. руб. в ценах 1988 года. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы на КЗТТК составляет 90 тыс. руб. в ценах 1989 года.

ВЫВОДЫ

1. Анализ существующих способов и технологий получения многослойных лент показал, что в настоящее время внешняя асимметрия несимметричного по своей природе процесса деформации многослойных лент используется для выравнивания послойных деформации компонентов лишь эпизодически. Отсутствуют достоверные методики расчета параметров процесса. В то же время управление послойной деформацией компонентов является важной технической задачей, решение которой позволяет получать многослойные ленты высокого качества.

2. На базе инженерного метода решения задач теории

пластичности разработана математическая модель процесса осадки биметаллической заготовки и процесса прокатки биметаллической полосы, позволяющая оценивать влияние на НДС компонентов таких видов внешней асимметрии процесса, как:

- геометрическая асимметрия;
- кинематическая асимметрия;
- физическая асимметрия;
- силовая асимметрия;
- смешанная асимметрия.

Математическая модель разработана для условий совместного действия межслойных касательных напряжений и послойных продольных напряжений, то есть для условий, наиболее близких к реальным. Разработан алгоритм и составлена программа расчета ЭСП параметров процесса прокатки биметаллической ленты.

Проведено экспериментальное исследование влияния параметров процесса плакирования на качество сцепления слоев биметаллической ленты и на НДС компонентов. Установлено следующее:

а) основным фактором, определяющим качество сцепления слоев при плакировании является степень деформации. При этом минимальная степень деформации, позволяющая осуществлять дальнейшую прокатку ленты без расслоения компонентов, составляет 50 %;

б) с увеличением степени деформации НДС компонентов увеличивается.

в) при расположении "твердого" компонента со стороны ведомого вала с увеличением рассогласования окружных скоростей валов НДС компонентов снижается.

4. Проведено апробирование предложенной математической модели процесса прокатки биметаллической ленты на стане ПВ - 200. Расчеты ЭСП осуществлялись на ЭЭВМ ИВМ РС/АТ. Установлено, что расчетные величины ЭСП процесса отличаются от полученных экспериментально в среднем на 10 - 25 %. Следовательно, математическая модель качественно верно отражает реальные процессы, происходящие при прокатке биметаллической ленты.

5. Проведено экспериментальное исследование влияния параметров процесса прокатки на НДС компонентов. На базе теоретических и экспериментальных исследований установлено, что:

а) с увеличением степени деформации НДС компонентов увеличивается;

б) подача смазки и, как следствие, снижение коэффициента

трения на контакте "твердого" компонента с валком снижает НШД компонентов и величину МКН;

в) увеличение доли "твердого" компонента в общей толщине пакета снижает НШД компонентов и величину МКН;

г) увеличение длины очага деформации (например, за счет увеличения диаметра рабочих валков) снижает величину МКН и НШД компонентов. На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые способы получения многослойных лент, 5 из которых защищены авторскими свидетельствами СССР.

6. На Кузинском заводе ТТК создан участок по производству многослойных лент для миниатюрных источников питания, включающий прокатно - лакировочный стан ЛБ - 150, зачистное устройство и вспомогательное оборудование. Разработана технология прокатки ленты медь - сталь 08кп - никель. Экономический эффект от ее внедрения составил 22,7 тыс. руб. в ценах 1989 года. Разработана технология получения триметаллической ленты медь - нержавеющая сталь - никель и биметаллической ленты медь - нержавеющая сталь. Разработанные технологии защищены 2 авторскими свидетельствами СССР. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработок на КЗТК составляет 90 тыс. руб. в ценах 1989 года.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ

1. Н.В.Судаков, В.Б.Селых. Процесс деформации многослойных материалов / Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции", Ч.1. - Челябинск, 1989. - с.62-63.

2. Селых В.Б., Агеев Л.М. О влиянии скоростной асимметрии на неравномерность послойной деформации компонентов биметалла при холодном плакировании / Челябинск, 1990. - 7с. - Депонировано в институте Черметинформация. № 2/Д 5801.

3. А.С. 1708563 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ получения биметаллического материала / Агеев Л.М., Селых В.Б., Кузнецова В.В. (СССР). - № 4604300/02/157179; Заявлено 10.11.88. Оpubл. 10.02.92. Бюл. № 4.

4. Судаков Н.В., Пелленен А.П., Селых В.Б., Зайцев В.В. Плакирование лент способом несимметричной прокатки / Челябинск, 1989. - 7с. - Депонировано в институте Черметинформация 30.03.89. № 5018.

5. А.С.1648689 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ получения биметалла / Л.М.Агеев, В.Б.Седых, О.В.Аксенов (СССР).- № 4403095/27; Заявлено 04.04.88.Опубл.15.05.91.Бюл.№ 18.
6. А.С. 1563066 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ прокатки биметалла / Н.В.Судаков, В.Б.Седых (СССР).- № 4436831/31-27; Заявлено 06.06.88. Не публикуется.
7. А.С.1750895 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ получения биметалла / Н.В.Судаков, В.Б.Седых (СССР).- № 4759012/27; Заявлено 03.10.89. Опубл.30.07.92.Бюл.№ 28.
8. А.С. 1624833 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ производства биметалла / Н.В.Судаков, В.Б.Седых (СССР).- № 4603336. Заявлено 9.10.89. Не публикуется.
9. А.С. 1731533 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ прокатки биметалла / А.Г.Новиков, В.Б.Седых.- № 4765492/27. Заявлено 18.10.89. Опубл.07.05.92.Бюл.№ 17.
10. Л.М.Агеев, Н.В.Судаков, А.П.Пелленен, В.Б.Седых, Н.А.Корнилова. Использование несимметричных процессов прокатки для производства многослойных материалов / Тезисы докладов к Всесоюзному научно-техническому совещанию "Повышение качества плоского проката из тяжелых цветных металлов". М., 1988.
11. Пелленен А.П., Седых В.Б., Аксенов О.В., Корнилова Н.А. Технология и оборудование для получения триметаллической ленты медь - нержавеющая сталь - никель / Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции."- Ч.1.- Челябинск, 1989.
12. А.С. 1541909 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ изготовления многослойной плакированной ленты / А.П.Пелленен, Л.М.Самохвалов. В.Б.Седых, О.В.Аксенов, С.Н.Говалев (СССР).- № 4385157/31-27; Заявлено 29.02.88. Не публикуется.
13. Агеев Л.М., Пелленен А.П., Седых В.Б., Судаков Н.В., Ильичев В.Г., Новиков А.Г. Применение несимметричных процессов прокатки для производства многослойных лент / Тезисы докладов к научно-техническому семинару " Новые технологии производства слоистых металлов, перспективы расширения их сортамента и применения." Магнитогорск, 1989.
14. А.С. 1818768 (СССР). МКИ В23К20/04. Способ производства биметалла /А.П.Пелленен, В.Б.Седых, Н.В.Судаков (СССР).- № 4823834/27; Заявлено 13.09.89. Не публикуется.

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ЛР № 020364 от 20.01.92. Подписано в печать 16.04.96.,
Формат бум. 60×84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16.
Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ 91/190.

УОП издательства. 454080, г. Челябинск, пр. им. Ленина, 76