

Краматорский индустриальный институт

На правах рукописи

Гершович Евгений Усерович

У  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ЛИСТОВ И ПОЛОС

Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Краматорск - 1993

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00814371 (O)

**Краматорский индустриальный институт**

**На правах рукописи**

**Гершович Евгений Усерович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ЛИСТОВ И ПОЛОС**

**Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки давлением**

**А в т о р е ф е р а т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**Краматорск - 1993**

№ 27.739

Работа выполнена в Краматорском индустриальном институте

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор  
Потапкин Виктор Федорович

Официальные оппоненты – доктор технических наук, главный научный  
сотрудник Еремеев Виктор Иванович  
кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник Калужский Владимир Борисович

Ведущее предприятие – "Днепропетровскметаллопром", г.Днепропетровск

Защита состоится "24" июня 1993 года в 14<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного совета Д.068.01.01 при  
Краматорском индустриальном институте по адресу: 343916,  
г.Краматорск, ул. Шакадинова, 76, индустриальный институт, зал  
заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Краматорского  
индустриального института.

Автореферат разослан "21" мая 1993 года

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Ученый секретарь  
специализированного совета Д.068.01.01  
кандидат технических наук, доцент

А.В.Сатонин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Решение задач по расширению ассортимента и повышению качества готовой металлопродукции неразрывно связано с широким техническим перевооружением, включающим создание нового, а также совершенствование и модернизацию действующих технологий и оборудования.

Применительно к завершающему переделу металлургического производства, одним из наиболее эффективных технологических процессов является процесс профилирования, характеризующийся высокой производительностью, низкой удельной энергоемкостью, а также широким ассортиментом и высоким качеством готовой металлопродукции. Дальнейшее повышение эффективности различных технологических схем процесса профилирования может быть обеспечено за счет промышленного производства профилей, являющихся новыми не только по форме поперечного сечения, а и по структуре профилируемых материалов. Последние, в свою очередь, включают в себя относительно тонкий листовой прокат с различного рода покрытиями, а также многослойные полиметаллические композиции с полученными предварительно достаточно прочными межслойными связями. Вместе с тем, отсутствие научно обоснованных положений по выбору рациональных технологических режимов и конструктивных параметров не позволяет в полной мере использовать преимущества данной технологической схемы и делают актуальным проведение ее дальнейших всесторонних исследований.

**Цель работы.** Разработка рекомендаций и методик, а также создание конструкций, направленных на повышение технико-экономических показателей процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос.

**Общая методика исследования.** В работе использован комплексный подход, включающий теоретический анализ, экспериментальные исследования, а также проектно-конструкторскую проработку отдельных вариантов и технических решений. В основу теоретических исследований положены методики теории упругости и пластичности, методы математической статистики, а также методы теории исследования операций, включающие математическое и имитационное моделирование с использованием ЭВМ, постановку и решение задач оптимизационного плана. Методы экспериментального исследования включали в себя физическое моделирование процесса профилирования в лабораторных и промышленных условиях, тензометрическое измерение деформирующих усилий и моментов, количественный анализ точности результирующих геометрических

характеристик и экспертную оценку качества готовой металлопродукции.

**Научная новизна.** На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований в работе уточнена и расширена в область использования многослойных полиметаллических композиций детерминированная математическая модель процесса профилирования относительно тонких листов и полос. Сформулирована и решена в виде программного модуля задача по автоматизированному проектированию радиуса деформирующего инструмента, обеспечивающего требуемое значение остаточного радиуса кривизны профилируемой заготовки.

С использованием детерминированной модели и общей стратегии метода Монте-Карло разработана имитационная математическая модель процесса профилирования, основной отличительной чертой которой является возможность непосредственного прогнозирования точности геометрических характеристик и диапазонов изменения основных энергосиловых параметров процесса.

Выявлены теоретически и подтверждены экспериментально вероятностные законы стохастического изменения исходных и результирующих параметров процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос, выявлен и получил количественное описание характер изменения удельной энергоёмкости данного процесса в зависимости от относительного количества используемых неприводных рабочих клеток.

Применительно к некоторым типоразмерам разработана методика по выбору основных конструктивных параметров самого изделия и уточнена методика проектирования калибровок профилирующих валков, учитывающие необходимость обеспечения требуемых монтажных и эксплуатационных характеристик готовой металлопродукции во всем диапазоне возможных изменений исходных параметров.

Разработаны рекомендации по выбору состава и совершенствованию конструктивных параметров механического оборудования специализированных профилегибочных агрегатов, разработаны варианты конструктивного исполнения отдельных узлов и машин, два из которых защищены авторскими свидетельствами.

**Практическая ценность.** В результате выполненных исследований разработаны методики, алгоритмы и программные средства по автоматизированному расчёту и проектированию технологических режимов процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос. Применительно к целому ряду типоразмеров металлопродукции из трёхслойных биметаллических композиций произведён выбор конструктивных

параметров самих изделий и предложены калибровки профилирующих валков, обеспечивающие требуемые показатели качества во всем объеме их промышленного производства.

Разработаны рекомендации по компоновке и конструктивному исполнению механического оборудования, позволяющие снизить удельную энергоемкость процесса профилирования, а также уменьшить удельную металлоемкость и повысить технико-экономические показатели в промышленных условиях эксплуатации.

Обобщен опыт промышленного производства гнутых профилей на основе трехслойных биметаллических композиций, выполнен сопоставительный технико-экономический анализ и даны рекомендации по расширенному использованию рассмотренной технологической схемы процесса профилирования.

Реализация работы в промышленности. Результаты работы внедрены на Старокраматорском машиностроительном заводе при проектировании, изготовлении, монтаже и промышленном освоении механического оборудования специализированного профилирующего агрегата 0,5...1,2x50...500, а также при проектировании и изготовлении механического оборудования специализированного агрегата штамповки из рулонной биметаллической заготовки.

Фактический экономический эффект от внедрения результатов работы составил более 135 тыс. рублей\* и был достигнут за счет увеличения коэффициента выхода годного и выпуска дополнительной металлопродукции.

Ожидаемый экономический эффект за счет дальнейшего повышения коэффициента выхода годного и снижения эксплуатационных расходов после реконструкции специализированного агрегата 0,5...1,2x50...500 и переводе его с поточной на непрерывную схему профилирования составит 652 тыс. рублей\*.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы доложены на сессии второй Дальневосточной школы "Физика и химия твердого тела" (г. Благовещенск, ДВО АН, 1988г.), XI Всесоюзной конференции "Генераторы низкотемпературной плазмы" (г. Новосибирск, СОАН, 1989г.), научно-технических советах Украинского научно-исследовательского института металлов (г. Харьков, 1991 и 1992г.г.), Старокраматорского машиностроительного завода (г. Краматорск, 1990, 1991, 1992г.г.) Нитвенского металлургического завода (г. Нитва, 1992г.), Тульского пат-

\* - в ценах 1991 г.

ронного завода (г.Тула,1991г.), научно-техническом совете института Атомкотломаш (г.Ростов-на-Дону,1991г.), научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и объединенном научном семинаре факультета АПОМД Краматорского индустриального института (г.Краматорск,1990,1992 и 1993г.г.).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в пяти статьях по научной тематике, а также в двух авторских свидетельствах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов и общих выводов. Основное содержание работы изложено на 195 страницах машинописного текста, включая 73 страницы рисунков и таблиц. Список использованных источников содержит 99 наименований, приложения представлены на 51 странице.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Технологические режимы процесса профилирования и конструктивные особенности механического оборудования для его реализации (состояние вопроса):

Одним из наиболее перспективных направлений по повышению эффективности металлургического и заготовительного переделов является более широкое промышленное освоение различных технологических схем процесса профилирования, заключающегося в производстве гнутых профилей путем непрерывного формоизменения листового металлопроката при его прохождении через вращающиеся рабочие валки, имеющие соответствующую калибровку. Именно технологические преимущества процесса профилирования, включающие в себя возможность непрерывного высококомеханизированного производства гнутых профилей самой различной формы, малую удельную энергоёмкость и металлсёмкость, а также высокую точность и качество поверхности в сочетании с целым рядом особых физико-механических свойств, характерных для использования многослойных полиметаллических материалов, позволяют в максимальной степени удовлетворить такие противоречивые требования, как высокий уровень эксплуатационных характеристик при одновременном сохранении относительно низких стоимостных показателей готовой металлопродукции.

В настоящее время процесс профилирования монометаллических заготовок изучен достаточно полно с точки зрения инженерных методов

расчета напряженно-деформированного состояния, разработки калибровки и выбора состава соответствующего механического оборудования. В частности, благодаря работам И.С. Тришевского, К.Н.Боговявленского, В.Н.Давыдова, М.Е. Докторова, В.Б.Калужского, В.В.Клепанды, Г.Ф.Хайфеца и других ученых была создана современная теория, послужившая основой при создании и промышленном освоении целого ряда профилегибочных агрегатов, обеспечивших производство гнутых профилей самого различного назначения.

Вместе с тем, особый характер распределения геометрических характеристик и механических свойств по толщине многослойных полиметаллических композиций делает необходимым дальнейшее развитие методов расчета локальных и интегральных параметров процесса их профилирования. Целесообразным в этом случае является и разработка программных средств по автоматизированному проектированию радиусов деформирующих инструментов, а также обеспечение возможности непосредственного прогнозирования основных показателей качества еще на стадии проектно-конструкторской и технологической проработки. Кроме того, специфика процесса профилирования многослойных полиметаллических композиций предопределяет и наличие ряда дополнительных требований к составу, а также к конструктивным особенностям механического оборудования специализированных профилегибочных агрегатов, при этом наиболее существенными среди указанных требований являются повышение коэффициента выхода годного при одновременном обеспечении всего комплекса заданных качественных и эксплуатационных показателей готовой металлопродукции.

Отмеченное выше предопределило целевое предназначение настоящего исследования и необходимость решения следующих основных задач:

разработка математических моделей и количественный анализ напряженно-деформированного состояния при реализации процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос;

разработке программных средств по автоматизированному проектированию радиусов деформирующего инструмента;

создание имитационной математической модели процесса профилирования многослойных полиметаллических композиций и количественный анализ основных показателей качества готовой металлопродукции в зависимости от вероятностных показателей исходных параметров процесса;

разработка рекомендаций по выбору состава, а также по совершенствованию технологических режимов и конструктивных параметров

механического оборудования специализированных профилегибочных агрегатов;

создание конструкций, технологий и промышленное освоение выпуска готовой металлопродукции на основе процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос.

## 2. Математические модели и программные средства по автоматизированному расчету и проектированию процесса профилирования тонких многослойных полиметаллических листов и полос.

В работе на основе использования аналитического описания интенсивности деформационного упрочнения в виде полинома третьей степени уточнена математическая модель механических свойств различных металлов и сплавов применительно к условиям реализации процесса профилирования. С учетом результатов численной реализации полученных программных средств определены значения коэффициентов регрессии для целого ряда материалов, при этом вносимая погрешность в относительном измерении не превысила 3 %.

На основе численного рекуррентного решения конечно-разностной формы условия статического равновесия выделенного элементарного объема уточнена и расширена в область многослойных полиметаллических композиций детерминированная математическая модель напряженно-деформированного состояния металла при профилировании. Непосредственно математическое моделирование в этом случае заключалось в разбиении толщины  $h$  профилируемой композиции на конечное множество  $K_{RH}$  элементарных объемов и последующем численном определении приведенных к единице длины тангенциальных сил  $N_k$  и изгибающих моментов  $M_k$ :

$$N_k = \sum_{j=2}^{K_{RH}+1} \frac{\sigma_{(j-1)}^{+\sigma_j}}{2} \Delta h ; \quad (1)$$

$$M_k = \sum_{j=2}^{K_{RH}+1} \frac{\sigma_{(j-1)}^{+\sigma_j}}{2} \left\{ Z_j + \frac{1}{3} \frac{2\sigma_{(j-1)}^{+\sigma_j}}{\sigma_{(j-1)}^{+\sigma_j}} \Delta h \right\} \Delta h , \quad (2)$$

где  $j$ - порядковый номер граничной поверхности при разбиении толщины профилируемой композиции на элементарные объемы;

$\sigma_{(j-1)}$  и  $\sigma_j$ - тангенциальные напряжения растяжения или сжатия, действующие на соответствующих граничных поверхностях;

$\Delta h = h/K_{RH}$ - шаг разбиения толщины;

$Z_j$ - геометрическая координата данной граничной поверхности, соот-

ветствующая расстоянию до поверхности, являющейся средней для всей толщины полосы.

Количественное определение напряжений  $\sigma_j$  в зависимости от функционально связанных с радиусом изгиба  $R_K$  соответствующих показателей относительной деформации растяжения или сжатия  $\epsilon_j$  при упругом нагружении и упругой разгрузке производили, как:

$$\sigma_j = E_{ij} \epsilon_j; \quad \sigma_j = E_{ij} (\epsilon_j - \epsilon_{\text{ост.}j}), \quad (3)$$

$E_{ij}$  — модуль упругости материала  $i$ -ой составляющей профилируемой многослойной композиции, расположенной, в свою очередь, на  $j$ -ой граничной поверхности;

$\epsilon_{\text{ост.}j}$  — степень остаточной деформации, имеющей место на данной граничной поверхности после упруго-пластического нагружения.

В случае же упруго-пластического растяжения или сжатия напряжения  $\sigma_j$  определяли исходя из следующих выражений:

$$\sigma_j = \sigma_{Tij} + a_{1ij} (\epsilon_j - \sigma_{Tij} / E_{ij}) + a_{2ij} (\epsilon_j - \sigma_{Tij} / E_{ij})^2 + a_{3ij} (\epsilon_j - \sigma_{Tij} / E_{ij})^3, \quad (4)$$

$$\sigma_j = \sigma_{Tij} + a_{1ij} (\epsilon_j + \sigma_{Tij} / E_{ij}) - a_{2ij} (\epsilon_j + \sigma_{Tij} / E_{ij})^2 + a_{3ij} (\epsilon_j + \sigma_{Tij} / E_{ij})^3, \quad (5)$$

$\sigma_{Tij}$  — предел текучести материала данной составляющей в исходном состоянии;

$a_{1ij}$ ,  $a_{2ij}$ ,  $a_{3ij}$  — коэффициенты регрессии полиномиального описания интенсивности деформационного упрочнения материала, расположенного на  $j$ -ой граничной поверхности профилируемой многослойной композиции.

Помимо рассмотренного выше, в основу детерминированной математической модели процесса профилирования были положены также подпрограммные модуль по идентификации принадлежности  $j$ -ой граничной поверхности той или иной составляющей, численное решение по отношению к нормальным радиальным напряжениям  $P_j$ , итерационная процедура по определению деформации среднего слоя исходя из условия соответствия расчетного согласно (1) и заданного значения  $R_K$  при упруго-пластическом нагружении, а также итерационная процедура по определению деформации среднего слоя и остаточного радиуса кривизны исходя из условия равенства нулю расчетных согласно (1) и (2) значений тангенциальных сил и изгибающих моментов, имеющих место по мере упругой разгрузки.

На основе результатов численной реализации полученной детерминированной математической модели проведен количественный анализ влияния исходных параметров процесса профилирования на такие показатели, как величина изгибающих моментов, остаточные радиусы кри-

визны, а также распределение напряжений и деформаций в объеме профилируемой композиции. Установлено, что необходимое и достаточное для обеспечения требуемой точности результатов математического моделирования количество разбиений толщины составляет  $K_{\text{ЭП}}=100$ , исследовано влияние геометрических параметров и механических свойств различных составляющих полиметаллической композиций на результирующие характеристики процесса.

С использованием детерминированной математической модели в качестве целевой функции сформулирована и решена программно задача по автоматизированному проектированию радиусов деформирующего инструмента, обеспечивающих требуемые значения остаточных радиусов кривизны. В результате численной реализации полученных программных средств выявлен довольно сложный характер влияния внешних тангенциальных сил, а также геометрии и механических свойств различных составляющих, получены количественные оценки требуемых радиусов инструмента применительно к конкретным типоразмерам готовой металлопродукции.

Полученные математические модели, будучи организованными в соответствии с общей стратегией метода Монте-Карло, составили комплекс программных средств по имитационному моделированию процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос. При этом основной отличительной особенностью данных теоретических решений является возможность корректного учета вероятностного характера изменения исходных параметров при одновременном обеспечении возможности непосредственного прогнозирования таких важнейших параметров какими являются размах и характер стохастического изменения требуемого изгибающего момента и остаточного радиуса кривизны.

На основе результатов количественного анализа установлено, что по отношению к вариациям изгибающих моментов наиболее существенное влияние оказывает стохастическое изменение толщины, а затем и стохастическое изменение механических свойств составляющих профилируемой полосы. По отношению же к вариациям остаточных радиусов кривизны, наоборот, более существенным является влияние вариаций механических свойств, хотя степень отличия в этом случае является менее существенной. Влияние стохастического изменения остальных исходных параметров процесса профилирования является крайне незначительным. В целом, распределение результирующих характеристик процесса соответствуют нормальным законам, при этом коэффициенты вариации энергосиловых параметров и остаточных геометрических характе-

ристик могут находиться в диапазонах 5...17% и 0,4...1,2%, соответственно.

### 3. Экспериментальные исследования процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос

На основе результатов экспериментальных исследований, проведенных в лабораторных и промышленных условиях, уточнены исходные данные по вероятностным оценкам стохастического изменения исходных параметров процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос. Установлено, в частности, что эмпирические распределения исходной толщины и исходных механических свойств подчиняются нормальному закону, при этом значения коэффициентов вариации данных параметров находятся в диапазонах  $\phi_n = 0,02 \dots 0,06$  и  $\phi_{\sigma T} = 0,03 \dots 0,07$ , где меньшие значения указанных диапазонов соответствуют выборкам в объеме одного рулона и более высоким значениям исходной толщины. В отдельных случаях, а именно при наличии некондиционных рулонов, значения указанных коэффициентов вариации могут достигнуть  $\phi_n = 0,08$  и  $\phi_{\sigma T} = 0,09$ .

Результаты сопоставительного анализа расчетных и эмпирических распределений остаточного радиуса кривизны подтвердили достаточную степень достоверности и, как следствие, возможность дальнейшего использования полученных в рамках выполнения данной работы детерминированной, а также имитационной математических моделей процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос. Вносимая в этом случае погрешность в относительном измерении не превысила 4%.

На основе результатов экспериментальных исследований энергосиловых параметров установлено, что использование, а также увеличение относительного количества неприводных рабочих клеток приводит к снижению суммарного момента и удельной энергоемкости процесса профилирования, причем интенсивность указанного снижения может достигать 50% и более. Одновременно с этим имеет место и некоторое повышение качества поверхности готовой металлопродукции. Отмеченное обусловлено снижением общего уровня относительного скольжения вследствие кинематической самоподстройки неприводных рабочих клеток, при этом данное техническое решение может быть использовано как при модернизации действующего, так и при создании механического оборудования специализированных профилирующих агрегатов.

#### 4. Создание механического оборудования, разработка калибровок и совершенствование технологических режимов применительно к промышленным условиям реализации процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос

С использованием результатов, выполненных в рамках данной работы теоретических и экспериментальных исследований, произведен выбор состава, спроектировано и изготовлено механическое оборудования специализированного профилегибочного агрегата 0,5...1,2х50...500, предназначенного для промышленного листового производства широкого спектра готовой металлопродукции из многослойных полиметаллических листов и полос. Технологическая линия данного агрегата включает в себя разматыватель, правильную машину, летучие ножницы поперечной резки, шестиклетьевую группу формовочного стана, а также транспортирующий и пакетирующий столы. Опыт двухлетней эксплуатации данного агрегата, в целом, подтвердил правильность принятых проектно-конструкторских решений и позволил наметить перспективы совершенствования как технологических, так и конструктивных параметров исследуемого процесса профилирования.

При подготовке промышленного производства черепицы, желоба и теплоизлучателей биметаллических, на основе количественного анализа вероятностных характеристик точности геометрических размеров, выполненных с использованием полученной имитационной математической модели, определены конструктивные параметры, обеспечивающие требуемые монтажные и эксплуатационные показатели во всем диапазоне возможного стохастического изменения исходных параметров заготовки. С точки зрения конкретных изделий, имеющих толщину  $h=0,7...1,2$  мм и радиусы  $R_K=10...45$  мм, установлено, что коэффициент вариации остаточных радиусов кривизны находится в диапазоне 0,4...0,7%, где большие значения указанного диапазона соответствуют более высоким значениям коэффициентов вариации исходных геометрических характеристик и исходных механических свойств деформируемой заготовки. Коэффициент вариации энергосиловых параметров процесса профилирования в этом случае может достигать 15...17%, что в свою очередь, необходимо учитывать при анализе пиковых нагрузок, а также при инженерной оценке надежности конкретного механического оборудования.

Применительно к специализированному профилегибочному агрегату 0,5...1,2х0,5...500 на основе общепринятых рекомендаций, а также с использованием программных средств по автоматизированному проектированию радиусов деформирующего инструмента разработаны калибровки

профилирующих валков, обеспечивающие промышленное производство целого ряда типоразмеров готовой металлопродукции из трехслойных биметаллических композиций латунь Л90-сталь 08кп-латунь Л90. При этом осуществление всего комплекса предложенных мероприятий способствовало снижению коэффициента расхода металла с 1,025 (нормативное значение) до 1,01165 (фактическое значение). Отмеченное, в свою очередь, способствовало выпуску значительного объема дополнительной металлопродукции с фактическим экономическим эффектом более 135 тыс.руб. в ценах 1991 г.

Результаты работы использованы при выборе состава, проектировании и изготовлении механического оборудования специализированного агрегата штамповки из рулонных биметаллических заготовок, конструкция которого максимально унифицирована с конструкцией специализированного профилегибочного агрегата 0,5...1,2 x 50...500. Промышленное освоение агрегата штамповки позволит увеличить объем выпускаемой металлопродукции при одновременном весьма существенном расширении ее сортамента.

#### 5. Совершенствование конструктивных параметров оборудования для реализации процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос.

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также на основе обобщения опыта промышленной реализации процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос разработан проект реконструкции механического оборудования специализированного профилегибочного агрегата 0,5...1,2x50...500. Основными направлениями указанной реконструкции являются переход с поштучного на непрерывное профилирование, установка вертикальных роликов, а также совершенствование конструктивных параметров отдельных узлов и машин. Осуществление данных мероприятий будет способствовать дальнейшему увеличению коэффициента выхода годного и повышению качества готовой металлопродукции при одновременном снижении эксплуатационных расходов. Ожидаемый годовой экономический эффект в этом случае составит - 652,08 тыс. рублей в ценах 1991 г.

С использованием эффекта силового взаимодействия двух проводников электрического тока разработана принципиально новая технологическая схема и ее конструктивная реализация в виде узла профилирующих роликов. Использование данного технического решения позволит полностью исключить возможность перегрузки механического оборудования, уменьшит напряжения в элементах конструкции и будет способст-

водить повышению качества готовой металлопродукции.

Разработана принципиально новая конструкция установки для непрерывного производства и профилирования многослойных композиций на основе вспениваемых полимеров. Использование данной конструкции будет способствовать увеличению объемов производства готовой металлопродукции при одновременном весьма существенном расширении ее сортамента.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Одним из основных направлений по повышению качества и расширению сортамента готовой металлопродукции является более широкое промышленное освоение процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос.

2. На основе численного рекуррентного решения конечно-разностной формы условия статического равновесия выделенного элементарного объема разработана детерминированная математическая модель, адекватно представляющая локальные и интегральные характеристики напряженно-деформированного состояния многослойной полиметаллической композиции при ее профилировании.

3. Сформулирована и решена программно задача по автоматизированному проектированию радиусов деформирующих инструментов, обеспечивающих требуемые значения остаточных радиусов кривизны. Разработаны калибровки профилирующих валков применительно к производству изделий "черепаца, желоб и теплоизлучатели биметаллические".

4. Полученная детерминированная математическая модель, будучи организованной в соответствии с общей стратегией метода Монте-Карло, составила комплекс программных средств по имитационному математическому моделированию процесса профилирования, на основе численной реализации которого сформулированы требования к исходным заготовкам и разработаны конструкции изделий "черепаца и теплоизлучатели биметаллические".

5. На основе результатов численной реализации полученных программных средств применительно к технологическим режимам и основным результирующим характеристикам исследуемого процесса профилирования было установлено следующее:

коэффициент вариации остаточных радиусов кривизны для заготовок толщиной 0,5...1,0 мм находится в диапазоне 0,4...0,7%, где большие значения указанного диапазона соответствуют более высоким значениям коэффициентов вариации исходных механических свойств

более высоким значениям исходной продольной разнотолщинности деформируемой заготовки;

коэффициент вариации энергосиловых параметров процесса профилирования может достигать 15...17%, что, в свою очередь, необходимо учитывать при анализе пиковых нагрузок, а также при инженерной оценке надежности конкретного механического оборудования;

дальнейшее повышение точности геометрических характеристик готовой металлопродукции может быть обеспечено за счет перехода с поточной на непрерывную схему профилирования, а также за счет стабилизации исходных параметров и использования рациональной калибровки рабочего инструмента.

6. На основе результатов теоретических исследований произведен выбор состава, разработана конструкция и технология работы механического оборудования специализированного профилировочного стана 0,5...1,2x50...500. Экспериментально установлено, что переход на непрерывную схему с одновременным использованием неприводных рабочих клеток позволяет снизить удельную энергоёмкость процесса профилирования на 30% и более. Разработан ряд принципиально новых конструкций отдельных узлов машин, две из которых защищены авторскими свидетельствами.

7. Результаты работы внедрены на Старокраматорском машиностроительном заводе при проектировании, изготовлении и промышленном освоении специализированного профилировочного агрегата 0,5...1,2 x 50...500, а также при проектировании и создании агрегата штамповки из рулонной биметаллической заготовки. Фактический экономический эффект от внедрения результатов работы составил более 135 тыс. руб.\* и был получен за счет увеличения коэффициента выхода и выпуска дополнительной металлопродукции. Ожидаемый экономический эффект за счет дальнейшего повышения коэффициента выхода годного и снижения эксплуатационных расходов составит около 652 тыс. руб.\*

Основное содержание диссертации опубликовано в

следующих работах:

1. В.Ф.Потапкин, Г.Р.Хейфец, А.В.Свтонин, В.У.Лерювич, и др. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния и автоматизированное проектирование инструмента при профилировании многослойных полиметаллических листов и полос / Краматорский индустр. ин-т, Краматорск, 1992 -32 с. -Доп. в УкрИТИ 29.04.92 №17

\* - в ценах 1991 г.

-ук 92.

2. В.Ф.Поталкин, Г.Р.Кейфец, А.В.Сатонин, Е.У.Гершович и др. Детерминированное и имитационное моделирование процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос. Краматорск, 1992 -52 с. Ден. в УкрІТН II.06.92. N 892 -ук 92.
3. Г.Р.Кейфец, Е.У.Гершович, В.В.Клепанда и др. Математическое моделирование изгибно-деформированного состояния при реализации процесса профилирования многослойных полиметаллических листов и полос / Старокраматорский машиностр. завод -Краматорск, 1991. -22 с. -Ден. в ЦНІТЗІТивіев.
4. М.І.Эстерлис, В.Е.Булат, А.И.Гнусов, Е.У.Гершович и др. Определение качества очистки металлических поверхностей дуговым разрядом в вакууме // Физика и химия твердого тела: Тез. докл. 2-й Дальневост. школы ФКП ДВО АН СССР. Благовещенск, 10-16 июня 1988 г. -Благовещенск, 1988. -С. 107-108.
5. М.І.Эстерлис, Т.Э.Сартов, П.Ф.Кирсон, Е.У.Гершович. К очистке поверхности металлов низкотемпературной плазмой / / Генераторы низкотемпературной плазмы: Тез. докл. XI Всесоюз. Конференции по генерат. низкотемперат. плазмы. Новосибирск, -1989. -С. 306-307.
6. А.С.1004135 СССР. Установка для непрерывного изготовления изделий на основе вспенивающейся самотвердеющей композиции / Е.У.Гершович, Г.Р.Кейфец, Н.Г.Пасаренко и др. -опубл. 15. 07. 83 г. В N 26 / / Открытия. Изобретения. -1983. -N 10. -С. 66.
7. А.С.1439816 СССР. Способ прокатки / Е.У.Гершович, Л.Г.Делисто -Опубл. 23.11.88, В N 43 / / Открытия. Изобретения. -1988. N 43. -С. 268.

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

Отпечатанный за выпуск Гершович Е.У. Формат бумаги 60x90  
1/16. Объем 1 печ.лст. Заказ N 157. Тираж 100 экз. Подписано к печати 05.1998 г.

Отпечатано на ротарномте СМБ  
343302, г. Краматорск, ул. Горького, 2.

465825

Ab 27.739  
**AB 27.739**