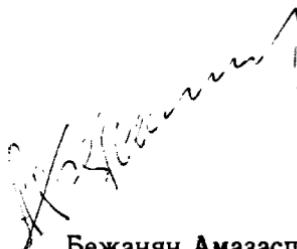


25.16.25

5388

  
На правах рукописи

Бежанян Амазасп Рафаэлович

## **Разработка теории и технологии шаговой прокатки фланцевых профилей**

Специальность 05 16 05 —  
“Обработка металлов давлением”

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
1997

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

Научный руководитель — заслуженный деятель науки  
и техники РСФСР,

доктор технических наук,

профессор Выдрин В.Н.

Научный консультант: доктор технических наук,  
профессор Коваль Г.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Смирнов В.К.;  
кандидат технических наук  
Лысков О.Е.

Ведущее предприятие: Челябинский металлургический  
комбинат

Защита состоится 2 апреля 1997 г. в 14<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета Д-053.13.04 Челябинского государственного технического университета /454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "26" 02 1997 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
профессор,  
доктор физико-математических наук



Мирзаев Д.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

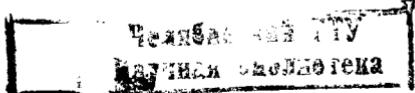
**Актуальность работы.** Одним из основных направлений развития металлообработки является переход на малоотходные, ресурсо- и трудосберегающие технологии. Развитие металлопотребляющих отраслей и прежде всего машиностроения требует от metallurgического производства непрерывного расширения сортамента получаемого проката как по маркам материалов, так и по профилеразмерам. Одновременно с этим уменьшается тоннаж партий металлопродукции. В этих условиях наиболее рациональным направлением развития производства следует считать создание производственных систем, способных быстро переходить с выпуска одного вида продукции на другой. Существенным фактором повышения эффективности производства при применении таких систем является уменьшение числа операций (стадий) обработки. В большинстве случаев снижение числа операций связано не только с повышением производительности труда, но и приводит к экономии материальных ресурсов.

Существующие способы ОМД, применяемые для производства сортовых, в том числе и фасонных профилей не всегда в полной мере удовлетворяют этим требованиям.

Одним из путей решения этой проблемы может быть применение новых высокоэффективных способов шаговой прокатки.

**Цель работы и задачи исследования.** Разработка теории и технологии шаговой прокатки фланцевых профилей. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать существующие способы получения фасонных профилей и эффективность применения шаговой деформации для производства малотоннажных партий проката в широком диапазоне маркопрофилеразмеров.
2. Рассмотреть состояние теории процесса шаговой прокатки и проанализировать возможность использования существующих методик для определения основных параметров калибровки валков и технологического процесса получения фасонных профилей.
3. Разработать и обосновать по результатам экспериментальных исследований основные технические решения по шаговой прокатке фасонных профилей.
4. Разработать методику построения ручьев валков, алгоритм и программу расчета на ЭВМ калибровки валков для шаговой прокатки фланцевых профилей.
5. Разработать и реализовать математическую модель расчета параметров процесса шаговой прокатки фланцевых профилей.
6. Экспериментально проверить достоверность результатов теоретических исследований.
7. Разработать опытно-промышленную технологию шаговой прокатки фасонных профилей.



8. Дать технико-экономическую оценку перспектив использования новой технологии.

**Научная новизна.** На основании проведенных исследований сформулированы критерии проектирования калибровки валков, характерные для условий шаговой прокатки профилей с одной осью симметрии, и дано их математическое описание.

Разработана математическая модель процесса шаговой прокатки фланцевых профилей, включающая предложенный новый метод определения продольных границ мгновенного очага деформации.

Уточнена методика построения кинематически возможного поля скоростей, обеспечивающая выполнение кинематического контактного условия при шаговой прокатке.

**Практическая ценность.** С использованием полученных научных результатов составлена и реализована программа комплексного расчета оптимальных технологических параметров, обеспечивающих заполнение чистового калибра в конце рабочего цикла шаговой прокатки, разработана опытно-промышленная технология, спроектировано основное технологическое оборудование, выбраны состав и компоновка вспомогательного оборудования типового участка производства малотоннажных партий простых и фасонных профилей.

Предложены новые технические решения по конструкции прокатных клетей, повышающие производительность станов шаговой прокатки и обеспечивающие быстрый переход с прокатки одного профиля на другой.

Сформулированы рекомендации по эффективному применению процесса шаговой прокатки для производства малотоннажных партий проката в широком диапазоне маркопрофилеразмеров.

**Практическое применение результатов работы.** Программы расчета калибровки валков и основных технологических параметров процесса использованы при проектировании технологий и разработке технической документации опытно-промышленных станов ПК 350, ПКУ 175 и ПК 120М.

Экономический эффект от использования стана ПК 350 на предприятии п/я М-5481 449311 рублей и трех станов ПК 120М на ПО "Завод им. Малышева" (г. Харьков), ПО "УралАЗ" (г. Миасс) и УКВЗ (г. Усть-Катав) 132190 рублей в ценах до 1990 года.

**Апробация работы.** Основное содержание диссертации докладывалось на

1. Научно-технической конференции "Новые технологические процессы и оборудование сортопрокатного производства". — Свердловск, 1983.

2. IV научно-технической конференции "Молодые ученые и специалисты научно-техническому прогрессу в металлургии". — Донецк, 1983.

3. Научно-технической конференции "Молодые ученые и специалисты предприятий и организаций черной металлургии в борьбе за ускорение научно-технического прогресса и повышения производительности труда". — Челябинск, 1984.

4. Всесоюзной научно-технической конференции "Новые технологические процессы прокатки, интенсифицирующие производство и повышающие качество продукции". — Челябинск, 1984.

5. IV Всесоюзной научно-технической конференции "Теоретические проблемы прокатного производства". — Днепропетровск, 1988.

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

7. Всесоюзной научно-технической конференции "Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии". — Днепропетровск, 1989.

8. Всероссийской научно-технической конференции "Математическое моделирование технологических процессов обработки металлов давлением". — Пермь, 1990.

9. Межгосударственной научно-технической конференции "Проблемы развития металлургии Урала на рубеже XXI века". — Магнитогорск, 1996.

10. Научно-технических конференциях Челябинского государственного технического университета. — Челябинск, 1984...1996.

**Публикация.** Основное содержание диссертации опубликовано в 15 печатных работах, три из которых авторские свидетельства и патент на изобретения.

**Объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Содержание работы изложено на 138 страницах машинописного текста, включает 109 рисунков, 7 таблиц. Список литературы составлен из 169 наименований.

### **Основное содержание работы**

1. Анализ эффективности производства малотоннажных партий фасонных профилей способом шаговой прокатки и состояния теории процесса шаговой прокатки.

В первой главе рассмотрены существующие технологические схемы производства фасонных профилей из стандартной исходной заготовки, приведен анализ технологических возможностей известных способов ОМД и новых способов шаговой деформации с точки зрения эффективности их применения для производства малотоннажных партий проката в широком диапазоне маркoprofilerазмеров. Показано, что наиболее эффективным для этих целей является применение шаговой прокатки, обеспечивающей формирование профилей за один проход через прокатную клеть. Причем

для реализации этого процесса предпочтительным является использование станов с приводными жестко синхронизированными и технологичными в изготовлении рабочими валками.

Освещено состояние теории процесса шаговой прокатки и проанализирована возможность применения существующих методик для определения технологических параметров процесса шаговой прокатки фасонных профилей. Показано, что в известных теоретических исследованиях в основном рассматривается процесс деформации симметричных профилей, хотя отмечается возможность и перспективность использования процесса шаговой прокатки для получения фасонных профилей. Существующие методики определения параметров очага деформации или не точны при использовании исходного конуса деформации, полученного без учета относительного скольжения металла и валков, или не рациональны из-за значительных затрат машинного времени при расчете на ЭВМ технологических параметров процесса.

Кроме того, обоснована необходимость уточнения методики построения кинематически возможного поля скоростей, обеспечивающего выполнение кинематического контактного условия при шаговой прокатке.

На основании проведенного анализа конкретизированы пути решения поставленной цели.

## 2. Новые технические решения по технологии получения фланцевых профилей шаговой прокаткой

На базе существующих технологий производства фасонных профилей сформулированы основные принципы и разработан новый технологический процесс получения фланцевых профилей шаговой прокаткой. К фланцевым профилям отнесены следующие технологические группы сложных фасонных профилей отраслевого назначения: крестообразные с фасонными элементами, тавровой формы, угловые, п-образной (швеллерной) и двутавровой формы. Поскольку основным отличием новой технологии является сам способ формирования профиля, в работе особое внимание уделено вопросам калибровки валков.

С целью снижения трудоемкости и сокращения времени проектирования калибровки, что особенно важно при производстве профилей в широком диапазоне профилеразмеров, разработан алгоритм, составлена и реализована на ЭВМ в автоматическом и диалоговом режимах программа расчета основных параметров калибровки валков для шаговой прокатки фланцевых профилей. В качестве критерия выбора того или иного варианта калибровки принята степень заполнения чистового калибра в конце рабочего цикла шаговой прокатки, которая определяется по результатам расчета программы, реализующей математическую модель процесса.

Управление степенью заполнения чистового калибра осуществлено изменением в определенных пределах по приоритетным уровням параметра, характеризующего интенсивность обжатия полосы по длине конуса деформации, углов при вершинах разгонных гребней валков, размеров попереч-

ного сечения исходной заготовки, величины подачи заготовки, условий трения на контактной поверхности валков с полосой. Диапазоны изменения параметров управления определены конструктивными особенностями и типоразмером стана, размерами профиля, а также по рекомендациям известных исследований. Приоритетность уровней изменения параметров управления установлена на основании минимизации технологических операций и обеспечения необходимой производительности при производстве профиля.

Методика построения и расчета основных параметров калибровки валков разработана на базе известных методик определения параметров валков для сортовой шаговой прокатки простых профилей с учетом особенностей прокатки фасонных профилей. К основным расчетным параметрам отнесены: эксцентриситет, радиусы кривизны элементов ручьев обжимного и калибрующего участков, углы калибрования, исходными данными для определения которых являются размеры требуемого профиля, форма и размеры поперечного сечения исходной заготовки, типоразмер стана, параметр, характеризующий интенсивность обжатия полосы по длине конуса деформации, углы при вершинах разгонных гребней. Основные параметры валков определены из решения системы уравнений, записанных согласно требований, предъявляемых к калибровке и сформулированных по результатам опытной прокатки, при двух положениях прокатных валков. Первое положение характеризуется образованием чистового калибра, а второе — раскрытием валков на высоту исходной заготовки. Кроме того, в систему входят уравнения, определяемые из условий калибрования получаемого профилей и сопряжения калибрующего и обжимного участков валков, а также уравнения радиусов этих участков, определяемые размерами элементов профиля.

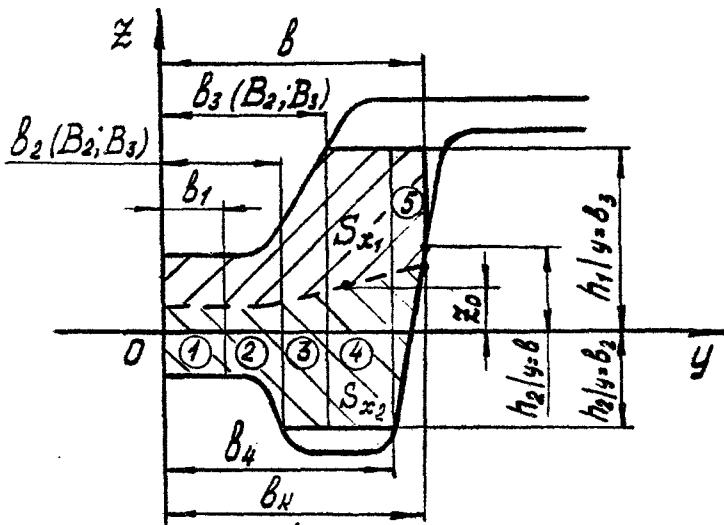
С целью конкретизации получаемых решений методика построения и расчета основных параметров калибровки валков рассмотрена на примере определения этих параметров для шаговой прокатки п-образного профиля в закрытом калибре, который включает в себя все элементы фланцевых профилей.

На уровне изобретений разработаны новые способ (Патент 2037346) и конструкции станов (а.с. 1623809; 1699668), повышающие эффективность применения процесса шаговой прокатки при производстве малотоннажных партий фасонных профилей.

### 3. Математическая модель процесса шаговой прокатки фланцевых профилей

На базе известных теорий шаговой прокатки сортовых профилей простой формы поперечного сечения и продольной прокатки фасонных профилей разработана математическая модель процесса шаговой прокатки фланцевых профилей, составлены алгоритм и программа расчета, позволяющая при заданных параметрах калибровки валков и управления ими, определить геометрические размеры получаемого профиля и необходимые технологические параметры процесса.

В основу математического описания процесса положен известный шаговый метод, при котором рабочий цикл шаговой прокатки разбивается на части и для каждой части определяется положение и кинематика инструмента, которые являются исходными данными для расчета параметров мгновенного очага деформации. Геометрические, кинематические и энергосиловые параметры очага деформации определены из решения основных уравнений известной энергетической теории: закона сохранения энергии и вариационного принципа наименьшей мощности, затрачиваемой на деформацию. Варьирование кинематически возможных состояний очага деформации.



Положение профиля в калиbre

ции осуществлено с использованием известной прикладной программы, в основе которой лежит градиентный метод прямого поиска минимума целевой функции, зависящей от любого числа варьируемых параметров.

Для определения параметров очага деформации поперечное сечение разбито на зоны и приняты следующие допущения: гипотезы плоских сечений и прямых вертикалей, линейное распределение вертикальной скорости течения металла по высоте полосы и пропорциональность поперечных скоростей деформации в первой зоне, которая выбрана в окрестности оси симметрии профиля.

Геометрические параметры очага деформации определены положением поверхностей, ограничивающих его в пространстве. Согласно разработанной методике поверхности ручья каждого валка составлены совокупностью конических и цилиндрических поверхностей, оси которых ориентиро-

ваны в пространстве по-разному. Положение поперечного сечения очага деформации определено координатами свободных поверхностей в калибре. На рисунке приведен общий вариант положения профиля в калибре при наличии боковой свободной поверхности и свободных поверхностей в открытой и закрытой частях калибра. Неизвестные координаты  $B_3; B_2; b_4; b$  рассчитаны из совместного решения следующих четырех уравнений, определяющих площадь поперечного сечения очага деформации с учетом принятых допущений, равенство коэффициентов вытяжки частей поперечного сечения с разнонаправленным вертикальным течением, коэффициент вытяжки в зоне, ограниченной свободными поверхностями, и границу пересечения поверхностей ложного фланца и валков,

$$S = \int_0^b (h_1 - h_2) dy, \quad (1)$$

где

$$h_1 = \begin{cases} h'_1, & \text{при } 0 \leq y \leq B_3; \\ h'_1|_{y=B_3}, & \text{при } B_3 < y \leq b; \end{cases}$$

$$h_2 = \begin{cases} h'_2, & \text{при } 0 \leq y \leq B_2; \\ h'_2|_{y=B_2}, & \text{при } B_2 < y \leq b_4; \\ h'_2, & \text{при } b_4 < y \leq b. \end{cases}$$

$$\frac{S_{t1}}{S_{x1}} = \frac{S_{t2}}{S_{x2}}, \quad (2)$$

где  $S_{x1}; S_{x2}$  — площади частей поперечного сечения, разделенного границей вертикального течения металла;

$S_{t1}; S_{t2}$  — те же площади в плоскости выхода предыдущего очага деформации;

$$\lambda_x = \left( \frac{H_{14}}{h_1|_{y=B_3} - h_2|_{y=B_2}} \right)^{\alpha_1 + 1}, \quad (3)$$

где

$$\alpha_1 = \frac{\xi_{y4}}{\xi_{z4}};$$

$\lambda_x$  — коэффициент вытяжки в пределах очага деформации;

$H_{t4}$  — высота четвертой зоны в плоскости выхода предыдущего очага деформации;  
 $\xi_{y4}, \xi_{z4}$  — скорости деформации в направлении соответствующих осей;

$$h_2|_{y=B_2} = h_2|_{y=b_4}. \quad (4)$$

Неизвестные величины в этих уравнениях определены следующим образом. Согласно принятому допущению о пропорциональности поперечных скоростей деформации в первой зоне изменение коэффициента вытяжки по очагу деформации определено в виде

$$\lambda_x = \left( \frac{H_{t1}}{h|_{y=b_1}} \right)^{1-a}, \quad (5)$$

где  $H_{t1}$  — высота первой зоны в плоскости выхода предыдущего очага деформации;  
 $a$  — показатель уширения.

Изменение площади поперечного сечения очага деформации определено из уравнения

$$S = S_t \left( \frac{H_{t1}}{h|_{y=b_1}} \right)^{a-1}, \quad (6)$$

где  $S_t$  — площадь поперечного сечения в плоскости выхода предыдущего очага деформации.

В уравнении (2) площадь верхней части сечения очага деформации определена в виде

$$S_{x1} = \int_0^{bk} (h_1 - z_0) dy + \int_{bk}^b (h_1 - h_2) dy, \quad (7)$$

а нижней его части —

$$S_{x2} = S - S_{x1}. \quad (8)$$

В уравнении (7) аппликата границы раздела вертикального течения металла в очаге деформации определена из условия

$$v_z|_{z=z_0} = 0, \quad (9)$$

а ширина очага деформации в точке пересечения границы вертикального течения металла с поверхностью валков

$$b_k = b,$$

если выполняется условие

$$h_2|_{y=b} \leq z_0|_{y=b},$$

в противном случае  $b_k$  определяется из условия

$$h_2|_{y=b_k} = z_0|_{y=b_k}.$$

Граница выхода металла из очага деформации определена из известного условия несжимаемости с учетом граничных условий сстыковки пластической зоны и жесткого конца, которые характеризуются отсутствием поперечных скоростей деформации. В рамках принятых допущений граница выхода металла совпадает с плоскостью поперечного сечения, абсцисса которой определена из уравнения

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} \Big|_{x=x_1} = 0. \quad (10)$$

Из анализа известной методики определения границы входа и возможного метода определения абсциссы плоскости входа по изменению объема очага деформации разработан новый метод расчета абсциссы плоскости входа по изменению накапливаемого объема подачи, вытесняемого по высоте в процессе обжатия, позволяющий, во-первых, более точно определить начальное приближение исходного конуса деформации при расчете технологических параметров процесса по известной методике, а, во-вторых, непосредственно рассчитать технологические параметры, если граница входа может быть принята совпадающей с плоскостью поперечного сечения. В работе показано, что при шаговой прокатке фланцевых профилей возможно использование нового метода по второму варианту, позволяющему значительно сократить затраты машинного времени при его численной реализации на ЭВМ. Согласно новому методу абсцисса плоскости входа определена из решения системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{n1} = \int\limits_{x_0}^{x_3} S(x) dx; \\ \int\limits_{B_0}^{B_0} \int\limits_{x_3 - m_1}^{x_3} h(x, y) dx dy = \frac{m_1}{x_1 - x_0} \int\limits_0^{B_0} \int\limits_{x_0}^{x_1} h(x, y) dx dy, \end{array} \right. \quad (11)$$

где  $m_1 = m_0 - \int\limits_0^t (v_1 - v_0) dt;$

$$V_{n1} = m_1 S_{3,};$$

$m_0$  — начальное значение накапливаемой величины подачи;

$S_{3,}$  — площадь поперечного сечения исходной заготовки;

$x_3$  — абсцисса сечения, отстоящего от сечения входа на таком расстоянии, что между ними укладывается накопленный объем подачи;

$B_0$  — ширина исходной заготовки;

$m_1$  и  $V_{n1}$  — текущие значения накопленных величины подачи и объема подачи.

Начальное значение накапливаемой величины подачи определено минимальным числом подач, необходимым для заполнения очага деформации, рассматриваемого с момента первого касания исходной заготовки с поверхностью валков и удовлетворяющего условия захвата.

Кинематические параметры очага деформации определены для каждой зоны поперечного сечения из решения известного дифференциального уравнения условия несжимаемости

$$\frac{\partial u_{xj}}{\partial x} + \frac{\partial u_{yj}}{\partial y} + \frac{\partial u_{zj}}{\partial z} = 0, \quad (12)$$

записанного с учетом принятых допущений:

$$u_{x1} = u_{x2} = \dots = u_{xj} = u_x; \quad (13)$$

$$u_{xij}^k = u_{xj}; u_{yij}^k = u_y; \quad (14)$$

$$u_{zj} = u_{z1j}^k - \frac{u_{z1j}^k - u_{z2j}^k}{h_1 - h_2} (h_1 - z) \quad (15)$$

и кинематического контактного условия, из которого следует, что

$$v_{zij}^{\kappa} = \left( v_{xij}^{\kappa} - v'_{xi} \right) \frac{\partial h_i}{\partial x} + v_{yij}^{\kappa} \frac{\partial h_i}{\partial y} + v'_{zi}, \quad (16)$$

где штрихом обозначены составляющие вектора скорости контактной поверхности каждого вала.

Для первой зоны, лежащей в интервале изменения  $y[0, b_1]$ , где  $b_1$  задана в окрестности оси симметрии профиля, из уравнения (12) с учетом равенства (16), а также принятых допущений (13)...(15) и

$$\frac{\partial v_{y1}}{\partial y} = -a \frac{\partial v_{z1}}{\partial z} \quad (17)$$

рассчитана продольная скорость течения металла в виде решения линейного дифференциального уравнения первого порядка, в котором постоянная интегрирования определена из граничного условия

$$v_x|_{x=x_y} = v'_{xi}|_{x=x_y}, \quad (18)$$

где  $x_y$  — абсцисса критического сечения.

Остальные составляющие поля скоростей определены из решения вышеуказанных уравнений.

Для второй зоны, лежащей в интервале изменения  $y[b_1, b_2]$ , где  $b_2$  определена в виде

$$b_2 = \begin{cases} B_2, & \text{если } B_3 \geq B_2; \\ B_3, & \text{если } B_3 < B_2, \end{cases} \quad (19)$$

из уравнения (12) с учетом соотношений (13)...(16) рассчитана поперечная горизонтальная скорость течения металла в виде решения уравнения аналогичного вышеописанному, в котором постоянная интегрирования определена из граничного условия состыковки зон

$$v_{y2}|_{y=b_1} = v'_{yi}|_{x=b_1}. \quad (20)$$

Для остальных зон поперечного сечения очага деформации кинематические параметры определены аналогично второй зоне с учетом наличия свободных поверхностей.

Вышеупомянутые геометрические и кинематические параметры очага деформации записаны с точностью до абсциссы критического сечения и по-

казателя уширения. Для их определения использованы основные уравнения энергетической теории. Величина сопротивления деформации, входящая в эти уравнения, определена по методике кафедры прокатки ЧГТУ, учтена мощность, затрачиваемая на преодоление осевых сил сопротивления перемещению заготовки. При расчете принят закон трения Амонтона-Кулона, нормальные контактные напряжения определены на каждом валке с использованием энергетического метода и теоремы о среднем. Усилия в кинематических звеньях привода валков стана ПК определены по известной методике с учетом осевых усилий, действующих на валок со стороны заготовки. Показано, что полученные по разработанной математической модели результаты расчета полностью согласуются с результатами других исследователей.

#### 4. Экспериментальные исследования шаговой прокатки фасонных профилей

Экспериментальные исследования шаговой прокатки фасонных профилей проведены по двум направлениям. По первому направлению исследованы технологические возможности получения фасонных профилей шаговой прокаткой и проверены различные варианты калибровок валков. Результаты этих исследований использованы при разработке методики построения и расчета основных параметров калибровки валков. По второму направлению проверена адекватность результатов расчета калибровки валков и технологических параметров процесса экспериментальным данным.

Экспериментальные исследования осуществлены на опытном стане ПК 120, разработанном на кафедре прокатки и в проблемной лаборатории НТПП Челябинского государственного технического университета. Возможность получения фасонных профилей на стане ПК исследована совместно с предприятием п/я М-5481, для чего из номенклатуры производства фасонных профилей предприятия были отобраны пять групп, содержащих все элементы крупногабаритных профилей. Калибровка валков рассчитывалась на основе теоретических и экспериментальных исследований получения сортовых профилей простой формы на стане ПК. Для обеспечения прямолинейности выхода проката использованы рекомендации по нахождению положения нейтральной линии калибра при обычной прокатке. Результатами опытной прокатки подтверждена технологическая возможность применения процесса шаговой прокатки для производства фасонных профилей, а на основании проведенных исследований сформулированы основные требования, предъявляемые к калибровке валков:

- технологичность изготовления инструмента;
- использование заготовки простой формы поперечного сечения;
- центрирование заготовки по ширине калибра;
- одновременный захват заготовки валками без возникновения на ней изгибающего момента;

- качественное калибрование получаемого профиля;
- определенное положение уровней задачи заготовки и выдачи проката;
- минимально возможное по величине осевое перемещение заготовки в процессе деформации на станинах с приудительной подачей задающим устройством или требуемое — на станинах с подачей заготовки валками;
- гарантированное необходимое раскрытие валков для подачи заготовки.

Сравнение экспериментальных и теоретических данных проведено по размерам получаемого конуса деформации и по величине усилия, действующего на валок при рабочем цикле шаговой прокатки. Эти параметры выбраны потому, что они являются интегральными характеристиками совокупности мгновенных очагов деформации и могут быть достаточно точно и просто зарегистрированы при прокатке и замерены на образцах.

Экспериментальные исследования осуществлены при горячей прокатке со свободным уширением трех типоразмеров крестообразных профилей из стальных заготовок круглого поперечного сечения различных диаметров. Для облегчения настройки калибра, повышения точности проката, сокращения времени перевалки разработана конструкция вкладышей валков, обеспечивающая быстрый переход с прокатки одного профиля на другой путем замены деформирующего инструмента без последующей настройки фасонного калибра.

Сравнение экспериментальных данных, полученных после расшифровки осцилограмм и произведенных замеров, с результатами расчетов по разработанным программам, показали удовлетворительную сходимость, на основании чего рекомендовано использование разработанной программы расчета калибровки валков при проектировании новой технологии шаговой прокатки фланцевых профилей.

## 5. Практическое применение результатов работы

Теоретические и экспериментальные исследование процесса шаговой прокатки сортовых и фасонных профилей послужили основой для создания опытно-промышленных станин ПК 350 (УПРЗ 120/20), ПКУ 175 и ПК 120М с целью отладки оборудования и освоения новой технологии.

Проектная документация на стан ПК 350 разработана ЧГТУ совместно с предприятием п/я М-5481. Стан ПК 350 предназначен для производства горячекатанных сортовых профилей с размерами поперечного сечения 20...100 мм, полосы — 5...50×50...120 мм и фасонных профилей — 20...100×50...120 мм из круглой или квадратной заготовки с размерами поперечного сечения 50...120 мм, длиной 1000...2000 мм из различных марок сталей и сплавов. Годовой экономический эффект от внедрения стана на предприятии п/я М-5481 составлял 449311 рублей в ценах до 1990 года за счет экономии металла, повышения производительности труда и освобож-

дения от приплат за поставку малотоннажных партий проката при переходе на унифицированную заготовку.

С целью экономии металла и повышения производительности труда в инструментальном и заготовительном производстве машиностроительных заводов на кафедре прокатки ЧГТУ разработана технология производства сортовых и фасонных профилей на малогабаритных станах шаговой прокатки и рабочая документация на два типоразмера станов ПКУ 175 и ПК 120М. Рабочая документация на стан ПКУ 175 была передана предприятию п/я А-1125 и МП "Сибирский дом 2000" (г. Омск), а на стан ПК 120М — ПО "Завод им. Малышева" (г. Харьков), ПО "УралАЗ" (г. Миасс) и УКВЗ (г. Усть-Катав). Суммарный годовой экономический эффект от внедрения станов ПК 120М на трех заводах составлял 132190 рублей в ценах до 1990 года.

### **Заключение**

1. Анализ современного состояния производства показал, что машиностроительные предприятия испытывают потребность в мелких партиях сортовой стали в широком диапазоне маркoprofilеразмеров. Одним из путей решения проблемы является организация в условиях металлургического или машиностроительного заводов заготовительного участка с использованием процесса шаговой прокатки.

2. Станы шаговой прокатки с приводными жестко синхронизированными рабочими валками обеспечивают высокую гибкость и маневренность при производстве различных профилеразмеров, просты по конструкции, компактны и универсальны.

3. Результатами опытной прокатки пяти групп фасонных профилей, содержащих все элементы крупногабаритных (свыше 40 мм) профилей, подтверждена технологическая возможность применения процесса шаговой прокатки для производства фасонных профилей и сформулированы основные требования, предъявляемые к калибровке валков.

4. На основе процесса шаговой прокатки разработана новая технология производства фланцевых профилей.

5. Для проектирования технологии разработана методика расчета калибровки валков для шаговой прокатки фланцевых профилей, которая включает методику определения основных параметров валков, удовлетворяющих сформулированным требованиям, и математическую модель процесса, использующую новый метод расчета продольных границ мгновенного очага деформации, и позволяет корректировать основные параметры валков и технологического процесса в зависимости от степени заполнения металлом чистового калибра в конце рабочего цикла шаговой прокатки.

6. Разработан алгоритм, составлена и реализована на ЭВМ программа расчета калибровки валков для шаговой прокатки фланцевых профилей.

7. Сравнением с опубликованными результатами других исследователей и экспериментальными данными подтверждена достоверность получаемых по разработанной программе результатов расчета.

8. Результаты проведенных исследований использованы при разработке технической документации на опытно-промышленные станы ПК 350 (УПРЗ 120/20), ПК 120М и ПКУ 175.

9. Определены перспективы развития шаговой прокатки фасонных профилей. Разработаны на уровне изобретений новые конструкции станов и новый способ шаговой прокатки.

10. Годовой экономический эффект от внедрения стаи ПК 350 (УПРЗ 120/20) на предприятии п/я М-5481 составлял 449311 руб., трех станов ПК 120М на ПО "Завод им. Малышева", ПО "УралАЗ" и УКВЗ — 132192 руб. в ценах до 1990 года.

#### **Основное содержание диссертации опубликовано в работах:**

1. Стан прокатки-ковки ПК 300 для производства сортовых заготовок и полос / В.Н.Выдрин, Е.Н.Березин, Г.И.Коваль, В.С.Нестеренко, А.Р.Бежанян, Л.К.Палкичев // Новые технологические процессы и оборудование сортопрокатного производства: Тезисы докладов. — Свальовск, 1983. — С.33.

2. Типовой участок прокатки-ковки для машиностроительных заводов / В.Н.Выдрин, Е.Н.Березин, А.Б.Гросман, В.Н.Симовских, А.А.Гордеев, А.Р.Бежанян // Новые технологические процессы прокатки, интенсифицирующие производство и повышающие качество продукции: Тезисы докладов. — Челябинск: ЧПИ, 1984. — Ч.I. — С. 19...20.

3. Прокатка-ковка фасонных профилей / Е.Н.Березин, А.Б.Гросман, В.Н.Симовских, А.Р.Бежанян, В.С.Нестеренко, А.А.Гордеев // Новые технологические процессы прокатки, интенсифицирующие производство и повышающие качество продукции: Сборник докладов всесоюзной научно-технической конференции. — Челябинск: ЧПИ, 1985. — С.30...35.

4. Бежанян А.Р. Кинематика очага деформации процесса ПК полос // Теория и технология прокатки: Сборник трудов. — Челябинск: ЧПИ, 1987.— С.31...36.

5. Бежанян А.Р. Математическая модель процесса прокатки-ковки (ПК) фасонных профилей с одной осью симметрии в двухвалковом калибре // Теоретические проблемы прокатного производства: Тезисы докладов. — Днепропетровск, 1988. — Ч.І. — С.230...231.

6. Бежанян А.Р. Передняя и задняя границы мгновенного очага деформации при ПК на гладкой бочке // Новые технологические процессы прокатки как средство интенсификации производства и повышения качества продукции: Тезисы докладов. — Челябинск: ЧПИ, 1989. — Ч.І. — С.46...47.

7. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния при прокатке-ковке / В.Н.Выдрин, Г.И.Коваль, А.Р.Бежанян, Т.Л.Самохвалова. — М., 1989. — 48 с. — Деп. в Черметинформации 30.01.89, № 4941-ЧМ89.

8. Применение новых способов и станов шаговой прокатки для получения заготовок и профилей / Г.И.Коваль, В.Г.Дремин, И.А.Коппель, А.Р.Бе-

жанян // Проблемы повышения качества металлопродукции по основным переделам черной металлургии: Тезисы докладов. — Днепропетровск, 1989.

9. Выдрин В.Н., Коваль Г.И., Гросман А.Б., Симовских В.Н., Бежанян А.Р. Экспериментальное исследование процесса прокатки-ковки с попараллельным обжатием // Изв. Вузов. Машиностроение. — 1989. — № 7. — С.113...115.

10. Бежанян А.Р. Положение продольных границ мгновенного очага деформации при ПК фасонных профилей в двухвалковом калибре // Теория и технология прокатки: Сборник трудов. — Челябинск: ЧПИ, 1989. С.39...48.

11. Бежанян А.Р. Математическая модель расчета калибровки валков при ПК фланцевых профилей // Математическое моделирование технологических процессов обработки металлов давлением: Тезисы докладов. — Пермь, 1990. — С.67...68.

12. А.С. 1623809 СССР. Прокатно-ковочный стан / В.Н.Выдрин, В.Г.Дремин, И.А.Коппель, Г.И.Коваль, А.Р.Бежанян // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 4.

13. А.С. 1699668 СССР. Прокатно-ковочный стан / А.Р.Бежанян, Г.И.Коваль, В.Г.Дремин, И.А.Коппель // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 47.

14. Патент 2037346 РФ. Способ шаговой прокатки / А.Р.Бежанян, Г.И.Коваль, В.Г.Дремин // Открытия. Изобретения. — 1995. — № 17.

15. Новые опытные станы шаговой прокатки ШП 150 и ШПУ 160, их разработка и исследование / Г.И.Коваль, В.Г.Дремин, А.Р.Бежанян, С.А.Александров, Т.Г.Плюснина, А.В.Сычев // Проблемы развития металлургии Урала на рубеже ХХI века: Тезисы докладов. — Магнитогорск, 1996.

Издательство Челябинского  
государственного технического университета

ЛР № 020364 от 20.01.92. Подписано в печать 20.02.97. Формат  
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд. л. 0,99.  
Тираж 100 экз. Заказ 51 / 80 .

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