

На правах рукописи

ИОНОВА ОЛЬГА ВЯЧЕСЛАВОВНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА  
ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ НА ОСНОВЕ  
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТОМ

Специальность 05.02.23 – Стандартизация и управление  
качеством продукции (металлургия)

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Магнитогорск - 2006

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Научный руководитель кандидат технических наук,  
профессор  
Шемшурова Нина Георгиевна

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор  
Чукин Михаил Витальевич

кандидат технических наук,  
доцент  
Голубчик Эдуард Михайлович

Ведущая организация: ОАО «Магнитогорский ГИПРОМЕЗ»

Защита состоится 27 декабря 2006 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета К 212.111.03 в ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, ГОУ ВПО «МГТУ», малый актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Автореферат разослан «25» ноября 2006 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета

 Михайловский И.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы.

Гнутые профили – один из наиболее экономичных видов проката, сочетающий высокие механические характеристики с относительно небольшой металлоемкостью. Этим объясняется востребованность гнутых профилей в машиностроении, промышленно-гражданском и дорожном строительстве, в производстве товаров народного потребления. Требования к качеству постоянно возрастают, что вынуждает производителей постоянно совершенствовать технологию профилирования и нормативную документацию с целью получения гнутых профилей с высокими эксплуатационными свойствами при постоянном снижении затрат на их производство.

Долговечность конструкций во многом зависит от марки стали и механических свойств гнутых профилей, а также от условий их эксплуатации. Поэтому представляется актуальным исследование взаимосвязи между показателями качества гнутых профилей и отдельными параметрами процесса профилирования с одной стороны и эксплуатационными свойствами конструкций из данных профилей – с другой. Это особенно важно при использовании в качестве подката высокопрочных, но малопластичных низколегированных марок стали, склонных к трещинообразованию в процессе изготовления гнутых профилей.

**Цель и задачи работы.** Целью работы является обеспечение требуемого уровня качества сортовых гнутых профилей на основе совершенствования технологии профилирования и эффективного управления нормативной документацией.

Для достижения этой цели поставлены и решены следующие задачи:

– выявлена номенклатура эксплуатационных показателей качества сортовых холодногнутой профилей путем анализа существующей нормативной базы, производственной и эксплуатационной информации с учетом требований как СН и П, так и потребителей;

– выполнена оценка качества холодногнутой швеллеров с учетом эксплуатационных показателей и определены эффективные направления повышения уровня их качества;

– усовершенствована методика расчета давления металла на валки при профилировании металлопроката из малопластичных марок стали с учетом пластического обжатия мест изгиба;

– адаптирован к условиям цеха гнутых профилей ОАО «ММК» алгоритм автоматизированной системы управления документооборотом на базе стратегии CALS;

– разработан проект стандарта организации на сортовые холодногнутые профили с учетом требований ГОСТ Р ИСО серии 9000-2001.

**Научная новизна** заключается в следующем:

– усовершенствована методика расчета давления металла на валки при профилировании заготовки из малопластичных марок стали, отличающаяся учетом энергосиловых параметров на пластическое обжатие мест изгиба;

– разработана методика определения прочности холодногнутых профилей, отличающаяся учетом степени деформации пластического обжатия мест изгиба в процессе профилирования заготовки из малопластичных марок стали с целью предотвращения трещинообразования;

– модернизирована методика оценки качества сортовых гнутых профилей, отличающаяся тем, что включает помимо показателей качества, нормируемых нормативными документами, такие эксплуатационные показатели, как прочность и хладостойкость конструкций из гнутых профилей, нормируемых СН и П.

**Практическая ценность** работы состоит в следующем:

– разработаны рекомендации и методика по прогнозированию эксплуатационных показателей прочности и хладостойкости гнутых профилей, позволяющие расширить область использования их в машиностроении и строительстве;

– усовершенствована технология профилирования низколегированных марок стали, позволяющая предотвратить трещинообразование и интенсифицировать процесс;

– разработан проект стандарта организации на технические условия «Профили стальные холодногнутые», внедрение которого позволяет более корректно регламентировать требования, предъявляемые к данному виду продукции, уменьшает объем нормативной документации, облегчает ее актуализацию, позволяет внедрить автоматизированную систему управления документооборотом в рамках СМК ЛПЦ-7 ОАО «ММК»;

– адаптирован к СМК ЛПЦ-7 ОАО «ММК» алгоритм автоматизированной системы управления документооборотом на базе стратегии CALS.

Результаты диссертационной работы внедрены в ЛПЦ-7 ОАО «ММК», проект СТО одобрен бюро стандартизации и сертификации технического отдела ОАО «ММК».

Разработанные методики используются в учебном процессе МГТУ им. Г.И. Носова при подготовке инженеров по специальности 200503 – «Стандартизация и сертификация (в металлургии)» и 150106 – «Обработка металлов давлением».

**Апробация работы.** Материалы, составляющие основное содержание работы, докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях по результатам научно-исследовательских работ в МГТУ им. Г.И. Носова (2003-2006 г. г.); Межрегиональной научно-практической конференции «Молодежь Сибири – науке России» - г. Красноярск, 2003 г.; Межрегиональной научно-практической конференции «Системы качества и их метрологическая поддержка: от преподавания к сертификации» - г. Пенза, 2005 г.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 1 – в рецензируемом издании.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 20 таблиц, 18 рисунков и состоит из введения, 4 глав и 5 приложений. Библиографический список включает 101 наименование.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** показаны актуальность и область применения сортовых холодногнутых профилей.

**В первой главе** выполнен анализ нормативной документации на холодногнутые профили и причин трещинообразования при профилировании, определены задачи исследований.

Объектом исследования являются холодногнутые профили, производимые на профилегибочном агрегате (ПГА) 2-8х100-600 ОАО «ММК» в результате холодной деформации полосового металла мерной длины в калиброванных валках методом постепенногогиба.

Показано, что наблюдается тенденция возрастания доли горячекатаного проката из низколегированных марок стали, используемого в качестве подката для профилирования. Он имеет высокие прочностные свойства, но пониженные пластические свойства, в связи с этим повышается вероятность трещинообразования на внешней поверхности профилей в местах изгиба при профилировании.

Проблема трещинообразования при профилировании освещена в работах И.С. Тришевского, А.П. Антипенко, Е.Г. Полостянкина, В.Г. Антипанова, С.А. Тулупова, В.Л. Корнилова, В. Энгельгардта, Е. Гриффина, Г. Мекельта и других.

Одним из действенных способов профилактики и снижения трещинообразования является обжатие мест изгиба при профилировании, которое изменяет схему линейного растяжения наружных слоев металла в месте изгиба на более благоприятную. Но при этом увеличиваются энергозатраты на профилирование.

Выполнен анализ существующих методик определения энергосиловых параметров процесса профилирования металла. Известны методики расчета И.С. Тришевского, М.Е. Докторава, В.Б. Калужского, А.З. Комановского, В.Н. Бороденко, В.Ф. Гарбуза и др. Установлено, что методика И.С. Тришевского наиболее приемлема, так как позволяет более корректно учесть исходные размеры профилируемой заготовки и технологические факторы процесса, такие как: радиус мест изгиба, механические свойства металла и режим профилирования, продольный и поперечный изгиб подгибаемых прямолинейных элементов.

Для повышения эффективности производства гнутых профилей необходимо знать «узкие места» в технологическом процессе, что можно сделать лишь оценив качество выпускаемой продукции.

Известные методики оценки уровня качества профилей, базирующиеся на информации о показателях, установленных в стандартах или технических условиях, представлены в работах Г.С. Гуна, Н.Г. Шемшуровой, Е.А. Пудова, Г.Ш. Рубина, Д.С. Осипова, В.А. Пухальского, В.А. Арсеньева, А.Д. Никифорова, В.Г. Жадана, В.А. Маневича.

Однако до настоящего времени не уделялось должного внимания связи эксплуатационных характеристик (прочности, хладостойкости) с механическими свойствами заготовки, отсутствовала методика оценки энергосиловых параметров процесса профилирования с использованием пластического обжатия мест изгиба.

**Во второй главе** методом квалитметрического анализа выполнена оценка качества гнутых швеллеров, выпускаемых в цехе гнутых профилей (ЛПЦ-7) ОАО «ММК»

Совокупность потребительских свойств сортовых гнутых профилей, сформированных по закономерностям, характерным для всего класса гнутых профилей, представлена в виде «дерева свойств» (номенклатура показателей качества).

Помимо геометрических показателей при оценке качества гнутых равнополочных швеллеров были выбраны показатели механических

свойств заготовки, а также эксплуатационные показатели прочности и хладостойкости готовых профилей.

Для оценки прочности конструкций из сортовых гнутых профилей относительный показатель прочности ( $\Pi_{\text{проф.}}$ ), удовлетворяющий критериям конструктивной прочности, определяли по формуле:

$$\Pi_{\text{проф.}} = \frac{W_{\text{проф.}} \cdot \sigma_{\text{Впроф.}}}{W_{\text{баз.}} \cdot \sigma_{\text{Вбаз.}}},$$

где  $W_{\text{баз.}}$ ,  $W_{\text{проф.}}$  – момент сопротивления профилей соответственно стандартного и полученного с использованием пластического обжатия мест изгиба (по ГОСТ 8273-83  $W_{\text{проф.}} = 101,79 \text{ см}^3$ );

$\sigma_{\text{Вбаз.}}$ ,  $\sigma_{\text{Впроф.}}$  – временное сопротивление разрыву профилей соответственно стандартного и полученного с пластическим обжатием мест изгиба (по ГОСТ 8278-83  $\sigma_{\text{Впроф.}} = 440 \text{ Н / мм}^2$ ).

При этом

$$\sigma_{\text{Вбаз.}} = k_1 \cdot \sigma_{\text{Вбаз.}}; \quad \sigma_{\text{Впроф.}} = \sigma_{\text{Вбаз.}} \cdot k_2,$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, учитывающие деформационное упрочнение соответственно при профилировании и от обжатия места изгиба, определяемые из регрессионной зависимости  $\sigma_i = f(\varepsilon_i)$ .

Интенсивность напряжений  $\sigma_i$  определяли согласно гипотезе единой кривой из испытаний на растяжение.

Для стали марки 09Г2 (количество образцов  $n=32$ ):

$$\sigma_i = 410,86 + 673,06 \cdot \varepsilon_i^2 - 762,53 \varepsilon_i^3 \quad (1)$$

(коэффициент корреляции  $r=0,9096=0,91$ ; достоверность аппроксимации  $R^2=0,988$ ).

Значимость коэффициента корреляции проверяли путем сравнения абсолютной величины полученного коэффициента корреляции, умноженной на  $\sqrt{n-1}$ , с его практическими значениями при заданной надежности вывода  $P$ .

$$|r| \cdot \sqrt{n-1} = H; \quad 0,91 \cdot \sqrt{31} = 5,067;$$

$H_{эмп.} = 5,067$  – эмпирическое значение  $H$  значительно превосходит  $H_{критич.} = 3,083$  при надежности  $P = 0,999$ , следовательно коэффициент корреляции  $r = 0,91$  является значимым.

С надежностью 99% доверительные границы коэффициента генеральной совокупности составляют (0,780...0,967).

Нижняя граница также является значимой, т.к.:

$$|0,78| \cdot \sqrt{31} = 4,34 > H_{критич.}(P=0,999) = 3,083.$$

Место изгиба за счет пластического обжатия профиля 180x80x6,0 мм из стали марки 09Г2 упрочняется в среднем на 3,0%.

$\Pi_{проф.}$  учитывает изменение прочности швеллера за счет учета деформационного упрочнения швеллера и за счет пластического обжатия мест изгиба при профилировании.

Показатель прочности для гнутого профиля  $\Pi_{проф.} = 2,23 - 2,39$ .

Расчет показателя хладостойкости был проведен по методике Э.Л. Шаповалова, используемой в инженерно-строительных расчетах, и составил  $K_{хх} = 1,4$ .

Значения  $\Pi_{проф.}$  и  $K_{хх}$  больше единицы, следовательно, по данным показателям оцениваемый профиль выше базового в соответствии со СН и П.

Для оценки качества был выбран равнополочный гнутый швеллер 180x80x6,0 мм из стали марки 09Г2, как наиболее востребованный.

Оценка была выполнена по доверительным интервалам и по предельным значениям единичных показателей качества. Результаты оценивания показали, что наиболее проблемным показателем является «относительное удлинение» (низкая оценка:  $q_i = 0,7$  [по предельным значениям] и  $q_i = 0,82$  [по доверительному интервалу] при высоком коэффициенте весомости:  $M_i = 0,08$  при наличии 14 показателей). То есть, одним из эффективных направлений повышения качества профилей из низколегированных марок стали является разработка мероприятий, направленных на предотвращение трещинообразования при профилировании путем управления степенью деформации. Анализ данных по браку при производстве гнутых профилей за период 2003-2005 гг. подтвердил



полученные результаты: брак по трещинам составлял 30-38% от общего объема брака.

**В третьей главе** представлено обоснование необходимости совершенствования производства холодногнутых профилей из малопластичных марок стали в условиях ПГА 2-8x100-600. На основе проведенного в первой главе анализа существующих методик определения энергосиловых параметров процесса профилирования металла усовершенствована методика расчета суммарного давления металла на валки при профилировании с одновременным пластическим обжатием мест изгиба.

Одним из мероприятий, позволяющих предотвратить трещинообразование заготовки при профилировании, является пластическое обжатие мест изгиба. При этом величина обжатия должна быть достаточной для создания в месте изгиба заготовки схемы, близкой к схеме всестороннего сжатия, но при этом не приводить к значительному утонению металла, что, в свою очередь, ухудшает эксплуатационные свойства готового профиля.

Согласно известному техническому решению степень обжатия места изгиба должна составлять  $\varepsilon = (8 - 12)\%$ . Степень деформации не может превышать 12%, так как при этом значительно уменьшится толщина полосы в месте изгиба, что приведет к снижению жесткости профиля, особенно это касается заготовки малых толщин ( $S_0 = 2,0 - 3,0$  мм).

Известная зависимость между толщиной заготовки  $S_0$  и степенью пластического обжатия мест изгиба (верхняя прямая на рис. 1) носит линейный характер, но она дает завышенные результаты. Причем,  $\varepsilon$  принимает наибольшие значения при наименьших толщинах. Учитывая характер изменения степени обжатия и граничные условия, скорректирована данная зависимость. Она имеет вид (см. рис. 1, нижняя прямая):

$$\varepsilon = 13,33 - 0,67 \cdot S,$$

где  $S$  – толщина профиля в месте изгиба с учетом утонения, мм.

Для швеллера толщиной  $S_0 = 6,0$  мм степень обжатия составляет при расчете по предложенной формуле 9,3%. При этом абсолютное обжатие составляет  $\Delta h = 0,556$  мм, что хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Суммарное давление металла на валки при профилировании с учетом пластического обжатия мест изгиба может быть определено следующим образом:

$$P = 2P_k \cos \alpha_c \cos \beta + P_h + P_{n.o.},$$

где  $P$  – суммарное давление металла на валки;  
 $\alpha_c$  – суммарный угол подгибки;  
 $\beta$  – угол отклонения направления сил  $P_k$  от осевой плоскости валков;  
 $R_{он}$  – основной радиус нижнего валка;  
 $R_{ос}$  – основной радиус верхнего валка;  
 $f_k, f_c$  – соответственно коэффициенты трения качения с проскальзыванием и трения скольжения:  $f_k = (0,20 - 0,22) f_c$ ;  
 $P_{\kappa}, P_h$  – составляющие суммарного давления металла на цилиндрический и конический элементы валка соответственно;  
 $P_{n.o.}$  – составляющая давления металла на валки за счет пластического обжатия мест изгиба.

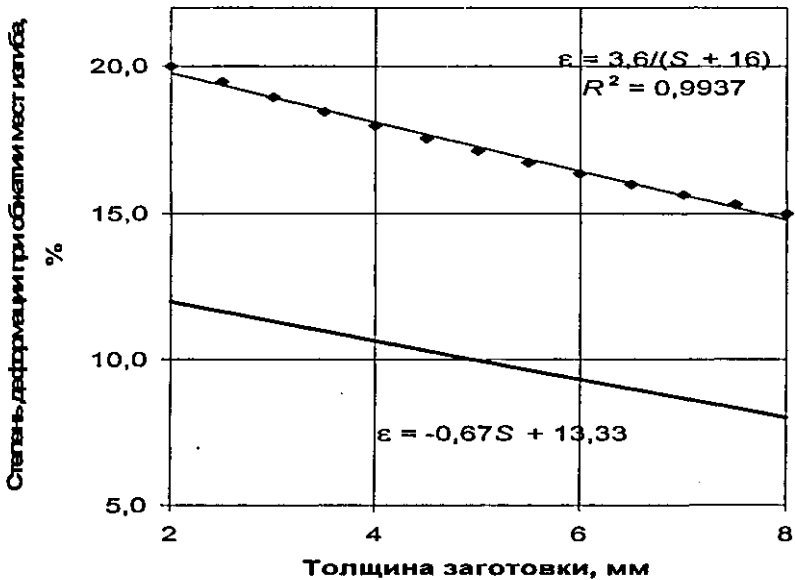


Рис. 1. К определению степени деформации  $\varepsilon$  при обжатии мест изгиба

$$P_k = \int_c^b p_{bx} \frac{\sqrt{E \cdot S_0^3 \cdot \alpha \cdot M_u^3}}{1,6852} \cdot \ln \frac{b}{c} + 0,09933 \cdot \frac{E \cdot S_0^3 \cdot \alpha \cdot \sqrt{b^2 \cdot \alpha^2 / S_0^2}}{b^4} \cdot (b^3 - c^3);$$

$$P_h = \int_c^{b-c} p_{hx} dx = \frac{1,187 \cdot \sqrt{E \cdot S_0^3 \cdot \alpha \cdot M_u^3}}{\sqrt[4]{b}} \ln \frac{b-c}{c},$$

где  $E$  – модуль упругости профилируемого металла;  
 $b$  – ширина подгибаемой полки;  
 $M_u$  – изгибающий момент;  
 $\alpha$  – угол подгибки в данном проходе;  
 $c$  – проекция половины криволинейного участка профиля на ось  $ox$ ;

$S_0$  – толщина полосы.

$$M_u = \frac{1}{2} \left\{ \frac{S_0^2}{4} \cdot [\sigma_T \cdot (1 - \frac{\Pi}{E}) \cdot (1 - \frac{4 \cdot \sigma_T \cdot \bar{\rho}^2}{3 \cdot E^2})^2 + \frac{\Pi}{3 \cdot \bar{\rho}}] + \frac{\sigma_T \cdot S_0^2}{6} \right\},$$

где  $\Pi$  – модуль упрочнения;  
 $\sigma_T$  – предел текучести металла;  
 $\bar{\rho}$  – относительный радиус нейтрального слоя места изгиба в осевой плоскости валков.

Для обеспечения пластического обжатия мест изгиба при профилировании нижний валок снабжают наклонными площадками, соединяющими центральный элемент с боковыми коническими элементами.

$$P_{n.o.} = p_{cp} \cdot F,$$

где  $p_{cp}$  – среднее удельное давление;  
 $F$  – площадь контактной поверхности (проекция действительной поверхности соприкосновения металла с элементами валков на горизонтальную плоскость).

Площадь контактной поверхности:

$$F = B \cdot l,$$

где  $B$  – ширина наклонной площадки нижнего валка;  
 $l$  – длина очага деформации в месте изгиба.

$$p_{cp} = \beta \cdot \sigma_T \cdot \frac{2 \cdot h}{\Delta h \cdot (\delta - 1)} \cdot \left(\frac{h_v}{h}\right) \cdot \left[\left(\frac{h_v}{h}\right)^\delta - 1\right] \cdot B \cdot l,$$

$$\delta = \frac{f_y}{t_g^{(\alpha/2)}}; \quad \frac{h_v}{h} = \left\{ \frac{1 + \sqrt{1 + (\delta^2 - 1) \cdot (H/h)^\delta}}{\delta + 1} \right\}^{1/\delta};$$

$$p_{cp} = \beta \cdot \sigma_T \cdot \eta_\sigma,$$

где  $\beta$  - коэффициент стеснения, учитывающий влияние среднего главного напряжения, для нашего случая принимаем  $\beta = 1,08$ ;

$\sigma_T$  - истинный предел текучести:

$$\sigma_T = (\sigma_{T_{исх}} + A \cdot \sqrt{\varepsilon}) \cdot k_c \cdot k_{ит},$$

где  $A$  и  $B$  - эмпирические коэффициенты;

$\varepsilon$  - относительное обжатие;

$\sigma_{T_{исх}}$  - предел текучести ненаклепанного металла;

$k_c$  - коэффициент, учитывающий схему нагружения, принимаем

$$k_c = 1,155;$$

$k_{ит}$  - температурно-скоростной поправочный коэффициент. Для профилированного агрегата принимаем  $k_{ит} = 1,1$ .

Для определения коэффициента напряженного состояния  $\eta_\sigma$  принимаем формулу Унксова:

$$\eta_\sigma = 1 + \delta \cdot \left[ \frac{2}{\varepsilon} \cdot (1 - \sqrt{1 - \varepsilon}) - 1 \right].$$

Окончательно формула для определения полного давления металла на валки при профилировании швеллера с использованием пластического обжатия мест изгиба имеет вид:

$$P = 2 \cdot \left( \frac{\sqrt[4]{E \cdot S_0^3 \cdot \alpha \cdot M_n^2}}{1,6852 \cdot \sqrt[4]{b}} \cdot \ln \frac{b}{c} + 0,09933 \cdot \frac{E \cdot S_0^3 \cdot \alpha \cdot \sqrt[4]{b^2 \cdot \alpha^2 / S_0^2}}{b^4} \cdot (b^3 - c^3) \cdot \cos \alpha_n \cdot \cos \beta + \right. \\ \left. + \frac{1,187 \cdot \sqrt[4]{E \cdot S_0^3 \cdot \alpha \cdot M_n^2}}{\sqrt[4]{b}} \cdot \ln \frac{b-c}{c} + \beta \cdot (1 + \delta \cdot [2/\varepsilon \cdot (1 - \sqrt{1 - \varepsilon}) - 1]) \times \right. \\ \left. \times (\sigma_{T_{исх}} + A \cdot \sqrt{\varepsilon}) \cdot k_c \cdot k_{ит} \cdot B \cdot l \right.$$

Одним из определяющих факторов при расчете давления металла на валки является величина сопротивления пластической деформации профилируемого металла ( $\sigma_T$ ), которая может меняться в широких пределах вследствие упрочнения металла, что необходимо учитывать в расчетах. В методиках УКРНИИМета его учитывают с помощью модуля упрочнения  $\Pi$ , [ $\Pi = (10 - 12)\sigma_T$ ], корректность результатов расчета которого вызывает сомнение, т.к. не учитывает распределение степени

упрочнения по клетям ПГА в зависимости от суммарного угла подгибки. Такой подход не позволяет учитывать истинную величину наклепа в каждой клетке. Поэтому предложено определять модуль упрочнения по формуле, предложенной в методике Н.М. Локотуниной:

$$\Pi = \frac{(\sigma_i)_i - \sigma_T}{(\varepsilon_i)_i},$$

где  $i$  – номер профилирующей клетки;

$\varepsilon_i$  – интенсивность деформации в  $i$ -ой клетке;

$\sigma_i$  – интенсивность напряжений в  $i$ -ой клетке.

Для стали марки 09Г2  $\sigma_T$  определяли по формуле (1).

Результаты лабораторного эксперимента позволили определить, что пластическое обжатие мест изгиба следует выполнять при суммарных углах подгибки 15-30° (2-я или 3-я клетки ПГА). При меньших углах подгибки профиль еще не имеет достаточной жесткости в условиях поштучного профилирования, а при больших углах подгибки места изгиба получают значительное упрочнение и дополнительное обжатие может привести к трещинообразованию.

Результаты расчета энергосиловых параметров процесса профилирования с пластическим обжатием мест изгиба представлены в табл. 1, из которой видно, что обжатие мест изгиба повышает давление металла на валки в 1,6-3,0 раза, что необходимо учитывать при проектировании режимов профилирования. Для ПГА 2-8x100-600 полученные значения не превышают значений, регламентированных паспортными данными ( $[R]=300$  кН).

Погрешность при расчете энергосиловых параметров процесса профилирования с использованием пластического обжатия мест изгиба по разработанной методике не превышает 3-11% по сравнению с данными, полученными ранее в работах В.Г. Антипанова и других авторов.

Установлено, что при профилировании с обжатием мест изгиба металла с низкими пластическими свойствами трещинообразование наблюдается при больших углах подгибки (в среднем на 10-25%), чем при обычном профилировании того же подката, что позволяет либо интенсифицировать процесс профилирования (уменьшить число клеток на 1-2), либо профилировать металл, у которого пластические свойства хуже на 15-25%.

Таблица 1

Результаты расчета энергосиловых параметров процесса профилирования гнутых равнополочных швеллеров с пластическим обжатием мест изгиба

Профиль, мм	Номер клетки	$P_{\text{сум.}}$ $H$	$M_{\text{изг.}}$ $H \cdot M$	$M_{\text{в.в.}}$ $H \cdot M$	$M_{\text{н.в.}}$ $H \cdot M$	$P_{\text{пл.об.}}$ $H$	$P_{\text{сум. пл.об.}}$ $kH$
80x50x4,0	2	23273,0	1,292	475,13	196,36	34510,0	57,783
	3	23339,0	1,421	476,48	250,44	45806,0	69,145
200x80x4,0	2	22792,0	1,292	461,92	187,76	34510,0	57,302
	3	22626,0	1,421	465,31	242,24	45806,0	68,432
180x80x6,0	2	47048,0	2,784	960,51	414,52	55139,0	103,187
	3	47587,0	3,014	971,51	532,32	65600,0	113,188
400x95x8,0	2	93267,0	5,168	1904,07	820,26	57248,0	150,515
	3	93654,0	5,586	1911,97	1063,89	79444,0	173,098

Примечание:  $P_{\text{сум.}}$  – суммарное давление металла на валки при профилировании;  $M_{\text{изг.}}$  – изгибающий момент;  $M_{\text{в.в.}}$ ,  $M_{\text{н.в.}}$  – крутящий момент соответственно на верхнем и на нижнем валках;  $P_{\text{пл.об.}}$  – давление металла на валки за счет пластического обжатия;  $P_{\text{сум. пл.об.}}$  – суммарное давление металла на валки при профилировании швеллера с применением пластического обжатия мест изгиба.

**Четвертая глава** посвящена совершенствованию нормативной базы эксплуатационных показателей сортовых гнутых профилей. Сформирован комплекс требований потребителей к их эксплуатационным характеристикам.

Для потребителей гнутых профилей важны такие показатели, как показатель прочности и хладостойкости, причем, последний показатель напрямую зависит от предыдущего.

В существующих в настоящее время стандартах на сортовые гнутые профили не установлены требования к прочности гнутых профилей, их поставляют по характеристикам заготовки, идущей на профилирование.

Проведенный анализ показал, что в процессе профилирования механические свойства заготовки по поперечному сечению профиля распределяются неравномерно и зависят от степени деформационного упрочнения отдельных участков профиля (от конфигурации и геометрических параметров профиля, режима формовки, химического состава стали. Наибольшее изменение (до 70 %) механических свойств происходит в местах изгиба: увеличиваются прочностные характеристики ( $\sigma_s$  и  $\sigma_T$ ) и уменьшаются пластические ( $\delta_s$ ). На плоских участках профилей, особенно на кромках полок, также наблюдается упрочнение металла.

Собран статистический материал за период 2004-2006 гг. в ЛПЦ-7 ОАО «ММК» по механическим свойствам равнополочного гнутого швеллера 50x50x4,0 мм из низколегированной стали марки 09Г2 (всего было отобрано 53 образца).

Из отобранных проб готового швеллера были нарезаны образцы для испытаний на растяжение и вырезаны элементы мест изгиба, которые также были подвергнуты испытаниям на растяжение, в результате которых получили фактические данные механических свойств мест изгиба швеллеров и самих готовых швеллеров. При этом учитывали механические свойства заготовки, число мест изгиба и геометрические размеры получаемого профиля. Рассчитывали статистические характеристики: математическое ожидание  $\bar{x}$  и доверительный интервал  $\bar{x} \pm 3\sigma$ .

Результаты испытаний приведены в табл. 2, из которой видно, что для гнутого швеллера в целом из стали марки 09Г2  $\sigma_r$  в 1,41-1,51 раза ниже,  $\sigma_b$  – в 1,25-1,31 раза ниже,  $\delta_5$  – в 1,32-1,39 раза выше, чем эти же характеристики в месте изгиба данного профиля.

Экспериментальное исследование механических свойств гнутого швеллера 50x50x4,0 мм из низколегированной стали марки 09Г2 показало, что при профилировании происходит несколько большее изменение значений свойств, чем показывают расчеты: прочностные свойства выросли в общем случае на 2,6-11,8%, а пластические – снизились на 4,0-8,7%, что, необходимо учитывать как при производстве, так и при эксплуатации гнутых профилей.

Большой объем конструкторской, технической и технологической документации, необходимой для производства гнутых профилей в условиях широкого сортамента, требует внедрения эффективной автоматизированной системы управления (АСУ) информационными потоками. При этом создание АСУ документооборотом в системе качества (АСУ Д СК) цеха гнутых профилей позволяет преодолеть организационные проблемы, связанные с большим объемом бумажной документации СК и обеспечением ее актуальности и достоверности.

В связи с этим предложено использовать функциональную схему автоматизированной системы управления документооборотом на базе стратегии CALS в качестве подсистемы в корпоративной информационной системе ЛПЦ-7 ОАО «ММК».

В АСУ Д СК ЛПЦ-7 ОАО «ММК» рекомендовано включить три подсистемы:

- информационно-поисковую подсистему управления документами СК, хранящимися в электронном виде (ИПС УД СК);

Таблица 2

Фактические характеристики механических свойств гнутого швеллера 50x50x4,0 мм из стали марки 09Г2

Характеристика механических свойств	Заготовка			Место изгиба швеллера			Уровень изменения свойств в месте изгиба, %	Гнутый швеллер			Уровень изменения механических свойств профиля в целом, % по отношению:	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x} \pm 3\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x} \pm 3\sigma$		$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x} \pm 3\sigma$	к месту изгиба гнутого швеллера	к заготовке гнутого швеллера
$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	461	1,9	455,3-466,7	621	2,2	614,6-627,6	31,7-37,8	485,3	2,1	479,0-491,6	25,0-31,0	2,6-8,0
$\sigma_t$ , Н/мм <sup>2</sup>	372	2,2	365,4-378,6	584,6	3,1	575,3-593,9	52,0-62,5	401,5	2,3	394,6-408,4	40,9-50,5	4,2-11,8
$\delta_5$ , %	52	0,2	51,4-52,6	36,1	0,15	35,65-36,55	40,6-47,55	48,9	0,17	48,39-49,41	32,4-38,6	4,0-8,7



- подсистему определения эффективности функционирования СК предприятия на основе анализа результатов проведения внутренних проверок системы качества (АСУ БД «Внутренние проверки СК»);

- подсистему управления данными по анализу несоответствий выпускаемой продукции (АСУ БД АНВП).

АСУ Д СК позволит:

- отделу качества цеха организовать и поддерживать в актуальном состоянии архивы нормативной документации и данных СК в электронном виде;

- обеспечить оперативный информационный обмен с конечными пользователями;

- обеспечить возможность работы специалистов всех служб цеха с нормативной документацией в электронном виде;

- автоматизировать процедуры формирования, учета, коррекции документов, поиска и просмотра документов конечными пользователями, сбора и обработки службами СК статической информации на основании протокола работы с документами СК.

Разработан проект стандарта организации на технические условия «Профили стальные холодногнутые» в соответствии с требованиями ГОСТ Р 1.4-2004.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

XXI век объявлен многими международными организациями веком качества.

Одним из путей повышения эффективности производства и конкурентоспособности выпускаемых гнутых профилей является улучшение их эксплуатационных характеристик, удовлетворение настоящих и потенциальных требований заказчика за счет внедрения технических решений, которые позволяют также снижать затраты на профилирование. Поэтому в работе выполнен комплекс исследований, направленных на изучение и выявление возможности получения гнутых профилей с высокими механическими свойствами и повышенным сроком эксплуатации.

Получены следующие результаты:

1. Методом квалитметрического анализа выполнена оценка качества равнополочного гнутого швеллера из низколегированной стали марки 09Г2 с учетом таких эксплуатационных показателей как прочность и хладостойкость.

2. Анализ полученных результатов показал, что наиболее проблемным единичным показателем качества является «пониженная пластичность полой горячейкатаной заготовки». С целью возможности качественного профилирования такой заготовки предложено использовать известное техническое решение – пластическое обжатие мест изгиба.

Уточнена зависимость необходимой степени деформации мест изгиба от толщины заготовки в диапазоне 2,0-8,0 мм (сортамент ПГА 2-8х100-600), которая позволяет определить рациональную величину степени деформации места изгиба заготовки при профилировании для предотвращения явления «трещинообразование».

Усовершенствована методика расчета давления металла на валки при профилировании, учитывающая энергозатраты на пластическое обжатие мест изгиба. Расчет показал, что энергосиловые параметры при этом не превышают значений, регламентированных паспортными данными ПГА (полное давление металла на валки на ПГА 2-8х100-600 – 300000 Н).

Экспериментальные исследования процесса профилирования с обжатием мест изгиба подтвердили известные данные о том, что обжатие мест изгиба наиболее рационально следует осуществлять во 2-ой и/или 3-ей формующих клетях.

Данная методика внедрена в ЛПЦ-7 ОАО «ММК».

3. Получена уточненная зависимость между механическими свойствами заготовки, мест изгиба гнутых профилей и гнутых профилей в целом. Установлено, что если уровень изменения механических свойств мест изгиба по отношению к заготовке составляет (30-45)%, то гнутых профилей в целом – только (3-12)%. Имея эти данные, потребитель сможет использовать гнутые профили более рационально.

4. Адаптирована к условиям ЛПЦ-7 ОАО «ММК» схема автоматизированной системы управления документооборотом на базе стратегии CALS, которая позволит обеспечить функционирование баз данных и будет служить главным инструментом управления потоками информации при действующей в цехе СМК. Предложенная схема принята к внедрению в ЛПЦ-7 ОАО «ММК».

5. Основным недостатком нормативной базы ЛПЦ-7 ОАО «ММК» является большое количество стандартов на однородную продукцию, что затрудняет переход к использованию системы автоматизации документооборота.

Разработан проект стандарта организации «Профили холодногнутые. Технические условия», внедрение которого способствует уменьшению объемов нормативной документации, облегчает ее актуализацию, позволяет вне-

дрий и адаптировать автоматизированную систему управления документооборотом в рамках СМК ЛПЦ-7 ОАО «ММК». Разработанный стандарт одобрен бюро стандартизации и сертификации технического отдела ОАО «ММК» и может быть предложен потребителям холодногнутых профилей в качестве нормативного документа, регламентирующего показатели качества данного вида продукции.

6. Разработанные методики включены в курсы лекций по дисциплинам: «Квалиметрия и управление качеством», «Информационные технологии в стандартизации и метрологии», «Статистические методы контроля и управления качеством», «Технология разработки стандартов и нормативной документации» для студентов специальности 200503 «Стандартизация и сертификация (в металлургии)», а также по дисциплине «Новые технологические решения в процессах ОМД» для студентов специальности 150106 «Обработка металлов давлением» и используются в НИРС, курсовом и дипломном проектировании.

#### Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Пути предотвращения трещинообразования при профилировании малопластичных марок стали / О.В. Ионова, Н.Г. Шемшурова, В.Г. Антипанов, В.Л. Корнилов // Современные технологии и материаловедение: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 108-112.

2. Ионова О.В., Шемшурова Н.Г. Разработка методики расчета давления металла на валки при профилировании с обжатием мест изгиба // Молодежь Сибири – науке России: Сб. науч. тр. СИБУП КРО НС «Интеграция» – Красноярск, 2003. С. 240-243.

3. Ионова О.В., Шемшурова Н.Г. Анализ и классификация нормативной документации на стальные гнутые профили, производимые в ЛПЦ-7 ОАО «ММК» / ГОУ ВПО МГТУ. Магнитогорск, 2004. 32 с. Деп. в ВИНТИ, 14.05.06, № 818-B2004.

4. Ионова О.В. Принципы построения автоматизированной системы управления документооборотом в системе качества ЛПЦ-7 ОАО «ММК» // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 215-223.

5. Ионова О.В., Шемшурова Н.Г. Анализ и совершенствование нормативной документации на сортовые гнутые профили, производимые в ЛПЦ-7 ОАО «ММК» // Системы качества и их метрологическая поддержка: от преподавания к сертификации: Сб. статей – Пенза, 2005. С. 103-105.

6. Ионова О.В., Шемшурова Н.Г. Совершенствование оценки качества сортовых гнутых профилей, производимых в ЛПЦ-7 ОАО «ММК» / ГОУ ВПО МГТУ. Магнитогорск, 2006. 16 с. Деп. в ВИНТИ 25.01.06, №73 – В 2006.

7. Управление качеством сортовых гнутых профилей, производимых в ЛПЦ-7 ОАО «ММК». О.В. Ионова, Н.Г. Шемшурова // Известия Челябинского научного центра. 2006. Вып. 1. С. 41 – 44 (рецензируемое издание).

8. Ионова О.В., Шемшурова Н.Г. Основные принципы разработки проекта стандарта организации на сортовые холодногнутые профили, производимые в ЛПЦ-7 ОАО «ММК» // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сб. науч. тр. - Магнитогорск: МГТУ, 2006. С. 237 - 239.

Подписано в печать 17.11.06.

Плоская печать. Усл.печ.л.1,0.

Формат 60x84 1/16.

Тираж 100 экз.

Бумага тип.№ 1.

Заказ 818.

455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38  
Полиграфический участок ГОУ ВПО «МГТУ»

