

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Формообразование гнутых профилей: теория и практика (2012 год)

Сборник научных трудов

Ульяновск
УлГТУ
2012

УДК 621.981
ББК 22.251
Ф53

УДК 621.981

Формообразование гнутых профилей: теория и практика (2012 г.):
Сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора
В.И. Филимонова. – Ульяновск : УлГТУ, 2012. – 159 с.

В сборнике в основном представлены материалы статей научной школы «Формообразование гнутых профилей методом интенсивного деформирования», объединяющей сотрудников Ульяновского государственного технического университета, ОАО «Ульяновский НИАТ», ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск), НПО «ИДМ» (г. Ульяновск), которые одновременно являются соискателями учёной степени кандидата или доктора наук. Данный сборник трудов может заинтересовать научных работников, аспирантов и докторантов, а также может оказаться полезным технологам и конструкторам, работающим в области профилирования и создания профилировочного и профилегибочного оборудования.

Сборник подготовлен на кафедре «Материаловедение и обработка металлов давлением» УлГТУ.

Материалы печатаются в авторской редакции.

ISBN 978-5-9795-1061-3

© Колл. авт., 2012
© Оформление. УлГТУ, 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ	6
Лапин В.В., Филимонов С.В., Айнуллоев А.И., Илюшкин М.В. Распределение сил подгибки при формовке профилей.....	6
Лапшин В.И., Илюшкин М.В., Филимонов С.В., Лисин И.О., Марковцева В.В. Износ верхних валков при интенсивном формообразовании профилей в роликах.....	14
2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ И КАЧЕСТВА ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ.....	26
Голубчик Э.М., Хохлов А.В., Архандеев А.В. Особенности изготовления в роликах фасонных гнутых профилей из высокопрочных сталей	26
Дементьев К.С., Филимонов С.В., Филимонов В.И. Методика исследования профилирования перфорированных заготовок в роликах	31
Лапин В.В., Баранов А.С., Филимонов С.В. Особенности отработки технологии изготовления в роликах Т-образного профиля	40
Лисин И.О. Изменение твёрдости в угловых зонах профилей замкнутого типа, изготовленных методом интенсивного деформирования	47
Лисин И.О., Дементьев К.С., Филимонов В.И. Изменение толщины зон изгиба полузакрытых и закрытых профилей, изготовленных в роликах.....	52
Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И. Изготовление методом осадки в роликах перфорированных гнутых профилей уголкового типа	57
Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Баранов А.С. Математическое моделирование процесса изготовления профиля из листовых заготовок с малыми относительными радиусами зон сгиба	64
Марковцева В.В. Изготовление гнутых профилей с заданной продольной кривизной из материалов с покрытием	70
Илюшкин М.В., Баранов А.С., Марковцев В.А. Оработка процесса рубки толстостенного профиля полузамкнутой формы	75
3. КОНСТРУКЦИИ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ: КЛАССИФИКАЦИЯ, РАСЧЁТ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СБОРКА КОНСТРУКЦИЙ	80
Филимонов В.И., Филимонов С.В., Волков А.А. Технологичность гнутых профилей	80

4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОСНАСТКА ДЛЯ ИЗГОТОВ- ЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ВНЕДРЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ.....	86
Баранов А.С., Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И. Особенности изготовления стрингерного набора самолета МС-21 на гибочно-прокатных станах с применением межклетьевых проводок	86
Лапин В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И. Износостойкие ролики профилировочного станка, предотвращающие нарушение покрытия профиля	92
Лапин В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И., Баранов А.С. Межклетьевая проводка с комбинированными рабочими элементами.....	97
Марковцев В.А., Филимонов В.И. Конструкции правильных устройств профилировочных станков	103
Гудков И.Н., Викторов А.А. Особенности роликовой перфорации гнутых профилей.....	109
Мищенко О. В., Савёлова Е.В. Модель оценки себестоимости изготовления формующих роликов	112
Филимонов В.И., Филимонов А.В., Карпов С.А. Факторы износа и повышение срока службы формующих роликов	116
Марковцев В.А., Волков А.А., Филимонов В.И. Технология и оборудование для производства деталей дорожных ограждений	120
Карпов С.А., Филимонов С.В. Технология производства в роликах несимметричного профиля с элементами жесткости и двойной толщины.....	126
5. ОБЗОРЫ И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ	133
Марковцев В.А. Применение высокоресурсных гнутых профилей в конструкциях летательных аппаратов.....	133
Лисин И.О., Лисина А.А., Филимонов В.И. О некоторых вопросах производства профилегибочного оборудования в России.....	137
Карпов С.А. Способы предотвращения скручивания несимметричного профиля, формируемого в роликах методом интенсивного деформирования	141
Земскова А.Н., Кокорин В.Н., Филимонов В.И. Термическая и гидравлическая резка заготовок и гнутых профилей.....	145
Филимонов С.В., Дементьев К.С., Айнуллов А.И., Филимонов А.В. Профилирование: современные тенденции	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	159

ВВЕДЕНИЕ

Развитие технологий профилирования в г. Ульяновске восходит к началу 90-х годов 20 века. В 1982 году в Ульяновском политехническом институте была открыта лаборатория стеснённого изгиба под руководством канд. техн. наук, доцента Проскурякова Глеба Васильевича, талантливого организатора науки и изобилующего идеями исследователя. Целью лаборатории было исследование процессов стеснённого изгиба, разработка на их основе технологий и оборудования для мелкосерийного производства гнутых профилей преимущественно в области производства летательных аппаратов.

В апреле 1984 года лаборатория стеснённого изгиба была передана в организованный в г. Ульяновске филиал НИИ Авиационной технологии и организации производства (в дальнейшем «Ульяновский НИАТ») для более тесной связи науки и авиационного производства.

Метод стеснённого изгиба, предложенный Г.В. Проскуряковым, предусматривает формовку в роликах волнообразной заготовки с её осадкой в последнем переходе для предотвращения утонения заготовки и сокращения числа переходов. По данной технологии были разработаны и внедрены технологические процессы, отраслевая нормативно-техническая документация и оборудование для изготовления стрингеров летательных аппаратов ИЛ-114, ИЛ-103, ТУ-334, БУ-200, АН-140, Ан-70.

Ограничения метода стеснённого изгиба, в первую очередь, невозможность его применения для формовки многоэлементных профилей с элементами жёсткости, привели к созданию метода интенсивного деформирования (1996 – 2003 гг.) Этому способствовала конъюнктура рынка, на котором в указанные годы было востребовано оборудование и технологии производства сложных профилей для строительства, машиностроения, автомобилестроения и других отраслей промышленности.

В начале 2010-х были созданы ООО «Спецтехнология» и НПО «Интенсивное деформирование материалов», специализирующиеся также в области разработки технологий интенсивного деформирования, основного и вспомогательного оборудования.

В настоящий сборник включены результаты исследований, выполненные сотрудниками указанных предприятий-разработчиков и других организаций, занимающихся вопросами теории и практики профилирования. Многие авторы статей сборника являются аспирантами или соискателями учёных степеней кандидата или доктора технических наук.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОФИЛИРОВАНИЯ И СОПУТСТВУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ

УДК 621.981

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ПОДГИБКИ ПРИ ФОРМОВКЕ ПРОФИЛЕЙ

Лапин В.В., Филимонов С.В., Айнуллов А.И., Илюшкин М.В.

Интенсификация формообразования в роликах гнутых профилей в последние годы приобретает все большее значение для отраслей строительства и машиностроения [1]. Уменьшение числа переходов, диаметров формующих роликов, применение закрытых калибров и «ужесточение» режимов профилирования – все эти присущие методу интенсивного деформирования (МИД) [2] факторы приводят к повышению уровня силовых факторов процесса, особенно при наличии элементов жёсткости на несущих полках. Еще одним важным фактором является тенденция к появлению на рынке рулонных материалов толщиной более 3 мм с цинковым покрытием. При больших контактных напряжениях происходит «схватывание» материала покрытия заготовки и поверхности формующего ролика, приводящее к преждевременному износу инструмента. Задача определения силовых факторов процесса в приложении к МИД весьма важна для последующего расчёта параметров формующей оснастки, оценки её износа, расчёта элементов узко специализированных профилировочных станков.

Наиболее целесообразно рассмотреть данный вопрос на примере формовки швеллерных профилей с периферийными элементами жёсткости, обращёнными во внутрь. Последняя оговорка имеет существенное значение, поскольку внешние элементы жёсткости обычно формуются с их перетяжкой через участки скругления формующего инструмента, что требует рассмотрения схем формовки и существенно усложняет задачу. В случае же швеллерного профиля для подгибаемой полки и элементов жёсткости, обращённых во внутрь, можно применить метод локальных жёсткостей [3], позволяющий произвести замену несущей полки с элементами жёсткости на гладкую полку эквивалентной тол-

щины (рис. 1) в расчётной схеме на основе методики работы [3].

Распределение действующих сил на поверхности заготовки при профилировании, вообще говоря, представляет собой далеко не тривиальную задачу даже для профиля уголкового или швеллерного типа [2, 3]. Особенность состоит в том, что известные гипотезы о равномерном или линейном характере распределения сил подгибки, применявшиеся ранее для построения аналитических моделей, не вполне согласуются с опытными данными не только в приложе-

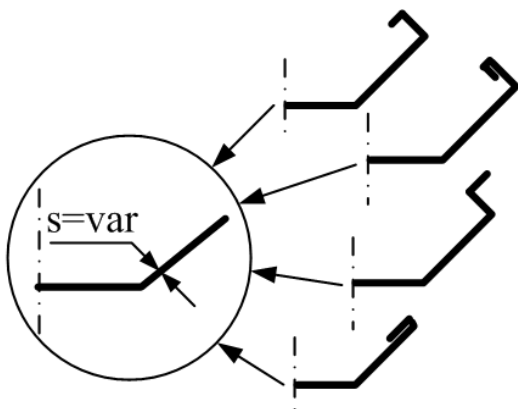


Рис. 1. Приведение полки с элементами жёсткости к гладкой полке эквивалентной толщины

нии к методу интенсивного деформирования, но и к традиционному профилированию.

Более точные данные о распределении действующих сил можно получить из решения соответствующих задач методом конечных элементов, например, с помощью программы LS-Dyna (модуль программы Ansys). В связи с этим моделировали формовку швеллерных профилей с шагом в 10 мм по ширине полки (от 10 до 60 мм), с шагом 1 мм по толщине (от 1 до 4 мм) с режимами подгибки полок, принятыми для соответствующих сочетаний геометрических параметров сечения профиля. Параметры моделирования следующие: тип элемента – Shell 163 с одноточечной редуцированной схемой интегрирования по плоскости с контролем Hourglass 4, модель материала: для профиля – билинейная изотропная модель (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC), для роликов – инструментальная сталь У8. Ролики задавались как абсолютно жесткие тела, конечно-элементная сетка задавалась только на их поверхности. Вид контакта заготовки и формующих роликов задавался в форме ASTS (Forming surface-to-surface contact), а заготовки – в форме ASTS (Automatic surface-to-surface contact). Анализ результатов моделирования показал, что распределение нормальных сил поперёк подгибаемой полки имеет форму, близкую к гиперболе или экспоненте, с максимальным значением вблизи зоны изгиба, причём, до 90% площади эпюры приходится на 1/3 ширины подгибаемой полки, считая от зоны изгиба. На этом уровне значения сил для различных толщин материала составляли 0,2...0,5 от максимального значения силы вблизи угловой зоны. Рис. 2, полученный в результате моделирования процесса, иллюстрирует характер распределения погонной силы на внешней поверхности заготовки со стороны нижнего ролика.

Метод конечноэлементного моделирования следует рассматривать как инструментальный ad hoc, пригодный лишь для решения узко специализированной задачи. В отличие от аналитических методов он обладает известными ограничениями в отношении обобщения результатов на достаточно широкий класс контактных задач, в том числе и задач формовки гнутых профилей. Для перехода к аналитическому представлению распределения погонной силы по ширине полки следует установить точную привязку значения действующих сил к рабочей поверхности формующих роликов или к точкам поверхности заготовки в осевой плоскости формующих роликов (рис. 3). Это можно сделать с использованием естественного задания точек срединной поверхности заготовки двумя параметрами: r – текущая координата вдоль средней линии подгибаемой полки, отсчитываемая от угловой зоны; α – суммарный угол подгибки полки,

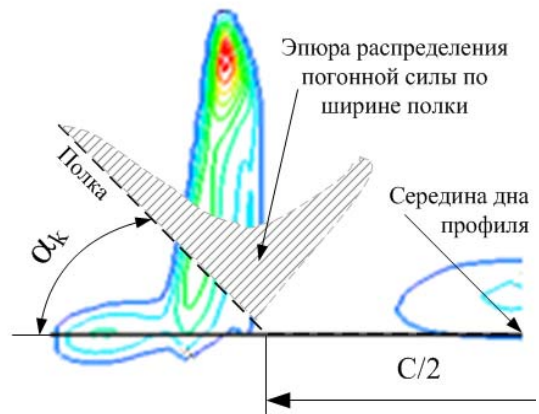


Рис. 2. Распределение погонной силы по подгибаемой полке при суммарном угле подгибки α_k

равный суммарному углу подгибки полки текущего перехода k ($\alpha = \alpha_k$). При этом угол подгибки полки в текущем переходе $\theta_k = \alpha_k - \alpha_{k-1}$.

Для аналитического описания процесса деформирования, исходя из результатов моделирования, предлагается задавать функцию распределения сил, действующих на заготовку в текущем переходе, в экспоненциальной форме:

$$P(r) = P_0 \exp\left(-\frac{r-x}{n}\right), \quad (1)$$

где P_0 – максимальное значение действующей силы; r – текущая координата, отсчитываемая вдоль образующей конического участка ролика; n – размерный параметр, определяющий форму экспоненты; x – размер «мёртвой зоны» (отсутствие контакта в угловой зоне), т.е. расстояние от точки сопряжения образующих цилиндрического и конического участков нижнего ролика до точки контакта заготовки и инструмента.

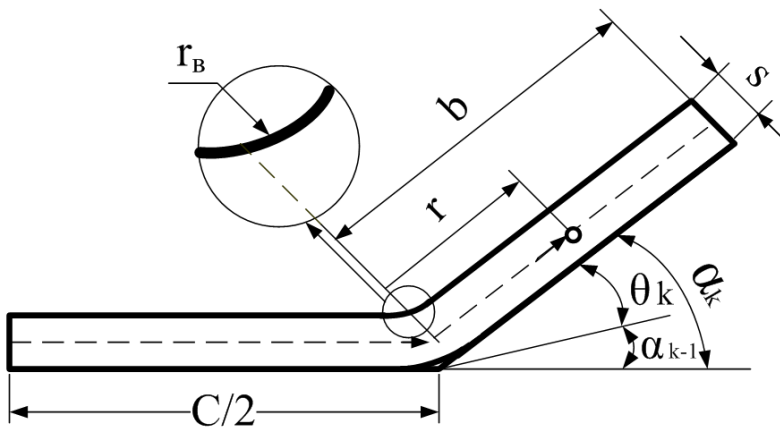


Рис. 3. Расположение локальной системы координат и параметры сечения профиля

В формуле (1) индексация переходов условно опущена, хотя в реальности действующие силы соотносятся с переходами, которые могут идентифицироваться по суммарным углам подгибки α_k , входящим в состав соответствующих зависимостей.

Размер «мёртвой зоны» легко определяется из геометрического рассмотрения положения заготовки в угловой зоне роликового калибра:

$$x = s(\xi + 1) \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right), \quad (2)$$

где s – толщина заготовки; ξ – относительный радиус изгиба заготовки, равный r_b/s ; r_b – внутренний радиус изгиба заготовки.

Размер «мёртвой зоны» в уравнении (2) растёт с увеличением суммарного угла подгибки. При этом в угловой зоне роликового калибра образуется так называемая «зона высвобождения», т.е. зона, в которой участок заготовки не ограничен инструментом. Зона высвобождения допускает движение изогнутого участка профиля в радиальном направлении от участка закругления верхнего ролика под действием торцевого поджатия подгибаемой полки в случае применения метода интенсивного деформирования.

На уровне $1/3$ ширины полки значение действующей силы в уравнении (1) можно определить соотношением:

$$P(b/3) = kP_0, \quad (3)$$

где b – ширина подгибаемой полки; k – коэффициент ослабления максимального значения силы.

Из уравнения (3) легко найти параметр n , зависящий от размера «мёртвой зоны», определяемой соотношением (2):

$$n = \frac{3x - b}{\ln k}. \quad (4)$$

Максимальное значение действующей силы можно получить на основе соотношения моментов внутренних и внешних сил:

$$\int_x^b r \cdot dP(r) = -T \cdot L \cdot \eta, \quad (5)$$

где T – погонный момент внутренних сил, приводящих угловую зону, примыкающую к подгибаемой полке, в пластическое состояние на длине зоны плавного перехода L ; η – коэффициент распространения угловой пластической зоны.

В уравнении (5) с помощью коэффициента η учтено соотношение длины зоны плавного перехода и протяжённости участка угловой зоны вдоль оси профилирования, в котором материал находится в пластическом состоянии.

Интегрирование по частям левой части уравнения (5) и несложные алгебраические преобразования приводят к следующей зависимости, определяющей максимальное значение действующей силы:

$$P_0 = -(T \cdot L) \cdot \left[(b + n) \cdot \exp\left(-\frac{b - x}{n}\right) - (x + n) \right]^{-1}. \quad (6)$$

Момент внутренних сил и протяжённость зоны плавного перехода, входящие в соотношение (6) даны в виде аналитических зависимостей в работе [2]. В частности, в отсутствие упрочнения момент внутренних сил, как известно, определяется зависимостью:

$$T = \frac{\sigma_T}{4} \cdot s^2,$$

где σ_T – предел текучести материала заготовки.

Зависимости (1), (4) и (6) полностью определяют распределение действующих сил на подгибаемой полке. На рис. 4 и 5 представлено распределение погонной силы подгибки полки в соответствии с формулой (1). Рис. 4 показывает, что погонная сила имеет тенденцию к росту с увеличением толщины заготовки. Рис. 5 иллюстрирует рост максимальных значений погонной силы с увеличением угла подгибки. Фактически, это означает, что на последних переходах основная нагрузка локализуется на участке, примыкающем к угловой зоне.

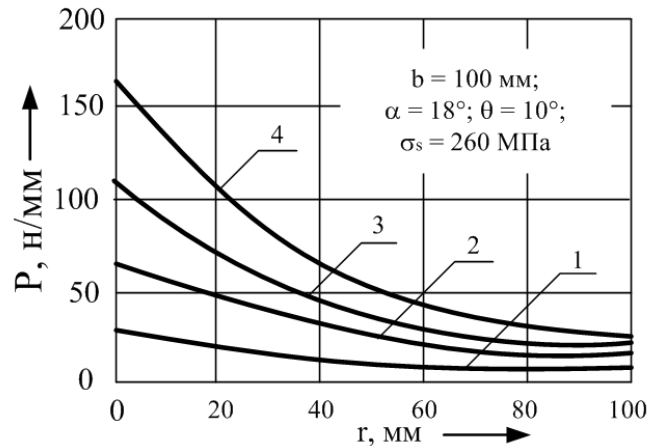


Рис. 4. Распределение погонной силы по ширине полки: 1, 2, 3, 4 – $s = 1, 2, 3$ и 4 мм соответственно

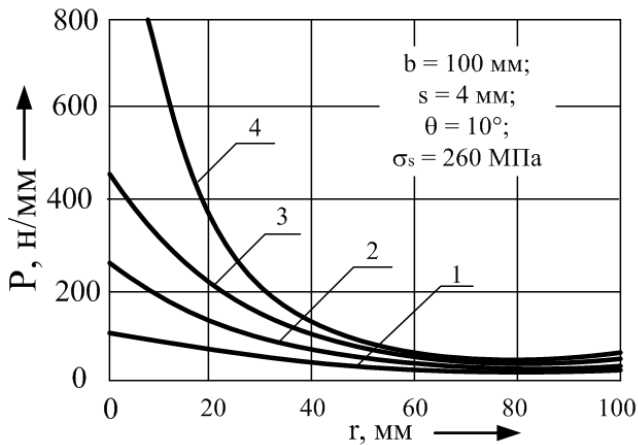


Рис. 5. Распределение погонной силы по ширине полки: 1, 2, 3, 4 – $\alpha = 10, 20, 40$ и 90° соответственно

показывают, что с увеличением угла подгибки они смещаются в сторону угловой зоны. При этом видно, что результирующая сила прикладывается на участке, расположенном вблизи угловой зоны. Этот вывод существенно отличается от результатов работы [4], где утверждается, что точка приложения результирующей силы должна находиться примерно на расстоянии $(2b)/3$ от угловой зоны. Ошибочность последнего вывода легко понять, если принять в рассмотрение следующее рассуждение. При подгибке элемента момент сопротивления пластического шарнира не зависит от точки приложения нагрузки. Тогда некая результирующая сила F будет пропорциональна величине $(1/r)$. Расчёт положения точки приложения результирующей силы по формуле, аналогичной формуле (7), показывает, что $r_R \approx b/\ln(b/x)$. Оценка этого выражения для полок шириной от 20 до 100 мм даёт значения, составляющие от $1/4$ до $1/3$ от ширины полки (с учётом значения величины « x », введённой ранее) с их отсчётом от угловой зоны.

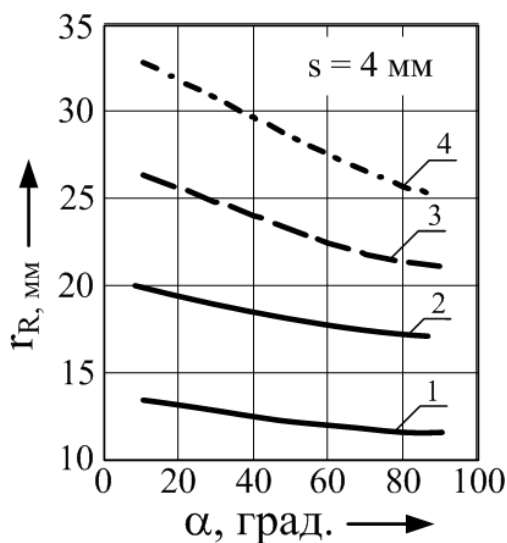


Рис. 6. Положение точки приложения силы, действующей на полку: 1, 2, 3, 4 – $b = 40, 60, 80$ и 100 мм соответственно

Точку приложения равнодействующей силы подгибки полки r_R можно найти по следующей зависимости:

$$r_R = \frac{\int_b^x r \cdot P(r) \cdot dr}{\int_b^x P(r) \cdot dr} \quad (7)$$

На рис. 6 представлены результаты расчёта в среде MathCAD2001Pro согласно зависимости (7). Графики, представляющие точки приложения результирующей силы,

представляет определённый интерес сравнить полученные результаты с расчётными и экспериментальными данными других авторов. Непосредственное измерение погонной силы вдоль образующей конического участка ролика методом штифтовых датчиков представляет собой достаточно сложную и затратную задачу; во всяком случае, авторам не известны какие-либо сведения о других методах прямого измерения погонной силы. Однако косвенная проверка построенной модели возможна по интегральному показателю – силе распирающего воздействия заготовки на нижний и верхний ролик при формообразовании. Данный параметр часто принимается в ка-

честве основного для проведения прочностных расчётов элементов профилировочных станков и роликовой оснастки, а также для определения потребной мощности станков.

В работе И.С. Тришевского и соавторов [4], где рассматривается формовка швеллерного профиля с толщиной стенки 4 мм, приводятся расчётные зависимости для определения силы распора в валках, а также экспериментальные данные для трёх профилей с шириной полок 60, 80 и 100 мм при ширине стенки (дна профиля), равной 80 мм. Расчётные зависимости представлены в виде полумпирической модели, где сила распора в валках приведена нами к символической, принятой ранее:

$$P_T = \frac{\sigma_T \cdot s^2}{2} \ln \left[\frac{C-x}{2x} \cdot \left(\frac{b}{2x} \right)^{\cos \alpha} \right] + 3,52 \cdot 10^{-4} \cdot E \cdot \theta^{1,4} \cdot s^{2,6} \left[\frac{b^2 - 4x^2}{b^{2,6}} \cdot \cos \alpha + \frac{(C-4x)C}{C^{2,6}} \right], \quad (8)$$

где E – модуль Юнга.

В работе К.Н. Богоявленского и соавторов [5] аналогичная, но чисто эмпирическая модель построена на основе статистической обработки массива экспериментальных данных, включавшего несколько сот профилей уголкового и швеллерного типа толщиной от 1 мм до 6 мм с учётом упруго-пластического обжима заготовки в валках:

$$P_B = \frac{0,059 \cdot \alpha^{0,42} \cdot B^{0,30}}{\delta^5 \cdot \xi^{0,43}}, \quad (9)$$

где B – ширина заготовки ($B \approx C + 2b$); δ – относительный зазор в роликовом калибре.

В формуле (9) сила распора выражается в единицах «тонна-сила», которые легко пересчитываются к измерению в ньютонах. Существенной особенностью данной модели является отсутствие показателей механических свойств заготовки, хотя в работе указывается, что в рассмотрение приняты профили, изготовленные из материалов с различными механическими свойствами. Кроме того, в этой модели также не учитывается текущий угол подгибки, т.е. режим формообразования.

В предлагаемой модели сила распора вычисляется по следующей зависимости:

$$P_\phi = 2 \cdot (1 + \cos \alpha_k) \cdot \int_x^b P_0 \cdot \exp \left(-\frac{r-x}{n} \right) \cdot dr. \quad (10)$$

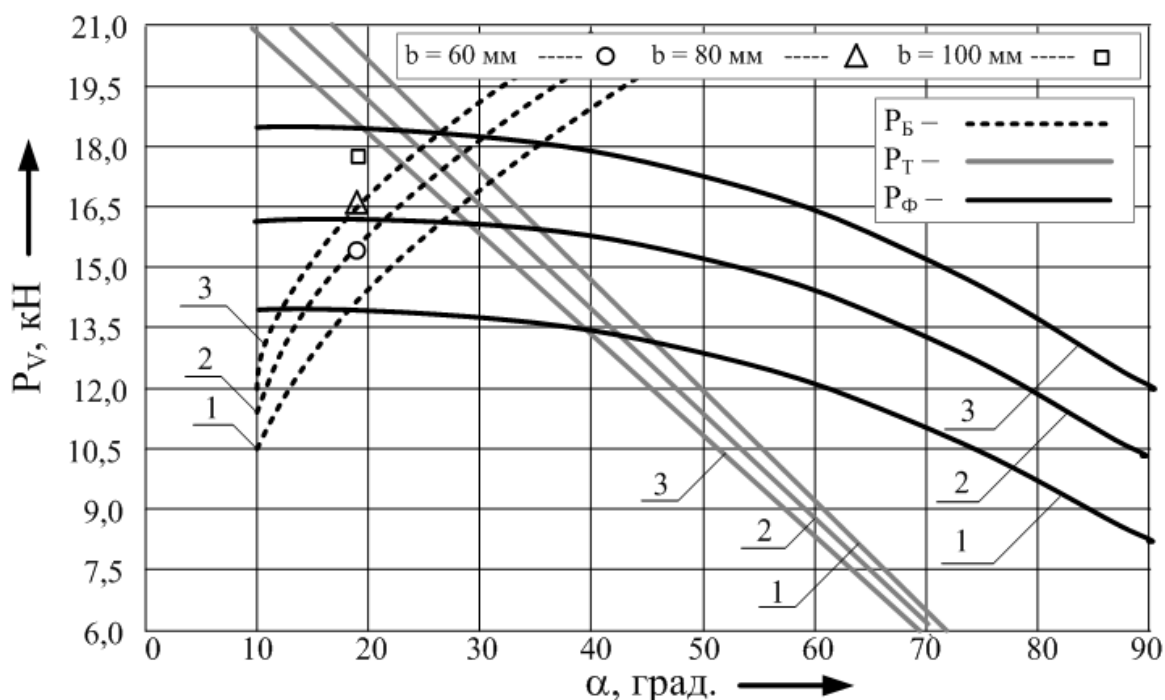


Рис. 7. Сравнительные графики сил распора в валках при формовке швеллера 80хbх4 мм по моделям И.С. Тришевского (P_T), К.Н. Богоявленского (P_B) и по предлагаемой модели (P_Φ): 1, 2, 3 – $b = 60, 80$ и 100 мм соответственно. Тремя видами маркеров отмечены экспериментальные значения силы распора, приведенные в работе [4] для указанного профиля, во втором переходе ($\theta = 10^\circ$; $\alpha = 18^\circ$)

Расчёты по зависимостям (8) – (10), проведённые в среде MathCAD2001Pro, представлены на рис. 7. Здесь же показаны экспериментальные значения сил распора для швеллеров 80хbх4 мм из низкоуглеродистой стали.

Модель И.С. Тришевского даёт отклонения расчётных значений от соответствующих экспериментальных результатов в пределах (7...30)%, в то время как модель (10) – в пределах (2...11)%. Характер зависимости силы распора от суммарного угла подгибки в моделях (8) и (10) примерно один и тот же: с увеличением суммарного угла подгибки сила распора имеет тенденцию к снижению.

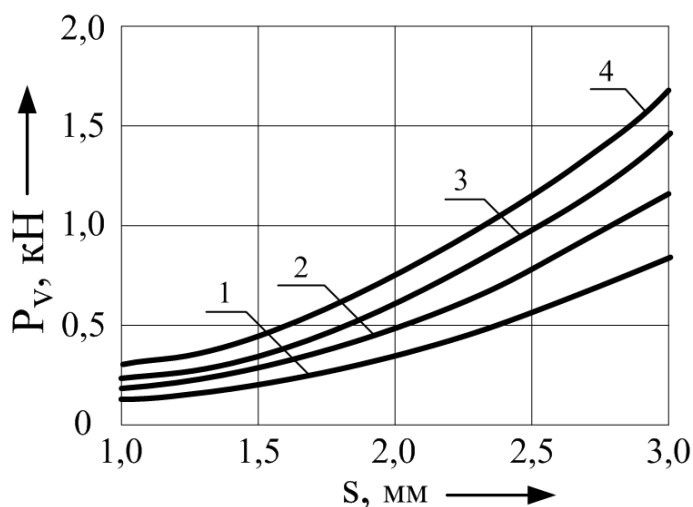


Рис. 8. Зависимость силы распора от режима подгибки полок: 1, 2, 3, 4 – $\theta = 5, 10, 15$ и 20° соответственно

В модели К.Н. Богоявленского величина упруго обжима принята в 12% (устранение упругих деформаций клетки при настройке). В наших расчётах по модели (9) было принято равенство толщины заготовки и зазора в калибре, т.е. обжим заготовки отсутствовал. При использовании МИД выбор зазора обусловлен контактом верхнего и нижнего ролика по их посадочным цилиндрическим поверхностям на уровне буртов и кольцевых выемок.

Расхождение модели (9) с экспериментальными данными лежит в

пределах 12%, однако рост сил распора с увеличением суммарного угла подгибки (см. рис. 7) не согласуется со схемой изменения распределения сил: с увеличением суммарного угла подгибки вертикальная составляющая силы подгибки уменьшается, в то время графики модели (9) имеют тенденцию к увеличению.

Графические зависимости силы распора от угла подгибки и толщины заготовки на рис. 8, полученные по предлагаемой модели (10), дают представление о влиянии режима формообразования на силовые параметры процесса.

В работе [6] приводится модель расчёта силы распора в валках на основе инфинитезимальных приращений, где выполнены расчёты для первой клетки профилировочного стана (угол подгибки 15°) при формовке профиля 60x60x3 мм и проведены экспериментальные замеры силы распора. Расчётное значение составило 7,5 кН, а результат замера – 10,17 кН. Расчёт по предлагаемой модели дал значение 11,21 кН. Ошибки в расчёте составили около 26% и 10% соответственно. При этом следует учесть, что реализация первой модели требует значительных вычислительных процедур, связанных с разбиением заготовки на ряд участков и последующим суммированием частных значений сил. Этот пример ещё раз подтверждает достаточную корректность предложенных зависимостей (1), (6) и (10).

Таким образом, предлагаемая модель распределения сил по ширине полки достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными и может использоваться для последующих расчётов контактных напряжений, износа формующей оснастки, а также прочностных расчётов технологического оснащения и вновь создаваемого профилировочного оборудования.

Библиографический список

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Метод, расчёты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2004. – 246 с.
2. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. – 444 с.
3. Филимонов А.В., Филимонов С.В. Изготовление полузакрытых гнутых профилей в роликах методом интенсивного деформирования. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2010. – 206 с.
3. Тришевский И.С., Котелевский Л.Н. Удельные давления металла на валки при профилировании. / Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката. Вып. 15. – Харьков: УкрНИИМет, 1970. – С. 195 – 216.
4. Богоявленский К.Н., Манжурич И.П., Рис В.В. Разработка методики расчёта основных параметров процесса изготовления гнутых профилей. / Изготовление деталей пластическим деформированием. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 383 – 396.
2. Galkhar A.S., Meehan P.A., Daniel W.J., Ding S.C. A method of approximate tool wear analysis in cold roll forming // The 5th Australasian congress on Applied Mechanics (ACAM-2007), 10-12 December 2007, Brisbane, Australia. Brisbane: 2007. – P. 123 – 128.



- Лапин Вячеслав Викторович,
генеральный директор ОАО «Ульяновский механический завод»
- Филимонов Сергей Вячеславович, к.т.н.,
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)
- Айнуллов Альберт Ирфанович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Илюшкин Максим Валерьевич, к.т.н.,
зам. генерального директора ОАО «Ульяновский НИИТ»



УДК 621.981

ИЗНОС ВЕРХНИХ ВАЛКОВ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ПРОФИЛЕЙ В РОЛИКАХ

Лапшин В.И., Илюшкин М.В., Филимонов С.В., Лисин И.О., Марковцева В.В.

Интенсификация процессов профилирования листовых заготовок при изготовлении гнутых профилей в последние годы приобретает все большее значение для отраслей строительства и машиностроения [1]. Уменьшение числа переходов, диаметров формующих роликов, «ужесточение» режимов профилирования – все эти присущие методу интенсивного деформирования (МИД) [2] факторы – приводят к повышению уровня контактных напряжений в зоне «инструмент-заготовка» и более интенсивному чем при традиционном профилировании износу рабочих валков (формующих роликов).

Еще одним важным фактором является тенденция к появлению на рынке рулонных материалов толщиной более 3 мм с цинковым покрытием. При больших контактных напряжениях происходит «схватывание» материала покрытия заготовки и поверхности формующего ролика, приводящее к преждевременному износу инструмента. В этой связи возникает проблема оценки износа формующей оснастки – проблема, которая ранее в литературе не обсуждалась применительно к МИД. Вместе с тем известно, что наибольший износ формующей оснастки имеет место на участках скругления верхних роликов, формующих внутренний контур зон изгиба заготовки. Особенностью МИД является то, что конечные радиусы изгиба задаются инструментом на первых переходах, где участок скругления верхнего ролика достаточно мал. Следовательно, уровень контактных напряжений становится значительным, а наличие скольжения между инструментом и заготовкой приводит к быстрому износу верхнего ролика на участке скругления.

Обычно на изменение размера радиуса формующих роликов накладываются определённые ограничения, связанные с допуском на сечение готового профиля. Поэтому прогнозирование износа формующей оснастки имеет существенное значение для обеспечения качества профильной продукции, а также для установления гарантийного срока на эксплуатацию поставляемых заказчику комплектов роликовой оснастки предприятиями-разработчиками технологий профилирования.

Одним из подходов к оценке износа может быть подход, основанный на уравнении износа Архарда [3].

$$d\Omega = \frac{\partial \omega_L}{\partial t} \cdot dA = \eta \cdot \frac{\sigma_k \cdot V_S}{H_\sigma} \cdot dA, \quad (1)$$

где Ω – объёмный износ в единицу времени; ω_L – радиальный износ; η – безразмерный коэффициент поверхностного износа; σ_k – контактное напряжение; H_σ – твёрдость поверхности инструмента; t – время эксплуатации формующего инструмента; A – площадь контактной поверхности инструмента.

Из формулы (1) можно получить следующее уравнение:

$$\omega_L = \eta \cdot \frac{\sigma_k \cdot V_S}{H_\sigma} \cdot t. \quad (2)$$

Для использования уравнения (2) необходимо установить значения контактных напряжений, скорости скольжения и выполнить пересчёт твёрдости поверхности формующего инструмента от единиц HRC к МПа.

Учитывая, что износ формующих роликов происходит весьма неравномерно, следует установить точную привязку контактных сил и напряжений к рабочей поверхности формующего ролика в осевой плоскости клетки профилировочного станка.

Это можно сделать с использованием двух параметров: текущей координаты r вдоль средней линии подгибаемой полки, отсчитываемой от угловой зоны, и суммарного угла подгибки полки α_k . При этом в осевой плоскости k -го перехода значение текущего (актуального) угла подгибки полки составляет величину: $\theta_k = \alpha_k - \alpha_{k-1}$. На рис. 1 представлено сечение части профиля, находящейся в текущем переходе. Здесь же указаны параметры сечения профиля и введённые координаты, а также показан примерный характер распределения погонной силы подгибки полки при формообразовании профиля. При дальнейшем рассмотрении геометрические параметры условно не индексируются номером перехода (за исключением углов подгибки), хотя подразумевается их привязка к текущему (k -ому переходу).

Распределение контактных сил на поверхности нижнего ролика при профилировании, вообще говоря, представляет собой далеко не тривиальную задачу даже для профиля уголкового или швеллерного типа [2, 3]. На основе моделирования в среде Ansys (модуль LS-Dyna) и экспериментальных исследований авторами установлено ранее, что функцию распределения сил, действующих на заготовку в текущем переходе, можно задавать в экспоненциальной форме:

$$P(r) = P_0 \exp\left(-\frac{r-x}{n}\right), \quad (3)$$

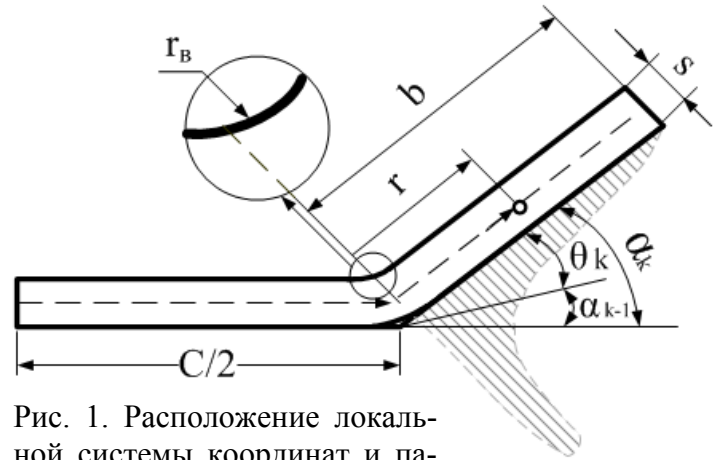


Рис. 1. Расположение локальной системы координат и параметры сечения профиля

где P_0 – максимальное значение действующей силы; r – текущая координата, отсчитываемая вдоль образующей конического участка ролика; n – размерный параметр, определяющий форму экспоненты; x – размер «мёртвой зоны» (отсутствие контакта в угловой зоне), т.е. расстояние от точки сопряжения образующих цилиндрического и конического участков нижнего ролика до точки контакта заготовки и инструмента.

Размер «мёртвой зоны» легко определяется из геометрического рассмотрения положения заготовки в угловой зоне роликового калибра:

$$x = s(\xi + 1) \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_k}{2}\right), \quad (4)$$

где ξ – относительный радиус изгиба, равный r_b/s (r_b – внутренний радиус изгиба заготовки, s – толщина заготовки)

Размер «мёртвой зоны» растёт с увеличением угла подгибки согласно уравнению (4). При этом в угловой зоне роликового калибра образуется так называемая «зона высвобождения», т.е. зона, где заготовка не ограничена инструментом. Максимальная погонная сила возникает на участке конической части нижнего ролика, примыкающем к этой зоне. Параметр n , зависящий от размера «мёртвой зоны», определяется соотношением:

$$n = \frac{3x - b}{\ln k}, \quad (5)$$

где k – коэффициент ослабления максимального значения силы.

Максимальное значение действующей силы можно получить на основе соотношения моментов внутренних и внешних сил:

$$\int_x^b r \cdot \frac{dP(r)}{dr} dr = -T \cdot L \cdot \psi, \quad (6)$$

где T – погонный момент внутренних сил, приводящих угловую зону, примыкающую к подгибаемой полке, в пластическое состояние на длине зоны плавного перехода L ; ψ – коэффициент распространения угловой пластической зоны.

В уравнении (6) с помощью коэффициента ψ учтено соотношение длины зоны плавного перехода и протяжённости участка угловой зоны вдоль оси профилирования, в котором материал находится в пластическом состоянии. Интегрирование по частям левой части уравнения (6) и несложные алгебраические преобразования приводят к следующей зависимости, определяющей максимальное значение действующей силы:

$$P_0 = -(T \cdot L) \cdot \left[(b + n) \cdot \exp\left(-\frac{b - x}{n}\right) - (x + n) \right]^{-1}. \quad (7)$$

Момент внутренних сил и протяжённость зоны плавного перехода, входящие в соотношение (7), даны в виде аналитических зависимостей в работе [2]. В частности, в отсутствие упрочнения момент внутренних сил, как известно, определяется зависимостью:

$$T = \frac{\sigma_T}{4} \cdot s^2,$$

где σ_T – предел текучести материала заготовки.

Зависимости (3), (4) и (7) с точностью до 11% совпадают с экспериментальными данными различных авторов (по интегральному показателю – силе распора) и полностью определяют распределение действующих сил на подгибаемой полке.

Для вычисления контактных напряжений необходимо определить площадь элементарной контактной зоны, имеющей единичную ширину вдоль образующей нижнего формующего ролика. Протяжённость этой зоны определяется дугой контакта заготовки и конической части ролика $m(r, \alpha_k)$, лежащей в вертикальной плоскости, параллельной оси профилирования. Поперечный изгиб заготовки перед межосевой плоскостью роликов текущего перехода позволяет ограничить зону охвата заготовкой формующего ролика геометрическим местом точек пересечений конической поверхности ролика и прямых, проходящих через точки сечения заготовки в (k-1) и k-ом переходах на уровнях $r \in [x, b]$ (b – ширина полки).

Тогда длина линии контакта на коническом участке формующего ролика будет определяться зависимостью:

$$m(r, \alpha_k) = (R_0 + r \cdot \sin \alpha_k) \cdot \gamma_{fk}, \quad (8)$$

где R_0 – радиус кривизны базовой цилиндрической поверхности нижнего ролика; γ_{fk} – угол обхвата ролика заготовкой в k-ом переходе.

При этом угол обхвата определяется соотношением:

$$\gamma_{fk} = \frac{\gamma}{2} + \frac{\alpha_k \cdot \theta_k}{\pi}, \quad (9)$$

где γ – угол обхвата, определяемый в соответствии с рис. 2 без учёта эффекта изгиба заготовки перед осевой плоскостью текущего перехода, а индексом «f» (от английского “flange”) помечено, что зависимость (9) относится к нижнему формующему ролику.

Для определения угла γ достаточно рассмотреть только случай $r = b$, т.е. кромку заготовки. Уравнение окружности с радиусом R_k (см. рис. 2) определяется уравнением:

$$x^2 + y^2 = R_k^2, \quad (10)$$

где x, y – текущие координаты; R_k – радиус окружности рабочей поверхности ролика на уровне кромки заготовки.

Положение кромки заготовки постулируется уравнением прямой:

$$y = K_e \cdot x + y_0, \quad (11)$$

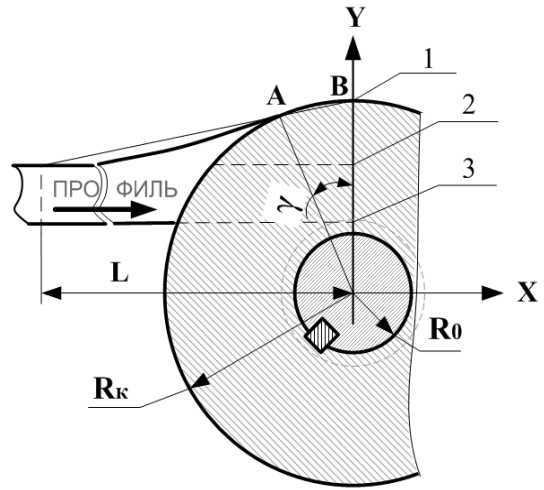


Рис. 2. Геометрические параметры в очаге деформации: 1, 2 – уровень кромки заготовки в текущем k-ом и предшествующем (k-1) переходе; 3 – уровень базовой поверхности ролика (уровень катающего диаметра)

где K_e – коэффициент наклона прямой к оси профилирования; y_0 – точка пересечения прямой осью y .

Используя уравнение (11), для точек кромки в начале её подъёма после предшествующего перехода и в вершинной точке В можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} R_0 + b \cdot \sin \alpha_{k-1} = -L \cdot K_e + y_0, \\ R_0 + b \cdot \sin \alpha_k = 0 \cdot K_e + y_0, \end{cases}$$

откуда определяются параметры K_e и y_0 :

$$K_e = \frac{b}{L} (\sin \alpha_k - \sin \alpha_{k-1}); \quad y_0 = R_0 + b \sin \alpha_k. \quad (12)$$

Совместное решение уравнений (10) – (12) позволяет определить искомым угол γ в виде соотношения:

$$\sin \gamma = \frac{x_A}{y_B} = \left| \frac{2K_e}{1 + K_e^2} \right|, \quad (13)$$

где x_A – абсцисса точки А; y_B – ордината точки В.

С учётом соотношений (12), значения протяжённости зоны плавного перехода согласно работе [2] и малости угла γ , из зависимости (13) получаем:

$$\gamma \approx \frac{4\sqrt{6s \cdot b \cdot (\alpha_k - \alpha_{k-1}) \cdot (\sin \alpha_k - \sin \alpha_{k-1})}}{8b(\alpha_k - \alpha_{k-1}) + 3s(\sin \alpha_k - \sin \alpha_{k-1})^2}. \quad (14)$$

Как следует из зависимостей (9) и (14), при одном и том же угле подгибки $\theta_k = \alpha_k - \alpha_{k-1}$, с увеличением толщины заготовки наблюдается увеличение угла обхвата (рис. 3). Казалось бы, должно наблюдаться обратное явление, однако следует иметь в виду, что для более толстых заготовок, во-первых, протяжённость зоны плавного перехода меньше,

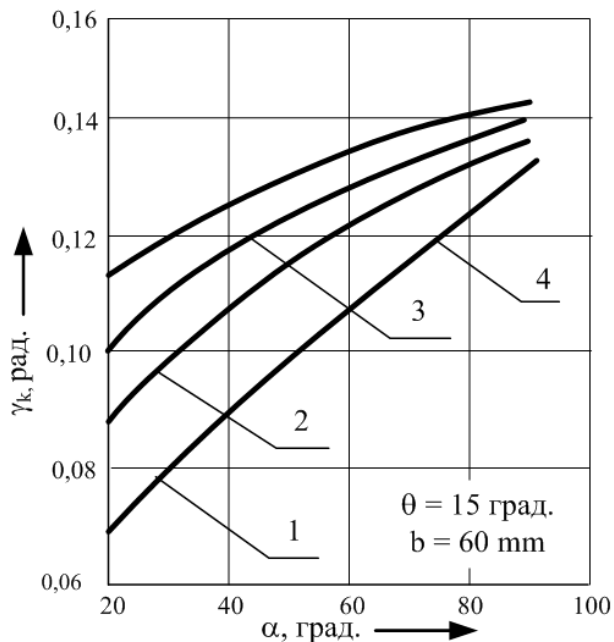


Рис. 3. Зависимость угла обхвата ролика заготовкой от суммарного угла подгибки и толщины заготовки: 1, 2, 3, 4 – $s = 1, 2, 3$ и 4 мм соответственно

чем для тонких заготовок (её значение изменяется пропорционально $1/\sqrt{s}$), во-вторых, играет определённую роль и относительный радиус поперечного изгиба заготовки перед входом в калибр. При одном и том же радиусе изгиба заготовка большей толщины имеет меньший относительный радиус кривизны, а потому она обладает меньшими упругими свойствами (большая часть сечения охвачена пластическими деформациями).

С увеличением суммарного угла подгибки угол обхвата увеличивается (см. рис. 3), что объясняется изменением конфигурации конической части нижнего ролика: фактически, к последнему переходу коническая рабочая поверхность вырождается в боковую по-

верхность кольца, что объясняет увеличение контактного угла.

С учётом зависимостей (3) и (8) теперь можно определить величину контактного напряжения, входящего в формулу (2):

$$\sigma_k = \frac{P(r)}{m(r, \alpha_k)} = \frac{P(r)}{(R_0 + b \cdot \sin \alpha_k) \gamma_{fk}}. \quad (15)$$

Отметим, что угол обхвата γ_{fk} в формуле (15) полностью определяется зависимостями (9) и (14).

На рис. 4 представлено распределение контактных напряжений на втором переходе в зависимости от толщины заготовки в соответствии с зависимостью (15). Характер кривых 1 – 4 показывает, что сравнительно высокий уровень контактных напряжений имеет место только вблизи угловой зоны, а затем, по мере движения к кромке заготовки, контактные напряжения падают. Большей толщине заготовки соответствует и более высокий уровень контактных напряжений.

Зависимость контактных напряжений от радиуса R_0 базовой поверхности формирующего ролика представлена на рис. 5, откуда видно, что увеличение диаметров формирующих роликов приводит к существенному снижению контактных напряжений. Данный результат не является неожиданным, поскольку очевидно, что знаменатель правой части формулы (15) включает в себя радиус базовой поверхности формирующего ролика. Однако при этом следует иметь в виду, что с увеличением диаметра ролика угол обхвата конической части заготовкой уменьшается, компенсируя в определённой степени эффект снижения контактных напряжений за счёт увеличения радиуса базовой поверхности.

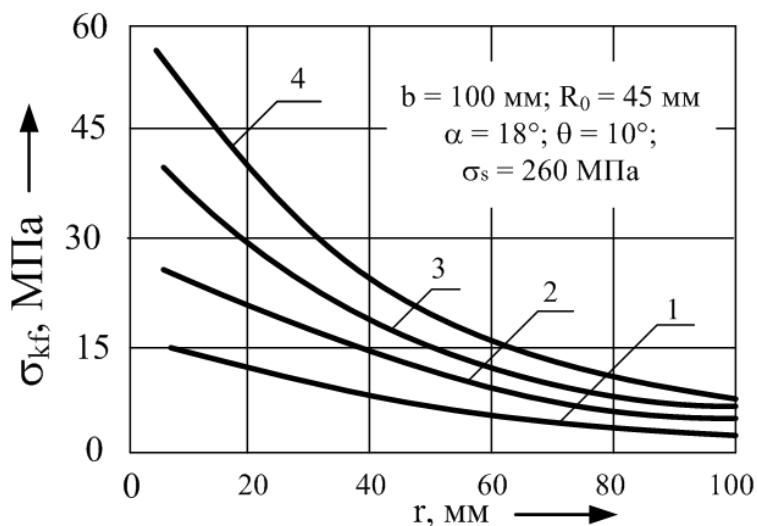


Рис. 4. Распределение контактных напряжений по ширине полки на втором переходе: 1, 2, 3, 4 – $s = 1, 2, 3$ и 4 мм соответственно

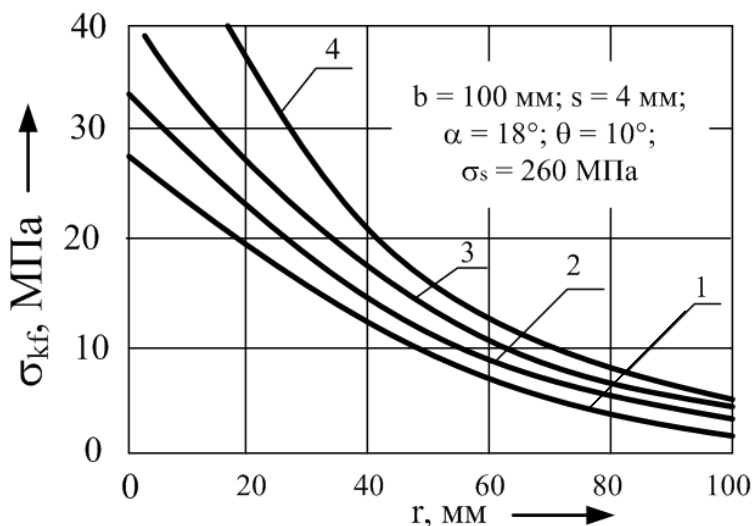


Рис. 5. Распределение контактных напряжений по ширине полки: 1, 2, 3, 4 – $R_0 = 45, 55, 65$ и 75 мм соответственно

Впрочем, хорошо известно, что увеличение диаметра формующих роликов положительно влияет на условия формовки, однако с экономической точки зрения оно далеко не всегда целесообразно, особенно в условиях мелкосерийного производства. Ясно, что переход к большему диаметру формующих роликов потребует перехода к профилировочному станку более высокой стоимости с большим энергопотреблением, габаритами; для перевалковки станка придётся предусматривать подъёмные механизмы, не говоря уже о стоимости самих роликов, изготавливаемых из поковок, а не из круглого проката.

Возвращаясь к уравнению (2), отметим, что твёрдость поверхности инструмента, измеренная в единицах твёрдости (например, HRC), должна быть пересчитана к мегапаскалям, преимущественно в аналитическом виде для выполнения машинных расчётов. Обозначив твёрдость по Роквеллу T_R и проведя интерполяцию в пакете MathCAD калибровочной зависимости, приведенной в работе [4], получили требуемый результат в следующей аналитической форме:

$$H_\sigma = 207,3 \cdot \exp(0,036T_R) + 372,3. \quad (16)$$

Скорость скольжения заготовки в калибре, входящая в уравнение (2), в значительной степени определяет износ формующего ролика. Она представляет собой разность между скоростью движения профиля (скоростью формовки) и линейной скоростью соответствующего участка рабочего контура роликового калибра. Пусть угловая скорость нижнего рабочего вала равна ω . Тогда линейную скорость профиля (скорость профилирования) можно найти из соотношения:

$$V_f = \omega(R_0 + h_k), \quad (17)$$

где R_0 – базовый радиус ролика в текущем переходе; h_k – расстояние от нижней поверхности дна профиля до центра тяжести его сечения в текущем переходе.

Линейную скорость участка на конической поверхности ролика, положение которого определяется значением r , можно определить по формуле:

$$V_r = \omega(R_0 + r \cdot \sin \alpha_k). \quad (18)$$

На основании формул (17) и (18) можно найти скорость скольжения V_s :

$$V_s = V_f - V_r = V_f \frac{(h_k - r \cdot \sin \alpha_k)}{R_0 + h_k}. \quad (19)$$

Однако для определения износа более важную роль играет коэффициент скольжения χ_k , представляющий собой относительную скорость скольжения:

$$\chi_k = \left| \frac{V_s}{V_f} \right| = \left| \frac{h_k - r \cdot \sin \alpha_k}{R_0 + h_k} \right|. \quad (20)$$

Координату положения центра тяжести сечения h_k в формуле (20) в текущем переходе для швеллерного профиля можно найти по приближённой формуле:

$$h_k \approx \frac{C \cdot s / 2 + b^2 \cdot \sin \alpha_k}{C + 2b}. \quad (21)$$

Из формул (20) и (21) получаем зависимость коэффициента скольжения от геометрических параметров поперечного сечения профиля и суммарного угла подгибки для k -го перехода:

$$\chi_k = \left| \frac{C \cdot s / 2 + (b^2 - 2b \cdot r - C \cdot r) \sin \alpha_k}{R_0 (C + 2b) + C \cdot s / 2 + b^2 \sin \alpha_k} \right|. \quad (22)$$

На рис. 6 приведены графики изменения коэффициента скольжения в соответствии с формулой (22) по мере удаления точки от зоны изгиба для различных значений ширины подгибаемой полки. Характер поведения кривых показывает, что максимумы значений коэффициента скольжения приходятся на участок, примыкающий к зоне изгиба, и периферийную часть полки профиля. В точках, соответствующих точкам приложения равнодействующей силы, значения коэффициента скольжения минимальны. На периферийных участках заготовки контактные напряжения незначительны, поэтому следует ожидать, что наибольший износ роликовой оснастки будет иметь место на участках нижнего ролика, примыкающих к зонам высвобождения.

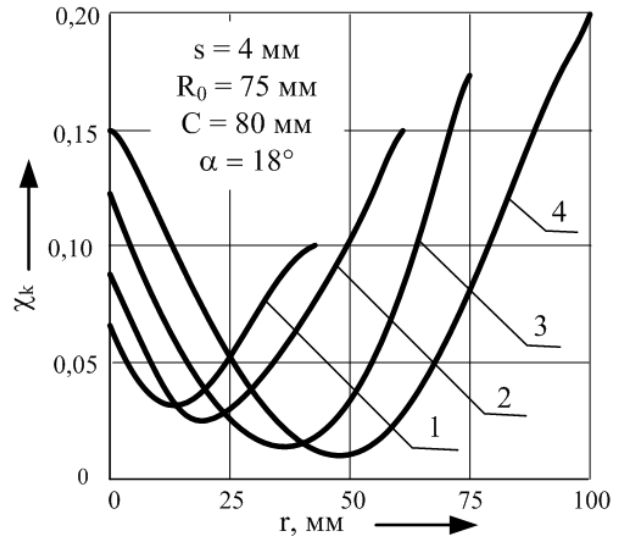


Рис. 6. Распределение значений коэффициента скольжения по ширине полки: 1, 2, 3, 4 — $b = 40, 60, 80$ и 100 мм соответственно

Производя замену времени прокатки t в формуле (2) на отношение длины ленты в рулоне L_p к скорости профилирования V_f , а затем — вводя коэффициент скольжения согласно зависимости (22), можно подсчитать величину износа ролика за время прокатки рулона следующим образом:

$$\omega_L = \eta \cdot \frac{\sigma_k \cdot \chi_k \cdot L_p}{H_\sigma}. \quad (23)$$

Для определения длины ленты в рулоне L_p намотку ленты можно описать спиралью Архимеда [5]:

$$\rho = a \cdot \varphi, \quad (24)$$

где ρ — значение радиус-вектора; φ — значение угла поворота радиус-вектора; a — параметр, представляющий собой отношение линейной и угловой скоростей при рассмотрении перемещения материальной точки по спирали ($s/2\pi$).

Спрямление спирали (24) в рулоне с внешним и внутренним диаметром D и d соответственно приводит к следующей зависимости:

$$L_p = L_D - L_d = \frac{s}{4\pi} \left[\left(\frac{\pi}{s} \right)^2 (D^2 - d^2) + \ln \left(\frac{D}{d} \right) \right]. \quad (25)$$

Для случая неплотной намотки введём коэффициент плотности намотки K :

$$K = \frac{s}{s + \Delta} = \frac{2sN}{D - d}, \quad (26)$$

где Δ — радиальный зазор между витками; N — число витков рулона.

Введённый коэффициент (26) достаточно просто рассчитать, выполнив предварительный подсчёт числа витков в рулоне (три других параметра обычно

приводятся в сертификате на поставку материала). Как следует из формулы (26), при плотной намотке зазор $\Delta = 0$ и $K = 1$.

Для случая неплотной намотки рулона формула (25) принимает следующий вид:

$$L_p = \frac{s}{4\pi K} \ln\left(\frac{D}{d}\right) + \left[\left(\frac{\pi K}{4s}\right)(D^2 - d^2)\right]. \quad (27)$$

Отметим, что по сравнению с довольно громоздкой зависимостью для вычисления длины ленты в рулоне без учёта плотности намотки [4], предлагаемая формула (27) позволяет получать более точные значения. Впрочем, для рулонов с $d = 580$ мм, $D = 1850$ мм при толщинах от 0,7 мм до 3,0 мм сравнение результатов расчётов в обоих подходах показало, что их отличие не превышает 2%. А сравнение тех же результатов с расчётом по формуле (27) для рулонов, поставляемых Новолипецким металлургическим комбинатом, показало, что наиболее точные значения всё же даёт формула (25). Здесь отклонения расчётных данных от показаний счётчиков метража на профилировочных линиях НПО «ИДМ» (г. Ульяновск) не превышали 0,6%.

Таким образом, все параметры, входящие в формулу расчёта радиального износа (23), определены и она пригодна к выполнению расчётов. Однако на практике часто используют так называемый удельный износ.

Производя деление обеих частей зависимости (23) на длину рулона, получим величину радиального износа ролика в расчёте на единичную длину профиля (удельный износ):

$$\omega = \frac{\omega_L}{L_p} = \eta \cdot \frac{\sigma_k \cdot \chi_k}{H_\sigma}. \quad (28)$$

Учитывая, что удельный износ, определяемый зависимостью (28), является величиной весьма малой, её принято умножать на 10^6 . Следует также отметить, что при измерении длины рулона в метрах, удельный износ имеет размерность мкм/м.

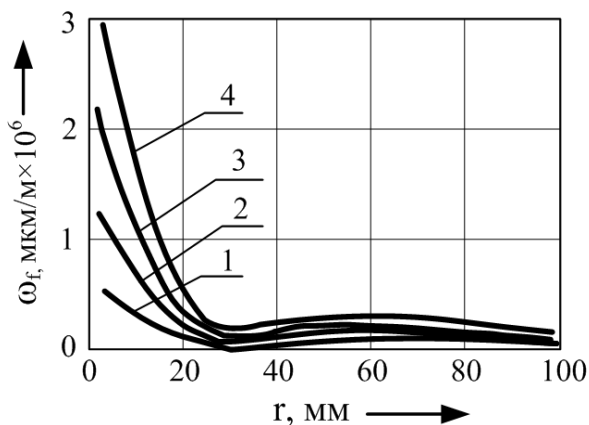


Рис. 7. Распределение удельного износа конической части нижнего ролика по его образующей: 1 – 4 – $s = 1, 2, 3$ и 4 мм соответственно

На рис. 7 представлено распределение удельного износа вдоль образующей конического участка нижнего ролика на основании зависимости (28) ($b = 100$ мм, $C = 80$ мм, $\alpha = 40^\circ$, $\theta = 20^\circ$, материал заготовки – ст3; межклетьеовое расстояние, размеры роликов, скорость профилирования приняты равными соответствующим параметрам профилировочных станков НПО «ИДМ» (г. Ульяновск)). Как показывает рис. 7, наибольший износ нижнего ролика второго перехода имеет место вблизи угловой зоны профиля. Характерно снижение удельного износа практически до нулевого значе-

ния на уровне, где скорость скольжения близка к нулю (примерно соответствует положению центра тяжести профиля).

На рис. 8 представлены зависимости радиального износа нижнего ролика третьего перехода от ширины полки и толщины заготовки при производстве 10^5 погонных метров швеллерных профилей из стальной ленты по технологии интенсивного деформирования в соответствии с зависимостью (23).

Радиальный износ существенно зависит от свойств поверхности исходной заготовки и смазки. В работе [6] приводятся данные по износу нижних роликов при традиционном профилировании горячекатаной ленты, на поверхности которой присутствовала окалина. Петрографический анализ выявил в ней единичные зёрна кварца, стекловидные фазы и глобулы закиси железа. Даже при использовании эмульсола Э-1 наблюдается повышенный износ роликовой оснастки (табл. 1). Сравнение экспериментальных данных табл. 1 с расчётными значениями износа по модели (23) показывает их достаточно большое расхождение. В той же работе [6] показаны микрорельефы поверхностей износа, свидетельствующие об абразивном износе. Дело в том, что твёрдость частиц окалина может в 3 – 5 раз превышать твёрдость поверхности формирующих роликов.

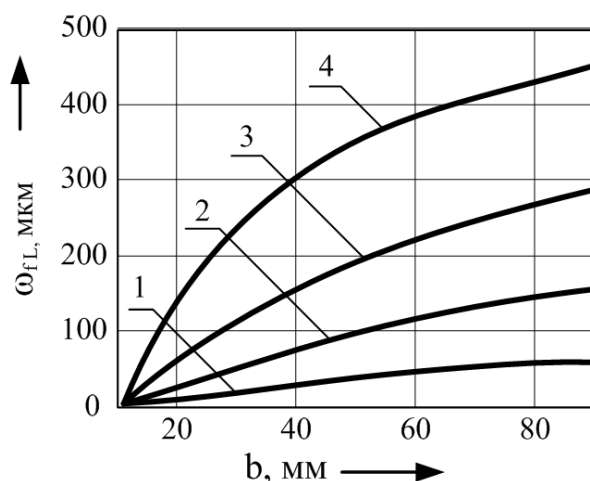


Рис. 8. Радиальный износ нижнего ролика после профилирования 10^5 погонных метров швеллерного профиля: 1 – 4 – $s = 1, 2, 3$ и 4 мм соответственно

Таблица 1

Радиальный износ нижних роликов при ТП (справочные данные)

Размер сечения профиля, мм и материал заготовки	L, тыс. погонных метров	Радиальный износ, мкм		Номер клетки /ролик	Эскиз профиля
		Эксперимент	Расчёт***		
40×40×3 (Ст3)	85	250*	232	3/Н	
40×40×2,5 (Ст3)	191	450*	334	4/Н	
35×50×20×4 (Ст3)	153	700*	550	4/Н	
50×40×12×2,5 (Ст3)	90	500*	110	3-4/Н	
60×32×2,5 (Ст3)	189	600*	148	4/Н	
60×60×3 (Ст3)	81	305**	171	2/Н	
* – по данным работы [6]; ** – по данным работы [4]; *** – по предлагаемой модели					

В табл. 2 приведены экспериментальные данные и результаты расчёта по модели (23) радиального износа при использовании МИД для первых трёх переходов. Экспериментальные данные снимали путём установки роликов в цен-

трах токарного станка и монтажа индикатора часового типа ИЧ-5 с державкой на его суппорт. Диапазон измерений ИЧ-5 – (0 – 5) мм, точность – 0,01 мм.

Таблица 2

Радиальный износ нижнего ролика при формовке швеллерных профилей МИД (по данным НПО «ИДМ»)

Размер сечения профиля, мм и материал заготовки	L, тыс. погонных метров	Радиальный износ, мкм		Номер клетки /ролик	Эскиз профиля
		Эксперимент	Расчёт		
50×34×2 (08пс)	182	70; 110; 160	46;85;178	1;2;3/Н	
30×40×2 (08пс)	390	120;290;460	145;320;537	1;2;3/Н	
20×35(×15)×2 (08пс)	268	80;210;330	109;234;382	1;2;3/Н	
20×15(×6)×2(08пс)	130	10;60;170	20;40;205	1;2;3/Н	
32×25×1,5 (08пс)	580	70;190;340	94;215;390	1;2;3/Н	
37×30(×12) ×1,5 (08пс)	230	40;120;190	50;100;175	1;2;3/Н	
30×28(×3) ×1,5 (08пс)	318	50;140;210	72;133;234	1;2;3/Н	
* – по данным работы [3]; ** – по данным работы [6]; *** – по предлагаемой модели					

Легко заметить, что экспериментальные значения износа на 15 – 20% выше расчётных значений, что объясняется некоторыми принятыми упрощениями в модели для удобства расчёта. В частности, зависимости протяжённости зоны плавного перехода L и удельного момента T для угловой зоны в формуле (7) не учитывают упрочнение металла заготовки. Вместе с тем известно, что упрочнение в угловой зоне может достигать 15 – 20%, а протяжённость зоны плавного перехода также увеличивается при наличии упрочнения. Модель зоны плавного перехода и формула удельного момента с учётом упрочнения приведены в работе [1]. Условия контактного трения, включающие качество поверхности заготовки, шероховатость поверхности инструмента, средство материалов, сорт смазки и способ её нанесения можно учесть корректировкой коэффициента поверхностного износа в уравнении (2). В настоящее время ведётся работа по сбору статистических данных по износу формующего инструмента на предприятиях, применяющих метод интенсивного деформирования в профилировании (в Российской Федерации их более 700) с целью расширения области применения разработанной модели, в частности, на номенклатуру сложных многоэлементных профилей.

Таким образом, разработанная модель радиального износа формующих роликов удовлетворительно согласуется с экспериментальными данными и может использоваться для предотвращения ухудшения качества профильной продукции из-за износа технологической оснастки, а также для прогнозирования её срока службы (в том числе для формулировки гарантийных условий разработчика технологии на формующий инструмент).

Библиографический список

1. Филимонов А.В., Филимонов С.В. Изготовление полузакрытых гнутых профилей в роликах методом интенсивного деформирования. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2010. 206 с.
2. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. 444 с.
3. Jendel, T. Prediction of wheel profile wear – comparisons with measurements. Wear, 2002. 253. P. 89 – 99.
4. Galkhar A.S., Meehan P.A., Daniel W.J., Ding S.C. A method of approximate tool wear anlysys in cold roll forming // The 5th Australasian congress on Applied Mechanics (ACAM-2007), 10-12 December 2007, Brisbane, Australia. Brisbane: 2007. P. 123 – 128.
5. Позняк Э.Г., Шикин Е.В. Дифференциальная геометрия. М.: Изд-во МГУ, 1990. 384 с.
6. Чекмарёв А.П., Калужский В.Б. Гнутые профили проката. М.: Металлургия, 1974. 264 с.



- Лапшин Владимир Иванович,
технический директор ООО «Спецтехнология»
- Илюшкин Максим Валерьевич, к.т.н.,
зам. генерального директора ОАО «Ульяновский НИИТ»
- Филимонов Сергей Вячеславович, к.т.н.,
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)
- Лисин Игорь Олегович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Марковцева Валения Владимировна, аспирантка кафедры «МиОМД» УлГТУ.



2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ И КАЧЕСТВА ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

УДК 621.77

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ В РОЛИКАХ ФАСОННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

Голубчик Э.М., Хохлов А.В., Архандеев А.В.

В настоящее время одним из лидеров производства гнутых профилей в России является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», который представлен на рынке металлопродукции широким сортаментом гнутых профилей. За время работы освоен выпуск более 750 профилеразмеров из сталей от малоуглеродистых (Ст3пс, 08пс) до легированных (10ХНДП, 09Г2, 09Г2С, 10Г2ФБЮ). По проекту в состав цеха включены четыре профилегибочных специализированных стана (ПГС) и агрегат продольной резки [1].

С 2008 г в ОАО «ММК» ведется активная работа по освоению технологий производства гнутых профилей из новых перспективных марок стали, включая высокопрочные. Наиболее интенсивное развитие данное направление получило в изготовлении фасонных гнутых профилей – для дорожного ограждения, мостостроения и машиностроения [2 – 5].

В последнее время в отечественном автомобилестроении появилась острая потребность в фасонных гнутых профилях швеллерного типа, предназначенных для изготовления лонжеронной рамы грузовых автомобилей новых моделей (таких как КАМАЗ, МАЗ, БелАЗ, Урал) из современных марок стали повышенной и высокой прочности (например, S500MC, S550MC, а также S600MC в соответствии с требованиями EN 10149-2). При освоении технологии производства данного вида гнутых профилей возникла проблема обеспечения требуемого уровня геометрических размеров, формы профиля, а также появление многочисленных дефектов, связанных с нарушением сплошности металла (наблюдалось повышенное трещинообразование). Характерный пример равнополочного гнутого швеллера, а также лонжеронной рамы из него представлен на рис.1 - 2.



Рис.1. Внешний вид лонжеронной рамы из гнутого профиля грузового автомобиля с технологическими отверстиями

Следует отметить, что производство фасонных гнутых профилей в ОАО «ММК» организовано на ПГС «2-8х100-600» по принципу поштучной формовки, предусматривающей предварительный роспуск горячекатаной полосовой заготовки на мерные длины с последую-

щей формовкой в готовый профиль. Расчет калибровок по традиционным методам не позволял обеспечить требуемый уровень качественных показателей гнутых профилей швеллерного типа, что связано с особенностями химического состава высокопрочных марок стали, обладающих повышенной вязкостью и временным сопротивлением разрыву. Так, например, для стали марки S550MC σ_b может достигать значений 750 – 850 МПа, что при малых радиусах мест изгиба может приводить к повышенному трещинообразованию. Для построения рациональной калибровки и оценки напряженно-деформированного состояния было применено моделирование в программном комплексе DEFORM-3D.

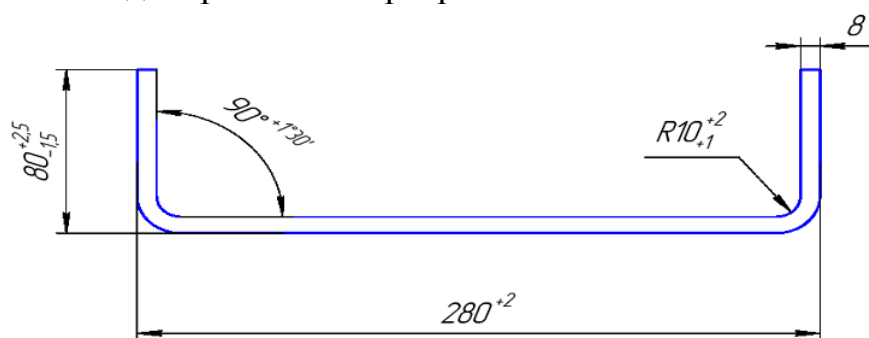


Рис.2. Швеллерный профиль 280×80×8 мм для лонжеронной рамы ОАО «КАМАЗ»

В качестве аналога обрабатываемого материала из библиотеки материалов DEFORM-3D была выбрана сталь марки AISI 2317. Это низколегированная марка стали с пределом текучести равным 530 Н/мм² и временным сопротивлением 770 Н/мм². Данная сталь является наиболее близким аналогом исследуемой стали S550MC.

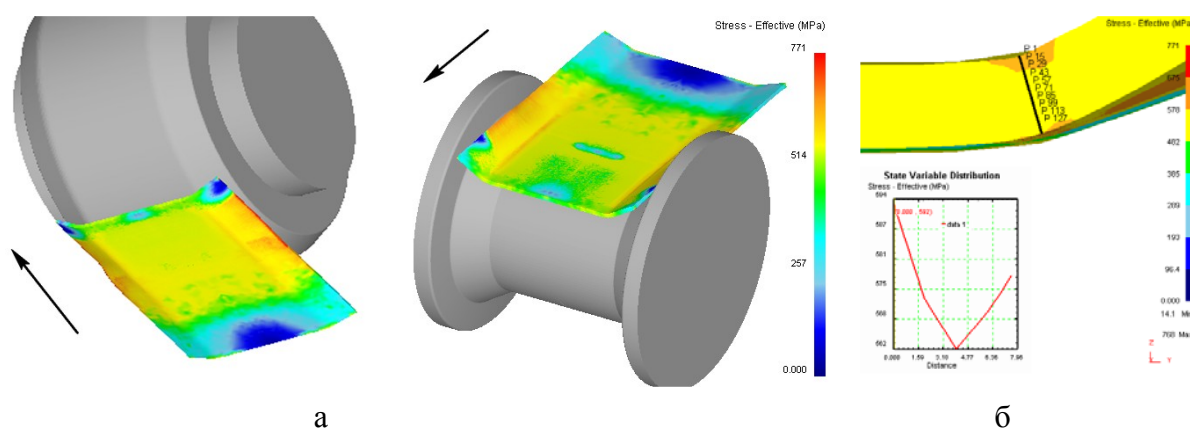


Рис.3. Распределение полей напряжений по поверхности обрабатываемого тела (а) и в поперечном сечении места изгиба (б)

Далее была разработана схема моделирования, которая предполагала последовательное прохождение обрабатываемого тела, через профилирующие клетки. Причем, в данной модели рассматривался установившийся процесс профилирования, поэтому динамический удар заготовки о профилирующие валки не учитывался.

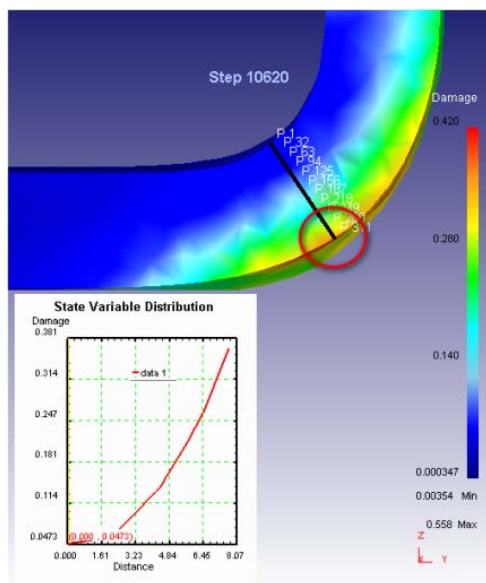


Рис. 4. Поля распределения критерия повреждений по поперечному сечению места изгиба в последней клетке при профилировании равнополочного швеллера из стали марки S550MC

На рис. 3 представлен характерный вид поля распределений напряжений на поверхности заготовки и в месте изгиба в начальных проходах. Анализируя каждый проход, были выведены закономерности изменения НДС металла по сечению в местах изгиба, например, такие как неравномерное возрастание напряжений в данной области и их максимальные значения.

Кроме того в процессе моделирования был проведен анализ вероятности разрушения высокопрочной заготовки при профилировании. Для этого использовался критерий Коккрафта – Латама (Cockcroft – Latham), предназначенный, в том числе, для вычисления места перелома или трещинообразования обрабатываемого тела в холодном состоянии от действия растягивающих напряжений. Исследуемая заготовка

рассматривается как сплошное тело, но в результате деформации в нем возникают микродефекты, плотность и объем которых и выражает значение данного показателя [7]. Рассчитывается он для каждого элемента обрабатываемого тела по формуле (1):

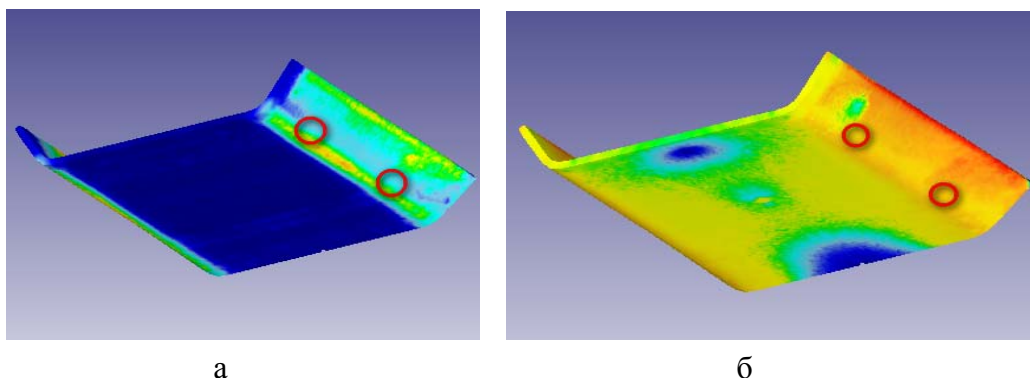


Рис. 5. Предположительные области для вырезки конструктивных элементов при сборке лонжеронной рамы: а – распределение критерия разрушения; б – распределение напряжений

$$D_f = \int_0^{\bar{\epsilon}} \frac{\sigma^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon}, \quad (1)$$

где σ^* – максимальное главное растягивающее напряжение; $\bar{\sigma}$ – интенсивность напряжений; $\bar{\epsilon}$ – накопленная пластическая деформация; $d\bar{\epsilon}$ – приращение накопленной деформации.

Также данный критерий можно использовать при расчете ресурса пластичности. Величина данного ресурса R_p определяется по формулам (2-3) путем сравнения текущего значения критерия Коккрафта – Латама с критическим значением D_k :

$$R_p = 1 - \frac{D}{D_k} \text{ при } D \leq D_k; \quad (2)$$

$$R_p = 0 \text{ при } D > D_k; \quad (3)$$

Благодаря данному показателю возможно определение локализации места, где с наибольшей вероятностью может произойти разрушение металла (например, образование трещины). На рис. 4 на примере последнего прохода представлены полученные поля распределения критерия повреждений по поперечному сечению места изгиба.

Следует отметить, что поле распределения данного критерия постепенно от прохода к проходу поднимается выше по подгибаемому элементу (полке), что является немаловажным т.к. следствием этого является рост напряженного состояния обрабатываемой заготовки и вызывает упрочнение данной области (рис. 5). Эта область также важна с точки зрения потребителя при сборке лонжеронной рамы, в конструкции которой предусмотрена вырезка в основании подгибаемой полки конструктивных отверстий.

Проведенное моделирование позволило спроектировать калибровку для формовки равнополочного швеллера размерами 259x72x8 мм из стали марки S550MC для автомобиля КАМАЗ новой конструкции, исключая образование трещин (рис. 6).

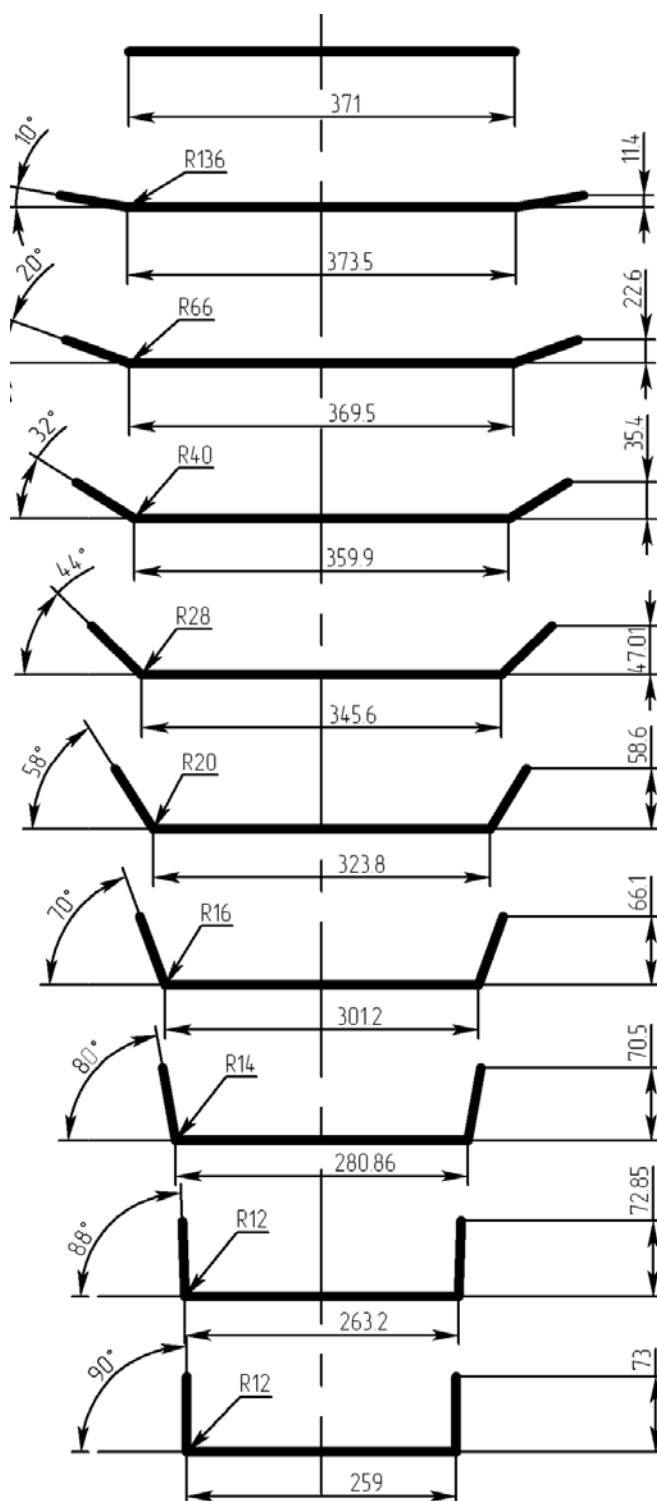


Рис. 6. Схема формовки швеллера 259x72x8 мм

Проведенные исследования позволили определить рациональную калибровку с уменьшенными радиусамигиба по проходам для производства лонжеронной заготовки швеллерного типа из новых перспективных марок стали повышенной прочности, а также оценить вероятные критические области с точки зрения возможного появления дефектов поверхности и сплошности металла. Внедрение данной методики конструи-

рования и разработки технологии профилирования позволяет существенно повысить эффективность производства новых видов гнутых профилей

Библиографический список

1. Бельшев, А. С., Голубчик, Э. М., Щуров, Г. В., Грядневский, В. И. Перспективы развития производства гнутых профилей на ММК //Сталь. - 2007. - №2. –С.76.
2. Голубчик, Э.М. Освоение новых видов холодногнутых профилей в ЛПЦ-7 ОАО «ММК» // Бюл. НТИ. Черная металлургия. - 2008. -№4. –С.93.
3. Голубчик, Э. М., Щуров, Г. В., Чукин, М.В. Особенности производства фасонных холодногнутых профилей из сталей повышенной прочности //Сб. докл. II междунар. конгресса «Цветные металлы 2010» в составе XVI междунар. конф. «Алюминий Сибири», IV конф. «Металлургия цветных и редких металлов», VI симпозиума. «Золото Сибири».–Красноярск: СФУ, ООО «Версо». 2010. -С.686-688.
4. Golubchik, E.M., Shchurov, G. V. Chukin, M. V. Features of shaped cold-bended sections of production of heavy-duty steels // CIS Iron and Steel Review · 2010. – P.29 – 32.
5. Голубчик, Э.М., Щуров, Г.В. Галкин, В.В. Архандеев, А.В. Освоение производства новых видов гнутых профилей в ОАО «ММК» // Труды VIII конгресса прокатчиков. Т2. М. 2011. – С.194-198.
6. Голубчик, Э.М., Щуров, Г.В., Архандеев, А.В., Хохлов, А.В. Опыт производства гнутых профилей повышенного качества // Инновационные технологии ОМД: сб. докладов. НИТУ МИСиС, - 2011. – С. 282-287.
7. Sonia Benesova, Jan Krnac / Application of Cockroft-Latham criterion in FEM analysis of wire fracture in conventional drawing of high carbon steel wires / Pittsburgh.2008.



• Голубчик Эдуард Михайлович, к.т.н., доцент,
доцент ФБГОУ ВПО «МГТУ им.Г.И. Носова»

• Хохлов Андрей Васильевич,
аспирант ФБГОУ ВПО «МГТУ им.Г.И. Носова»

• Архандеев Александр Владимирович,
ведущий инженер ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».



УДК 621.981

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПЕРФОРИРОВАННЫХ ЗАГОТОВОК В РОЛИКАХ

Дементьев К.С., Филимонов С.В., Филимонов В.И.

В последние годы в профилировании всё чаще приходится иметь дело с профилированием перфорированных заготовок в роликах для производства гнутых профилей проката с отверстиями. В некоторой степени закономерности изменения форм и размеров круглых отверстий на подгибаемых полках при профилировании изучены И.Н. Гудковым [1]. Однако те же закономерности для прямоугольных отверстий пока остаются предметом экспериментальных исследований. Особенность состоит в том, что разработка теоретических моделей для таких процессов представляет собой достаточно сложную проблему. Это связано с необходимостью решения задач пластического формоизменения оболочечно-дискретной структуры с элементами жёсткости в форме углов. Некоторое приближение решений, конечно, можно получить с применением конечноэлементного моделирования [2], однако эти результаты подлежат, тем не менее, экспериментальной проверке для обеспечения возможности приложения результатов к реальным процессам формообразования гнутых профилей.

Авторы статьи считают целесообразным и полезным для других исследователей изложить выработанный ими подход к экспериментальному исследованию перфорированных заготовок, цель которого состоит в выявлении закономерностей формообразования в роликах заготовок с прямоугольными отверстиями различных размеров при их различном расположении на элементах профиля.

В качестве выходных параметров используются логарифмические деформации, исчисляемые на основе исходных и конечных размеров отверстий на технологических переходах.

Варьируемыми факторами являются: 1) Относительные размеры отверстий; 2) Расположение отверстий на элементах профилей; 3) Относительная ширина полки (за счёт варьирования толщины заготовки); 4) Углы подгибки (жёсткий и мягкий режимы); 5) Наличие/отсутствие элементов жёсткости; 6) Механические свойства заготовки.

Используется оборудование для перфорации и формовки профиля:

- 1) Перфорирующий пресс с набором пуансонов и матриц (альтернативно – пробивные прессы с ЧПУ типа True Punch и т.п.- предпочтительнее, поскольку в стандартном магазине имеется инструмент подходящей формы и размеров);
- 2) Профилировочный станок (шестиклетьевой) с комплектами инструмента для формовки профилей швеллерного и С-образного типов (ширина дна профиля примерно соизмерима с шириной полок ≈ 60 мм) на две толщины: 0,8 (0,6) мм и 1,5 мм

Объектом исследования являются перфорированные заготовки под швеллерный и С-образный профили сходных габаритов, формируемые за 6 (шесть) технологических переходов.

Предметом исследования является изменение размеров прямоугольных отверстий различных типоразмеров и расположения на заготовке в процессе деформирования в каждом из технологических переходов.

Программа и организация исследований предусматривают решение ряда задач:

1. Определение оснастки: Подобрать из имеющейся оснастки (неиспользуемой или «бросовой») оснастку на изготовление профиля С-образного профиля с размерами полок порядка 60 мм и соизмеримым размером дна с толщиной стенки $s = 0,8$ мм (ширина отбортовки значения не имеет, однако желательно, чтобы она была более $5s$). Технология производства указанных профилей должна была ранее экспериментально отработана. Изготовление осуществляется за шесть переходов. Рассмотреть возможность изготовления в этой оснастке швеллерного профиля указанных размеров, возможно, с использованием межклетевых ограничителей для ориентации заготовки. Выбор базового экспериментального комплекта следует производить с учётом возможности переточки части или всего комплекта роликов под толщину 1,5 мм. Если это нецелесообразно, следует использовать аналогичный комплект под толщину 1,5 мм. Радиусы зон изгиба профилей должны составлять $2s$.

2. Материал и размеры заготовок: Следует предварительно определить ширину заготовок толщиной 0,8 мм и 1,5 мм (в журналах отработки, на чертежах оснастки, или в технологических процессах эти величины обычно указываются – их следует внести в табл. 1). Длина заготовок определяется формулой: $(L_m \times 6 + 600)$ мм (где L_m – межклетевое расстояние профилировочного станка). Сведения о цельных заготовках даны в табл. 1.

3. Перфорация отверстий: Определить оборудование и подобрать подходящие пуансоны и матрицы для выполнения отверстий согласно рис. 1 – 6. Возможна некоторая корректировка размеров отверстий. В этом случае табл. 2 методики также подлежит корректировке. Все заготовки следует маркировать в соответствии с колонкой 2 табл. 1. Общая сводка по перфорирующему инструменту приведена в табл. 2.

Таблица 1

Заготовки для экспериментальных исследований

Заготовка под профиль	№ заготовки	Толщина заготовки	Материал	Ширина развертки	Режим формовки
Швеллерный	1	$S = 0,8$ мм	Ст3 или 08кп	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
	2	$S = 0,8$ мм	В95	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
	3	$S = 1,5$ мм	Ст3 или 08кп	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
	4	$S = 1,5$ мм	В95	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
С-образный	5	$S = 0,8$ мм	Ст3 или 08кп	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
	6	$S = 0,8$ мм	В95	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
	7	$S = 1,5$ мм	Ст3 или 08кп	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
	8	$S = 1,5$ мм	В95	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 15^\circ$
Швеллерный	9	$S = 0,8$ мм	Ст3 или 08кп	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 30^\circ$
	10	$S = 0,8$ мм	В95	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 30^\circ$
	11	$S = 1,5$ мм	Ст3 или 08кп	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 30^\circ$

Заготовка под профиль	№ заготовки	Толщина заготовки	Материал	Ширина развертки	Режим формовки
	12	$S = 1,5 \text{ мм}$	B95	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 30^\circ$
С-образный	13	$S = 0,8 \text{ мм}$	Ст3 или 08кп	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 30^\circ$
	14	$S = 0,8 \text{ мм}$	B95	$l_{0,8} =$	$\alpha_k = 30^\circ$
	15	$S = 1,5 \text{ мм}$	Ст3 или 08кп	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 30^\circ$
	16	$S = 1,5 \text{ мм}$	B95	$l_{1,5} =$	$\alpha_k = 30^\circ$

Таблица 2

Инструмент для перфорации отверстий

Пуансоны	Размеры в плане, мм	Скругление	Расположение	Прим.
Малый	$b/2s \dots b/4s$	Нет	Согласно рис. 1 - 6	Наклонные отверстия располагают под углом 45°
Большой	$(b/2s \dots b/4s) \times 1,5$	Нет		
Средний	$(b/2s \dots b/4s) \times 2$	Нет		
Малый со скруглением	$b/2s \dots b/4s$	$r = (1 \dots 1,5)s$		

Разметка и исполнение отверстий на заготовках (1 – 16) осуществляется в виде блоков, каждый из которых определяется одним из рис. 1 – 6. Расстояние между блоками должно равняться межклетьевому расстоянию профилировочного станка (400 или 350 мм в зависимости от модификации станка). Наиболее целесообразно выполнять перфорацию всех шестнадцати заготовок на перфорирующем или многоцелевом станке с ЧПУ. При этом можно ограничиться единой программой перфорации с поправками на ширину и толщину заготовки. Во избежание дальнейших пересчётов, относящихся к локализации отверстий, целесообразно получить листинг программы разметки на станке с ЧПУ.

Схема 1 (рис. 1, номер 1 в круге). *Исследование влияния расположения отверстий с острыми углами на деформационные параметры отверстий, а также поведение отверстий, расположенных на зонах изгиба.*

Отверстия 1, 5, 7 выравниваются по левому краю, расположение других отверстий должно соответствовать рис. 1.

Схема 2 (рис. 2, номер 2 в круге). *Исследование влияния скругления отверстий на деформационные параметры отверстий.*

Здесь топология отверстий та же, что на рис. 1, однако отверстия имеют скругления в угловых зонах. Последующие исследования измерением твёрдости, по-видимому, позволят определить влияние скругления на степень упрочнения материала, прилегающего к угловым зонам и уровень остаточных напряжений.

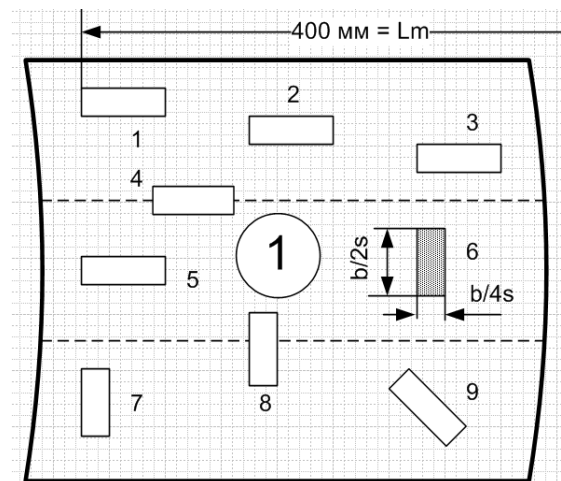


Рис. 1. Схема 1 (первый блок)

Схема 3 (рис. 3, номер 3 в круге). Исследование предельного расположения отверстий на подгибаемых полках. Выявление дефектов разрушения заготовки, продавливания отверстия и т.п.

Расположение отверстий под углом по ходу и против хода профилирования позволит установить чувствительность отверстий к получаемым деформациям в зависимости от их ориентации.

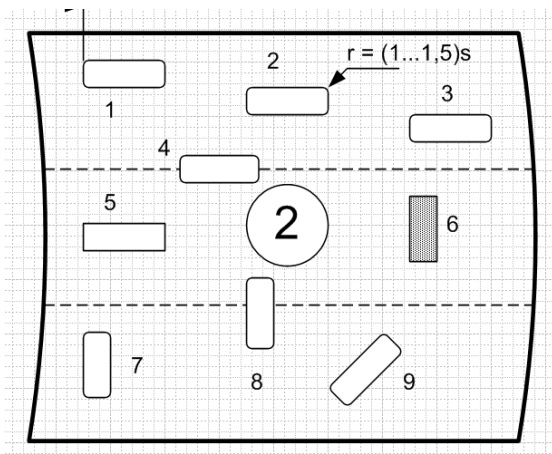


Рис. 2. Схема 2 (второй блок)

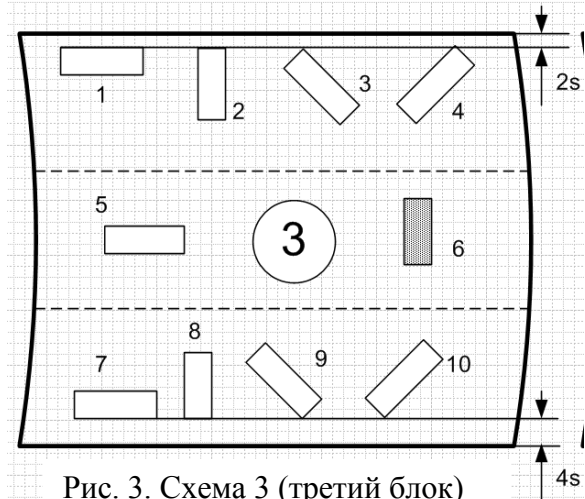


Рис. 3. Схема 3 (третий блок)

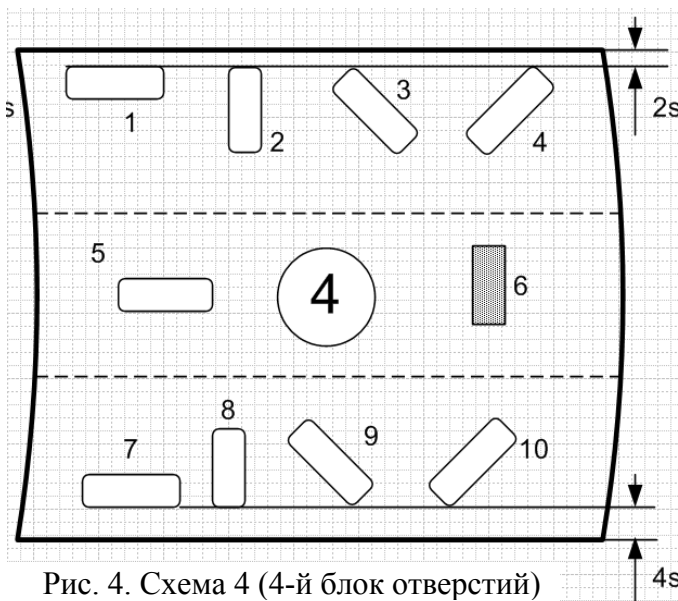


Рис. 4. Схема 4 (4-й блок отверстий)

Схема 4 (рис. 4, номер 4 в круге). Исследование предельного расположения отверстий со скруглением на подгибаемых полках. Выявление дефектов разрушения заготовки, продавливания отверстия и т.п. Изучается чувствительность заготовки к близко расположенным к краю заготовки отверстиям со скруглением. Выявляется влияние скругления на качество зоны, примыкающей к кромке.

Схема 5 (рис. 5, номер 5 в круге). Исследование влияния размеров отверстий и их расположения на

подгибаемых полках на деформационные характеристики отверстий.

Схема расположений отверстий на левой и правой полках одинаковая, с той лишь разницей, что на левой полке крупное отверстие расположено ближе к кромке, а на правой — к зоне изгиба, что может оказаться существенным для установления закономерностей деформирования. Что касается отверстий в дне профиля, то они служат преимущественно для контроля продольной деформации профиля в целом.

Схема 6 (рис. 6, номер 6 в круге). Исследование влияния размеров отверстий и их расположения под углом на подгибаемых полках и дне профиля на деформационные характеристики отверстий.

Здесь особенно важным является выявление влияния отверстий на формирование угловой зоны, а также влияние «попутного» и «встречного» расположения отверстий на подгибаемых полках на общий процесс деформирования.

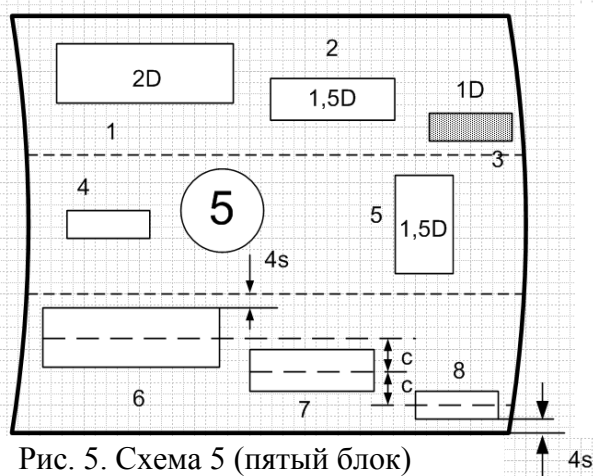


Рис. 5. Схема 5 (пятый блок)

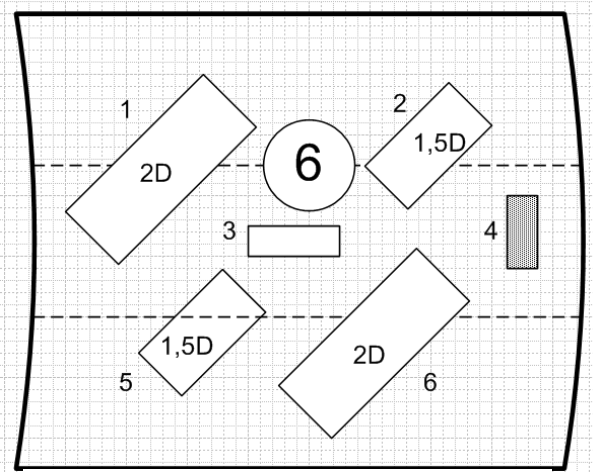


Рис. 6. Схема 6 (шестая группа)

Схемы расположения отверстий на заготовке под С-образный профиль в целом соответствуют схемам рис. 1 – 6, однако с той лишь разницей, что при разметке отступ от края заготовки для швеллерного профиля здесь заменяется отступом от линии сгиба заготовки, которая разделяет периферийный элемент и несущую полку.

РЕЖИМЫ ФОРМОВКИ И ПРОЦЕДУРЫ СНЯТИЯ ЗАМЕРОВ Последовательность формовки профилей приведена в табл. 3

Таблица 3

Последовательность и режимы формовки заготовок

Режим формовки	Профиль	Материал	Толщина заготовки	Номер заготовки	Номер экспер.
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	5	1
	С-обр.	B95	0,8 мм	6	2
	Установка ориентирующих проволок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	1	3
	Швеллер	B95	0,8 мм	2	4
	Удаление роликов 1-ой, 3-ей и 5-ой клеток и установка подряд остальных				
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	13	5
	С-обр.	B95	0,8 мм	14	6
	Установка ориентирующих проволок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	9	7
	Швеллер	B95	0,8 мм	10	8
	Проточка комплекта под толщину 1,5 мм				
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	7	9
	С-обр.	B95	1,5 мм	8	10
	Установка ориентирующих проволок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	3	11
	Швеллер	B95	1,5 мм	4	12
	Удаление роликов 1-ой, 3-ей и 5-ой клеток и установка подряд остальных				
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	15	13
	С-обр.	B95	1,5 мм	16	14

Режим формовки	Профиль	Материал	Толщина заготовки	Номер заготовки	Номер экспер.
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	11	15
	Швеллер	B95	1,5 мм	12	16

Характер профилирования для снятия замеров. Профилирование заготовок осуществляется дискретно для каждой полосы с её перемещением на величину межклетьевого расстояния в каждом такте эксперимента. Остановка станка осуществляется таким образом, чтобы начало каждого блока находилось непосредственно за очередной парой роликов. Замеры параметров отверстий осуществляются в каждом межклетьевом промежутке. Отклонения формы профиля (кромковая волнистость и прочее) устранению не подлежат, но их характеристики регистрируются (например, амплитуда и шаг волны, величина выпучивания дна и т.д.)

Примечание. Для облегчения замеров параметров отверстий можно также рекомендовать альтернативную процедуру формовки согласно табл. 4.

Таблица 4

Последовательность и режимы формовки заготовок

Режим формовки	Профиль	Материал	Толщина заготовки	Номер заготовки	Номер экспер.
Формовка только в первых двух клетях - замеры					
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	5	1
	С-обр.	B95	0,8 мм	6	2
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	1	3
	Швеллер	B95	0,8 мм	2	4
Удаление первой клетки, формовка только во 2-ой - замеры					
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	13	5
	С-обр.	B95	0,8 мм	14	6
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	9	7
	Швеллер	B95	0,8 мм	10	8
Формовка только в 3-ей и 4-ой клетях - замеры					
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	5	9
	С-обр.	B95	0,8 мм	6	10
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	1	11
	Швеллер	B95	0,8 мм	2	12
Удаление третьей клетки, формовка только в 4-ой - замеры					
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	13	13
	С-обр.	B95	0,8 мм	14	14
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	9	15
	Швеллер	B95	0,8 мм	10	16
Формовка только в 5-ой и 6-ой клетях - замеры					
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	5	17
	С-обр.	B95	0,8 мм	6	18
	Установка ориентирующих проводок				

Режим формовки	Профиль	Материал	Толщина заготовки	Номер заготовки	Номер экспер.
	Швеллер	08кп	0,8 мм	1	19
	Швеллер	B95	0,8 мм	2	20
Удаление пятой клетки, формовка только в 6-ой - замеры					
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	13	21
	С-обр.	B95	0,8 мм	14	22
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	0,8 мм	9	23
	Швеллер	B95	0,8 мм	10	24
Проточка комплекта под толщину 1,5 мм					
Формовка только в первых двух клетях - замеры					
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	7	25
	С-обр.	B95	1,5 мм	8	26
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	3	27
	Швеллер	B95	1,5 мм	4	28
Удаление первой клетки, формовка только во 2-ой - замеры					
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	15	29
	С-обр.	B95	1,5 мм	16	30
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	11	31
	Швеллер	B95	1,5 мм	12	32
Формовка только в 3-ей и 4-ой клетях - замеры					
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	7	33
	С-обр.	B95	1,5 мм	8	34
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	3	35
	Швеллер	B95	1,5 мм	4	36
Удаление третьей клетки, формовка только в 4-ой - замеры					
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	0,8 мм	15	37
	С-обр.	B95	0,8 мм	16	38
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	11	39
	Швеллер	B95	1,5 мм	12	40
Формовка только в 5-ой и 6-ой клетях - замеры					
Мягкий $\alpha_k = 15^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	7	41
	С-обр.	B95	1,5 мм	8	42
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	3	43
	Швеллер	B95	1,5 мм	4	44
Удаление пятой клетки, формовка только в 6-ой - замеры					
Жесткий $\alpha_k = 30^\circ$	С-обр.	08кп	1,5 мм	15	45
	С-обр.	B95	1,5 мм	16	46
	Установка ориентирующих проводок				
	Швеллер	08кп	1,5 мм	11	47
	Швеллер	B95	1,5 мм	12	48

Эксперименты согласно табл. 4 дают для мягкого режима лишь половину экспериментальных данных и несколько ухудшают чистоту эксперимента из-за отсутствия эффекта «жёстких концов», что требует направляющих устройств

для имитации условий реального эксперимента. Однако удобство регистрации данных (измерение и фотографирование) существенно перекрывает указанные недостатки. Поэтому программу табл. 4 следует считать **предпочтительной**.

Инструменты, снятие замеров с их помощью и оформление протоколов измерений приведены ниже.

Инструменты: штангенциркуль точностью 0,01 мм (или индикаторная скоба) – измерение размеров отверстий; рулетка с ценой деления 1 мм – измерение протяжённости зоны плавного перехода; угломер с ценой деления 30 мин. – измерение углов наклона отверстий и углов между сторонами отверстий; фотоаппарат Canon (или другой, короткофокусный) с разрешением не менее 5 Мегапикселей. Каждый блок в межклетьевом пространстве фотографируется, особенности заготовки и дефекты также фотографируются. Если возникают неудобства замера отверстий, возможно использование клейкой недеформируемой ленты с напылением через отверстия быстросохнущей краски. Затем плёнка снимается, на ней маркируется направление профилирования, наносится номер заготовки и номер перехода, после чего проводятся замеры. Если эксперименты реализуются по табл. 4, то процедура получения данных существенно облегчается, поскольку они будут сниматься с заготовок вне профилировочного станка.

Методика снятия замеров. Расстояния между сторонами отверстий снимаются пятикратно с примерно равномерным шагом по ходу профилирования с отсчётом от левого верхнего угла отверстия (рис. 7). Углы ориентации отверстий также замеряют пятикратно по характерным точкам вблизи углов (рис. 7) по отношению к направляющей линейке, выставленной в направлении профилирования. Следует предварять значение угла знаками «+» или «-». Вид на полку принимается «изнутри профиля» (параллельно линии ортогонального проецирования центра тяжести сечения на полку или её мысленное продолжение). Результаты измерений заносятся в протоколы.

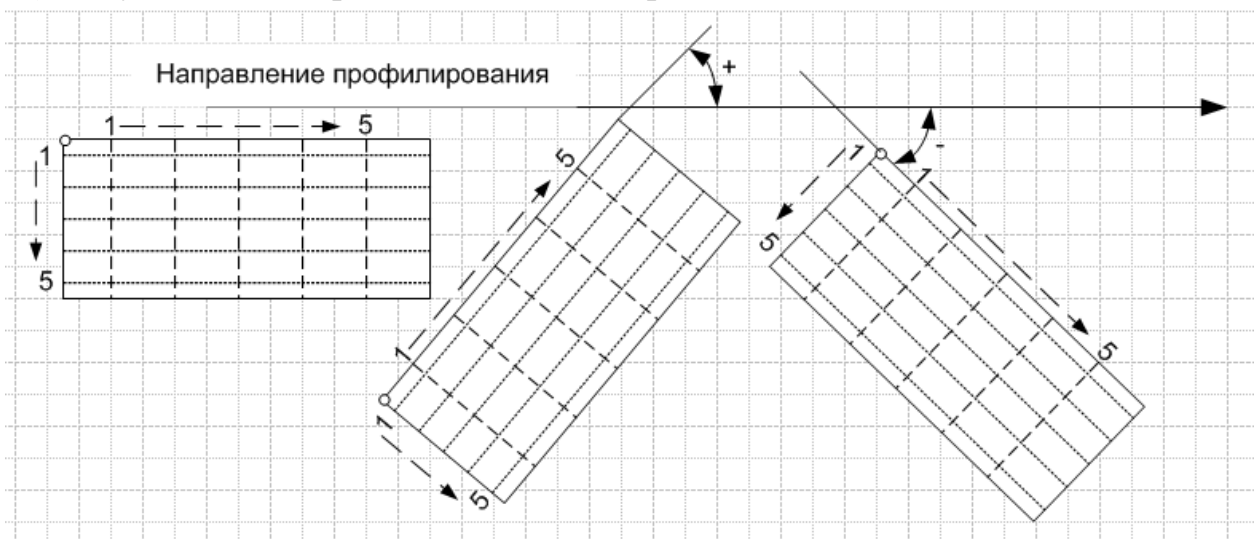


Рис. 7. Точки замеров расстояний между сторонами и углов расположения отверстий

Оформление протоколов измерений. Протоколы измерений формируются на основе табл. 4. Номер протокола совпадает с номером заготовки. В протокол вносятся данные об отверстиях перед началом эксперимента (т.е. о недеформированной заготовке), что отмечается экспериментом № 0 в левой колонке протокола. После заполнения протокола по «нулевому» эксперименту, выполняется очередной эксперимент согласно табл. 4. После каждой стадии деформирования проводятся измерения отверстий по каждому из блоков. Номера экспериментов для заготовок сведены в табл. 5.

Таблица 5

Соответствие экспериментов номерам заготовок

№ заг.	Эксперим.	№ заг.	Эксперим.	№ заг.	Эксперим.	№ заг.	Эксперим.
1	0, 3, 11, 19	5	0, 1, 9, 17	9	0, 7, 15, 23	13	0, 5, 13, 21
2	0, 4, 12, 20	6	0, 2, 10, 18	10	0, 8, 16, 24	14	0, 6, 14, 22
3	0, 27, 35, 43	7	0, 25, 33, 41	11	0, 31, 39, 47	15	0, 29, 37, 45
4	0, 28, 36, 44	8	0, 26, 34, 42	12	0, 32, 40, 48	16	0, 30, 38, 46

Однако последовательность проведения экспериментов должна подчиняться данным табл. 4 (см. последнюю колонку). Ниже, в табл. 6 приводится пример оформления протокола заготовки № 5. В графу «Примечания» табл. 6 вносятся дополнительные сведения по профилированию или измерениям (параметры кромковой волнистости, изгиб заготовки, нарушения сплошности и т.п.). Протоколов типа приведенного выше должно быть 16 (по числу заготовок).

Таблица 6

Протокол № 5 (заготовка 5) – пример оформления

№ эксп.	№ блока	№ отверст.	A	b	γ	Примечания
0	1(...6)	1....				Исходная перфорированная заготовка
		9 (от 6 до 10 согл. рис. 1 – 6).				
1 До 32 (табл. 4)	1(...6)	1...				Эксп. №1
		9 (от 6 до 10 согл. рис. 1 – 6).				

Формообразование	№№ экспериментов	Фамилия, И.О. профилировщика	Дата	Подпись
Измерения	№№ заготовки и блоков	Фамилия, И.О. исследователя	Дата	Подпись

Обработка результатов исследования. После оформления протоколов измерений последние подлежат обработке в среде MS EXCEL. После предварительной обработки по каждому параметру отверстия (вычисление среднего и среднеквадратичного отклонения) данные по каждому отверстию группируются по номерам экспериментов в соответствии с табл. 6, что позволяет проследить изменение деформаций отверстий по переходам. В дальнейшем все результаты статистической обработки подлежат анализу для выявления общих закономерностей формообразования перфорированных заготовок, что составляло цель экспериментальных исследований.



- Дементьев Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Филимонов Сергей Вячеславович, к.т.н., генеральный директор ООО «Спецтехнология»
- Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ.



УДК 621.981

ОСОБЕННОСТИ ОТРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ В РОЛИКАХ Т-ОБРАЗНОГО ПРОФИЛЯ

Лапин В.В., Баранов А.С., Филимонов С.В.

В последнее десятилетие достаточно широкое распространение получил метод интенсивного деформирования [1], применяемый для формовки многоэлементных гнутых профилей в профилировочных машинах. Этот метод позволяет минимизировать число переходов и применять компактное профилировочное оборудование для мелкосерийного производства гнутых профилей, в частности, Т-образного профиля 80×50×1,2 мм для крепления утеплителя вентилируемых фасадов. Материал заготовки профиля – низкоуглеродистая сталь. Указанный профиль содержит следующие конструктивные элементы жёсткости: отбортовки и продольные рифты на горизонтальных полках, элемент двойной толщины, представляющий собой вертикальную стенку.

Разработка технологии производства этого профиля за ограниченное число переходов вызывает определённые трудности, связанные с возникновением ряда дефектов, обусловленных конструкцией профиля. Во-первых, значитель-

ная ширина горизонтальных полок с продольными рифтами существенно повышает общую жёсткость подгибаемых элементов, что приводит к изгибу, излому и закусыванию периферийных участков заготовки. Во-вторых, рифты на горизонтальных полках и сравнительно высокая стенка (вертикальный элемент двойной толщины) приводят к градиенту перемещений по высоте профиля и локальному выпучиванию элементов горизонтальных полок и вертикальной стенки, что проявляется в возникновении линий Чернова-Людерса с нарушением покрытия. В-третьих, малые радиусы изгиба, особенно у вершины элемента двойной толщины, при жёсткой схеме формовки приводят к разрушению профиля. В-четвёртых, существенное упрочнение металла у вершины элемента двойной толщины вызывает значительное упругое пружинение. Указанные дефекты (рис. 1) выявлены при отработке технологии, предусматривающей формовку профиля только в горизонтальных роликах за 8 технологических переходов. При этом продольные рифты горизонтальных полок формовали в первом переходе.

Предотвращение указанных дефектов можно обеспечить на основе моделирования процесса формообразования и определения основных параметров напряжённо-деформированного состояния заготовки для выработки приемлемых технологических режимов. Однако моделирование процесса формоизменения заготовки на основе моделей механики деформируемого твёрдого тела с получением решений в аналитическом виде вызывает существенные трудности из-за взаимосвязи многих параметров. Поэтому применили конечно-элементное моделирование процесса с использованием модуля LS-dyna прикладной программы ANSYS.

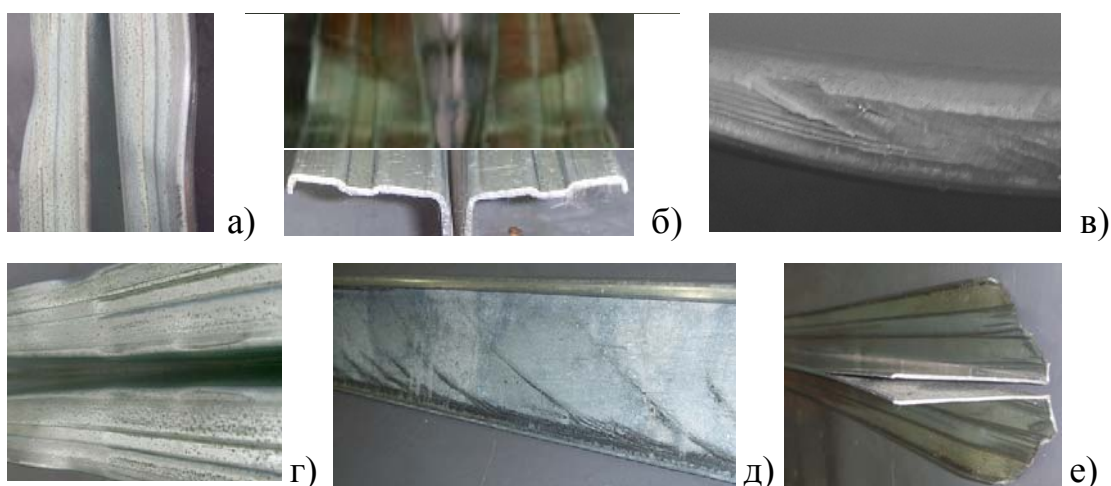


Рис. 1. Дефекты заготовки Т-образного профиля при её формовке:

а – изгиб полок; б – излом полок и раскрытие (внизу); в – закусывание полки; г – локальное выпучивание горизонтальных полок; д – линии Чернова-Людерса и нарушение покрытия; е – разрушение заготовки

При этом предусматривали возможность применения межклетьевых проводок. Анализ предварительных экспериментов выявил необходимость переноса формовки продольных рифтов с первого перехода на второй и третий переходы. Твёрдотельная модель была построена в программе Solid Works, используемой в качестве препроцессора. Параметры моделирования следующие: тип

элемента – Shell 163 с однотоочечной редуцированной схемой интегрирования по плоскости с контролем Hourglass 4, модель материала: для профиля – билинейная изотропная модель (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC), для роликов – инструментальная сталь У8. Ролики задавались как абсолютно жесткие тела, конечно-элементная сетка задавалась только на их поверхности. Вид контакта заготовки и формующих роликов задавался в форме FSTS (Forming surface-to-surface contact), а заготовки и межклетьевых проводок – в форме ASTS (Automatic surface-to-surface contact). Обработку результатов моделирования проводили с помощью встроенного в программу постпроцессора.

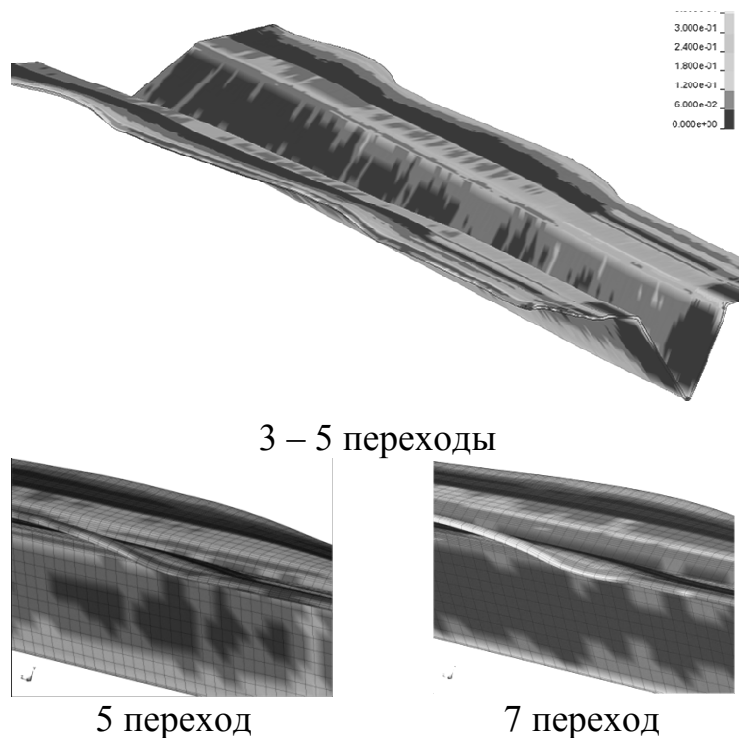


Рис. 2. Результаты моделирования процесса с помощью программы LS-dyna: тёмные участки соответствуют низкому уровню напряжений; светлые – высокому

На рис. 2 представлено распределение внутренних напряжений по von Mises для некоторых характерных переходов, откуда видно значительное нагружение периферийных областей заготовки.

Продольные деформации в крайних точках элемента двойной толщины представлены на рис. 3, где видно, что у основания элемента двойной толщины деформации лежат в пластической зоне, а у вершины – в упругой. Это означает, что продольные деформации стенки могут достигать предела текучести. Следовательно, появляется градиент перемещений по высоте стенки, который может приводить к её локальному выпучиванию, повышающему уровень контактных напряжений, а также к появлению следов деформаций сдвига (линий Чернова-Людерса).

Этот результат даёт возможность оценки контактных напряжений, которую можно произвести из следующих соображений. Обозначим ширину горизонтальной полки с рифтом и ширину несущей полки (переходящей в вертикальную стенку при деформировании) b_r и b_b соответственно. Ввиду значитель-

ной жёсткости подгибаемых полок зона плавного перехода простирается практически на всю длину L_m межклетьевого расстояния профилировочного станка. Тогда изгибающий момент, приложенный к стенке, можно вычислить по следующей формуле:

$$M \geq W \cdot \sigma_T, \quad (1)$$

где M – изгибающий момент, Н·м; W – момент сопротивления поперечного сечения горизонтальной полки, мм³; σ_T – предел текучести, МПа.

Момент сопротивления W приближённо можно вычислить по формуле:

$$W \approx \frac{s}{b_r} \int_0^{b_r} \rho^2 \cdot d\rho, \quad (2)$$

где s – толщина заготовки, мм; ρ – переменная интегрирования, мм.

Формула (2) учитывает жёсткость только горизонтальной полки, что обусловило выбор знаков соотношений (1) и (2). Это означает, что реальный момент изгибающей силы и момент сопротивления сечения подгибаемых полок будут несколько больше расчётных. Однако для нас важно получить оценку контактных напряжений на несущей полке (стенке). Если в качестве схемы деформирования заготовки в межклетьевом пространстве принять модель консольной балки, закреплённой в предшествующей паре формующих роликов, то можно также определить действующую силу F . Следует отметить, что боковые воздействия на участки отбортовки следует исключить, поскольку это приводит к дефектам, представленным на рис. 1, а-в. Фактически это выполняется за счёт размерных параметров калибра и образованием участка высвобождения под горизонтальную полку. Поэтому можно считать, что сила подгибки F прикладывается только к стенке и определяется следующим соотношением:

$$F = \frac{M}{L_m}. \quad (3)$$

Тогда контактное напряжение между заготовкой и инструментом на уровне осевой плоскости роликового калибра можно определить зависимостью:

$$\sigma_c = \frac{F}{b_b \cdot \eta}, \quad (4)$$

где η – ширина контактной зоны, мм [1].

Расчёт по формулам (1) – (4) даёт нижнюю границу контактного напряжения в 16 МПа при равномерном распределении силы по ширине стенки. Однако в работе [2] показано, что действие подгибающей полку силы локализуется преимущественно на участке $0,3b_r$ от вершины элемента двойной толщины, причём максимальное значение погонной силы может в несколько раз превышать значение силы подгибки. При наличии выпучивания стенки значительные контактные напряжения вызывают нарушение покрытия, образующее картину, показанную на рис. 1д.

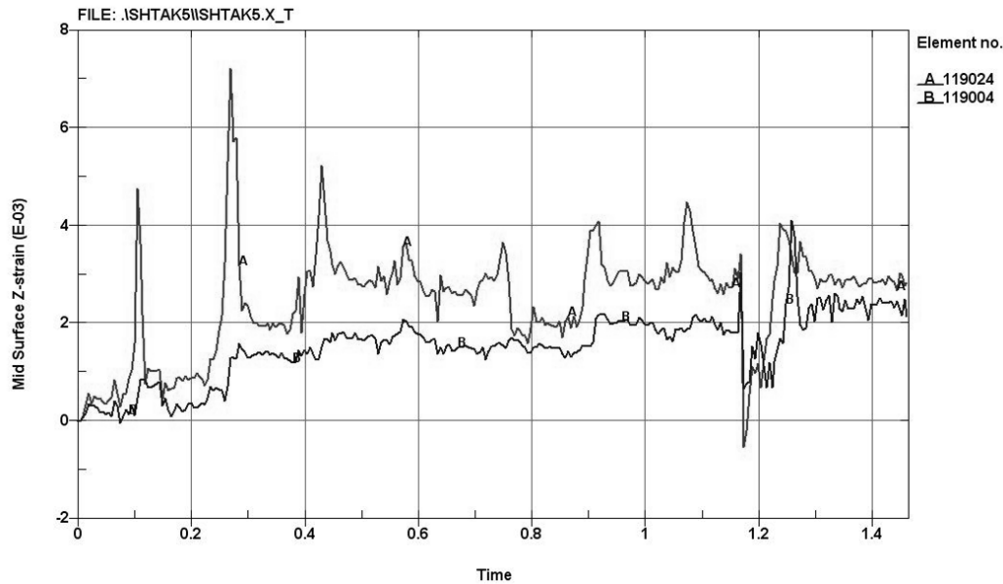


Рис. 3. Продольные деформации срединной поверхности заготовки у основания элемента двойной толщины (верхняя осциллограмма) и у его вершины (нижняя осциллограмма) как функции времени

У вершины элемента двойной толщины область нарушения покрытия сплошная, что свидетельствует о ещё большем уровне контактных напряжений, который можно оценить, исходя из условия сжатия элемента двойной толщины рабочими поверхностями нижнего ролика. При малом значении внутреннего радиуса изгиба ($r = (0,1 \dots 0,3)s$) ширина контактной зоны ξ имеет размер порядка толщины заготовки s . Силу сжатия F_p можно найти из равенства моментов внутренних и внешних сил:

$$F_p = \frac{m\eta}{r}, \quad (5)$$

где m – единичный момент внутренних сил, Н.

Используя определение напряжений и единичного момента, а также формулу (5), вычислим контактное напряжение следующим образом:

$$\sigma_p = \frac{\sigma_T \cdot s}{4r} \approx (2,5 \dots 1,2)\sigma_T, \quad (6)$$

где σ_p – контактное напряжение у вершины элемента двойной толщины, МПа.

Зависимость (6) показывает, что контактные напряжения у вершины элемента двойной толщины превышают предел текучести и возникает высокая степень вероятности нарушения покрытия. Для предотвращения нарушения покрытия стенки профиля следует разгрузить нижний участок от внешней нагрузки и заменить трение скольжения в центральной части стенки на трение качения. Это можно сделать за счёт применения межклетевой проводки с коническими роликами на вертикальных осях. При этом следует предусмотреть удерживающий верхний ролик, поскольку при сжатии стенок возникает вертикальная составляющая равнодействующей силы, которая выталкивает профиль из зева вертикальных роликов и вызывает изгиб профиля в межклетевом пространстве. Использование вертикальных роликов позволяет также разгрузить наружные слои зоны изгиба от дополнительных растягивающих напряжений,

возникающих из-за удержания участков материала, примыкающих к зоне изгиба, силами трения скольжения в калибре горизонтальных роликов. Соответственно, уменьшается степень упрочнения материала наружных слоёв зоны изгиба, а следовательно, пружинение заготовки.

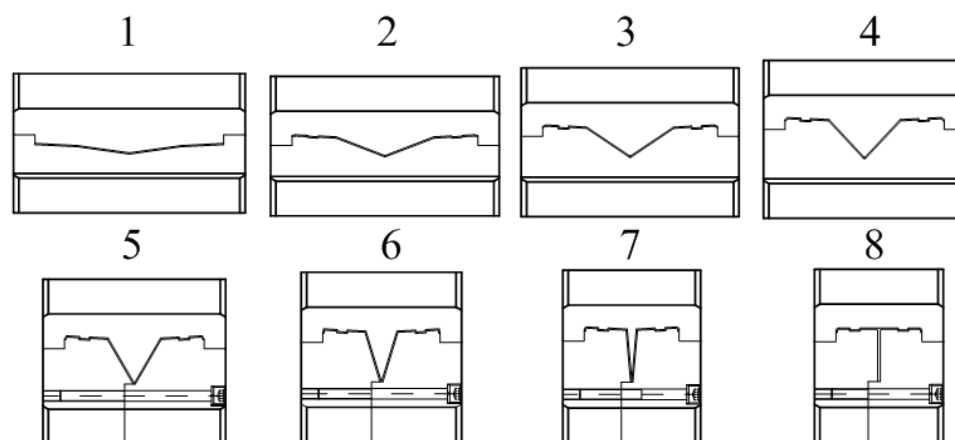


Рис. 4. Технологическое оснащение для изготовления Т-образного профиля:

1 – 8 – номера технологических переходов

На основе исследований была скорректирована схема формообразования профиля, разработаны и изготовлены комплекты горизонтальных формующих роликов (рис. 4), а также межклетьевая проводка (рис. 5). Следует обратить внимание на то, что нижние горизонтальные ролики четырёх последних пар выполнены сборными в связи с ограниченным доступом режущего инструмента (при механической обработке) к рабочим поверхностям, которые формируют элемент двойной толщины (стенку).

Действие межклетьевых проводок (см. рис. 5) позволяет предотвратить возникновение дефектов, показанных на рис. 1. Устранено раскрытие элемента двойной толщины вследствие пружинения (рис. 6,а), нарушение покрытия на стенке (рис. 6,б), разрушение профиля по зоне изгиба элемента двойной толщины, отсутствует потеря устойчивости подгибаемых элементов, предотвращается появление заусенцев и смятие периферийных участков заготовки. Параметры готового профиля удовлетворяют требованиям чертежа. Разработанная технология внедрена на производственной базе заказчика и успешно эксплуатируется в настоящее время.

Следует отметить, что использование межклетьевых проводок в профилировании практикуется лишь в исключительных случаях для предотвращения различных дефектов, возникающих при формообразовании: кромковая

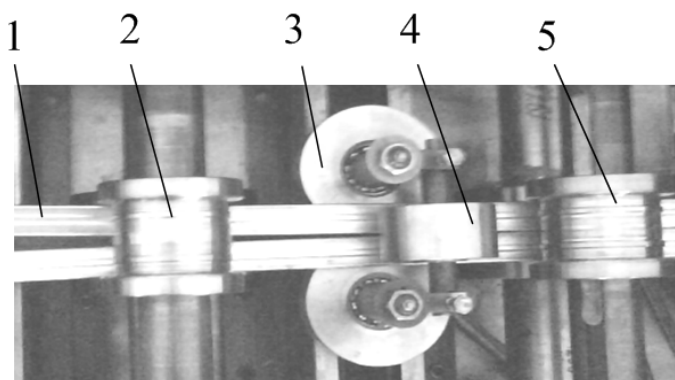
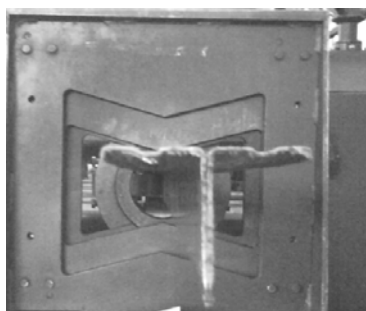


Рис. 5. Применение межклетьевой проводки для формообразования профиля: 1 – заготовка; 2, 5 – предшествующая и последующая пары горизонтальных роликов; 3, 4 – вертикальный и горизонтальный ролики межклетьевой проводки соответственно

волнистость, потеря устойчивости элементов профиля в форме излома, нарушение покрытия, переформовка заготовки и т.п. В ряде случаев межклетьевые проводки могут использоваться при явно недостаточном числе клеток профилировочного станка для формовке профиля заданного типоразмера. К сожалению, универсальных проводок не существует и в конкретных случаях данный вопрос решается «по месту», т.е. конструкция и размеры межклетевой проводки в большинстве случаев являются индивидуальными. Авторами данной статьи проведена работа по типизации межклетевых проводок и выработке рекомендаций по их применению в процессах формовки гнутых профилей, преимущественно многоэлементных профилей с покрытием.

Таким образом, сочетание конечно-элементного моделирования и экспериментальной отработки технологии позволили реализовать промышленную



а)



б)

Рис. 6. Готовый профиль без дефектов: а – торец профиля, выходящего из правильного устройства; б – стенка профиля без следов нарушения покрытия

технологии производства профиля уплотнения вентилируемых фасадов на восьмиклетьевом станке ГПС-350М8, в то время как зарубежный опыт показывает, что для производства того же профиля с применением межклетевых проводок скольжения требуется не менее 12 переходов.

Библиографический список

1. Мищенко О.В., Филимонов В.И. Производство гнутых профилей с отбортовками в роликах методом интенсивного деформирования. – Ульяновск.: Изд-во УлГТУ, 2011. – 122 с.
2. Лапин В.В., Филимонов В.И., Филимонов С.В. Износ нижних формирующих роликов при интенсивном формообразовании гнутых профилей. // Производство проката, 2012, № 2. – С. 21 – 26.



- Лапин Вячеслав Викторович,
генеральный директор ОАО «Ульяновский механический завод»
- Баранов Александр Сергеевич,
начальник сектора ОАО «Ульяновский НИАТ»
- Филимонов Сергей Вячеславович,
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)



ИЗМЕНЕНИЕ ТВЕРДОСТИ В УГЛОВЫХ ЗОНАХ ПРОФИЛЕЙ ЗАМКНУТОГО ТИПА, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Лисин И.О.

При холодной обработке давлением в металле протекает процесс пластической деформации, что вызывает изменение не только формы и размеров заготовки, но и физико-механических свойств металла. С увеличением степени деформации возрастает прочность, и снижаются пластические характеристики металла. При формообразовании гнутых профилей эффект упрочнения металла наиболее ярко проявляется в местах изгиба готового профиля. В данной работе приведен сравнительный анализ исследований угловых зон профилей различной конфигурации, изготовленных различными методами, а также исследование твердости зон изгиба замкнутых профилей при их формообразовании методом интенсивного деформирования (МИД) в роликах, проведенное автором.

Согласно работе [1], при использовании МИД производят высвобождение угловых зон и предусматривают нормированный избыток заготовки для подсадки заготовки во избежание контакта заготовки по внутреннему контуру с роликом. Завышение избытка ширины заготовки приводит к «посадке» заготовки по наружному контуру на нижний ролик, приближая схему деформирования к схеме стесненного изгиба. Часто конструкция профиля предусматривает гибку на малые радиусы заготовки из упрочняющихся материалов без существенного набора утолщения в угловой зоне. При этом важным становится вопрос о влиянии упрочнения на параметры НДС для решения практических вопросов определения минимального радиуса изгиба и пружинения, а также оценки жесткости угловых зон при расчетах на устойчивость заготовки в межклетьевом пространстве профилировочного станка.

Полученные результаты показали, что при упрочнении происходит разгрузка материала вблизи наружного контура зоны изгиба и значительное нагружение вблизи внутреннего контура. Это означает, что при использовании упрочняющегося материала с покрытием следует по возможности ослаблять контакт внутреннего контура зоны сгиба с роликом за счет подсадки подгибаемой полки. С другой стороны, если считать справедливой гипотезу «единой кривой», то можно прогнозировать уровень деформаций на наружном контуре и на этой основе формулировать ограничительные условия для предельного радиуса изгиба заготовки.

Для подтверждения влияния упрочнения на НДС угловой зоны в работе [1] проводили измерение твердости четырех профилей различной конфигурации и размеров, полученных методом интенсивного деформирования рис. 1 (полузакрытые профили несимметричного сечения с числом зон перетяжки от одной до трех из стали 08 пс) и рис. 2 (профиль «а» – 85х55х0,85 мм из стали 08 пс, содержит периферийные элементы двойной толщины (ЭДТ), профиль «б» –

37х36х1,5 мм из стали 08 кп, имеет ЭДТ по вертикальной стенке и фальцевое соединение).

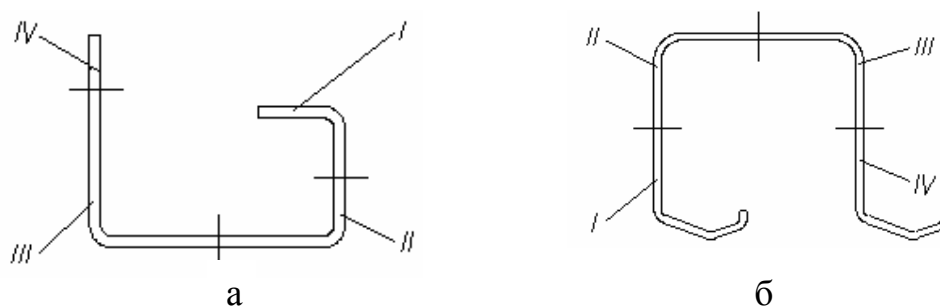


Рис. 1. Полузакрытые профили несимметричного сечения:
а – профиль 35×27×1,5; б – профиль 42×28,5×1,0

Замеры проводили пятикратно на каждую из дополнительных точек, после чего проводили статистическую обработку результатов с использованием пакета MS Excel.

Проведенные исследования твердости в целом показывают увеличение данного показателя в угловых зонах от 12 до 22%.

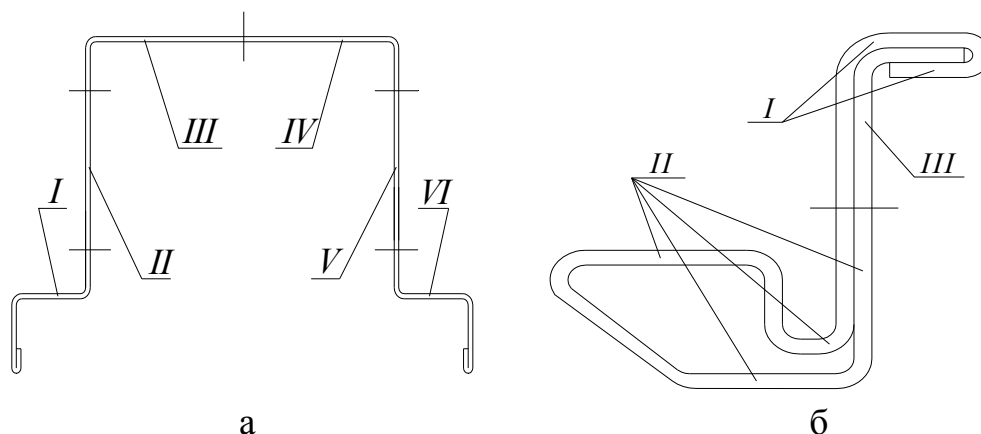


Рис. 2. Профили с ЭДТ:
а – профиль 85×55×0,85; б – профиль 37×36×1,5

Для схем формообразования методом стеснённого изгиба вопрос изменения твердости элементов профиля достаточно хорошо изучен в работе [2]. Анализ распределения твердости в уголковой зоне показал увеличение, превышающее 15%.

При исследовании механических свойств гнутых профилей в работе [3] были выбраны гнутые замкнутые квадратные профили 60х60х5 мм с разъёмами по углу и по стороне, полученные традиционным профилированием из стали 20 сп. В результате проведённых исследований было установлено, что с увеличением угла подгибки при профилировании прочностные характеристики увеличиваются. В местах изгиба увеличение происходит пропорционально углам подгибки и несколько интенсивнее в первых формирующих клетях.

Изменение твёрдости показали, что в местах изгиба готового профиля твёрдость увеличивается по сравнению с твёрдостью исходной заготовки на 14-19 HRB.

Для исследования твердости зон сгиба были выбраны замкнутые профили симметричного сечения, изготовленные из сталей 08 кп (профиль $25 \times 15 \times 1,2$) и 08 пс ($41,5 \times 25 \times 1,5$) и условно поделенные на участки (рис. 3, а, б). Замеры производились как на прямых участках, так и на изогнутых. Каждый раз делалось по три замера: на границах (при растяжении и сжатии) и посередине. Испытание проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 путем вдавливания алмазного наконечника, имеющего форму пирамиды, в исследуемый образец, залитый в шлиф (рис. 3, в, г). При вырезании образцов избегали их существенного нагрева или наклепа. Образцы помещали в оправки-кольца круглой или эллипсовидной формы и заливали серой или быстротвердеющим сплавом протокриловой группы, который применялся в большинстве случаев, поскольку сера, ввиду ее легкоплавкости, пачкает поверхность шлифа при дальнейшей обработке. Шлифование и полирование образцов производили абразивным материалом (порошками, пастой), абразивным инструментом (шлифовальные круги, бруски, шлифовальная шкурка) вручную или на шлифовально-полировальных машинах с применением паст и соблюдением температурных режимов (отсутствие существенного нагрева). Механическое шлифование образцов обычно проводили в три прохода с последующим полированием.

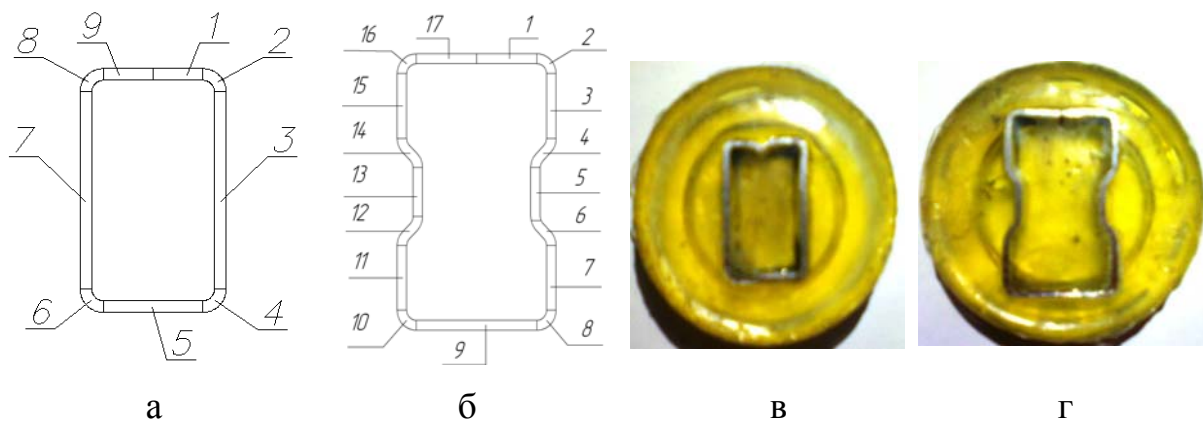


Рис. 3. Исследуемые профили:
а – профиль $25 \times 15 \times 1,2$; б – профиль $41,5 \times 25 \times 1,5$; в, г – шлифы

Результаты измерений сведены в табл. 1 и 2. Так как оба профиля являются симметричным (значения для 1, 2, 3, 4 участков профиля $25 \times 15 \times 1,2$ будут равны значениям на 6, 7, 8, 9 участках соответственно (аналогично для профиля $41,5 \times 25 \times 1,5$)), были сделаны измерения только для одной половины профилей. Для наглядности, данные табл. 1 и 2 показаны на рис. 4 и 5 соответственно, где видно, что в точках 3 и 5 (3 и 7 для профиля $41,5 \times 25 \times 1,5$), расположенных на прямолинейном участке, твердость ниже, чем в точках 2 и 4 (2 и 8 для профиля $41,5 \times 25 \times 1,5$), относящихся к зонам изгиба. В угловых зонах твердость вблизи

внутреннего контура выше, чем тот же показатель вблизи наружного контура зоны изгиба.

Таблица 1

Значения твердости для профиля $25 \times 15 \times 1,2$

№ точки	S-zone	N-zone	C-zone	MV
1	98	93	113	101,3
2	106	114	118	112,7
3	93,5	88	98	93,2
4	86	100	112	99,3
5	91,5	91,5	91,5	91,5
Обозначения: S-zone – зона растяжения; N-zone – нейтральный слой; C-zone – зона сжатия; MV – среднее значение.				

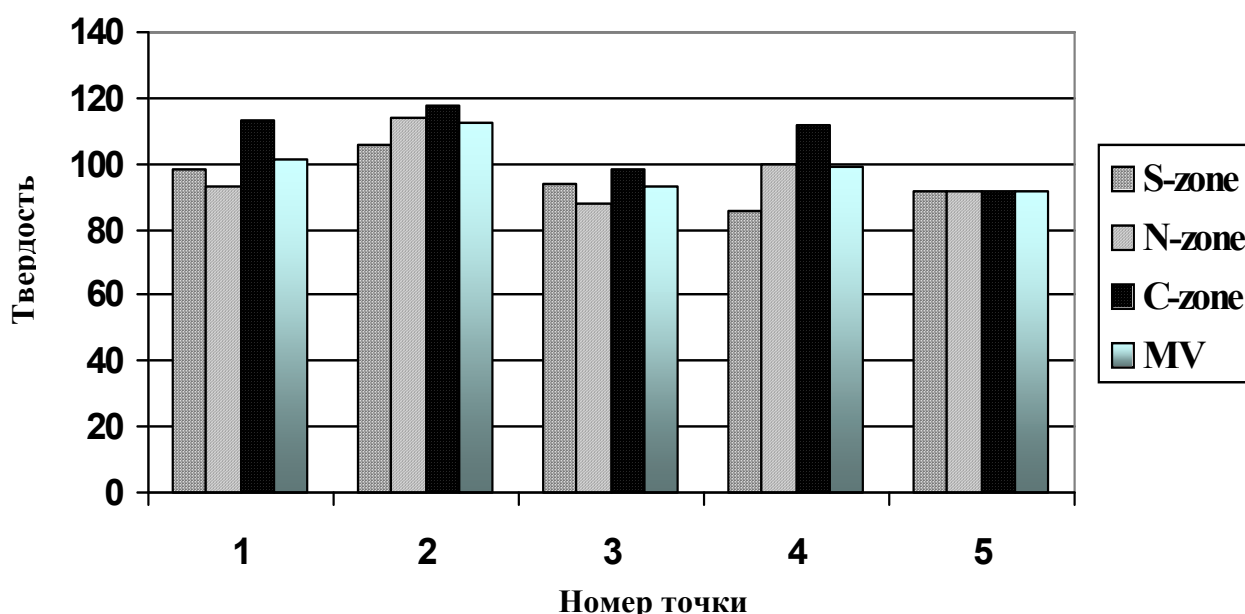


Рис. 4. Распределение твердости по точкам профиля 25x12x1,2

Таблица 2

Значения твердости для профиля $41,5 \times 25 \times 1,5$

№ точки	S-zone	N-zone	C-zone	MV
1	150	154	160	154,6
2	164	158	147	156,3
3	155	154	155	154,6
4	104	101	107	104
5	108	103	98,5	103,2
6	104	101	106	103,7
7	158	145	160	154,3
8	161	162	161	161,3
9	146	135	117	132,6
Обозначения: S-zone – зона растяжения; N-zone – нейтральный слой; C-zone – зона сжатия; MV – среднее значение.				

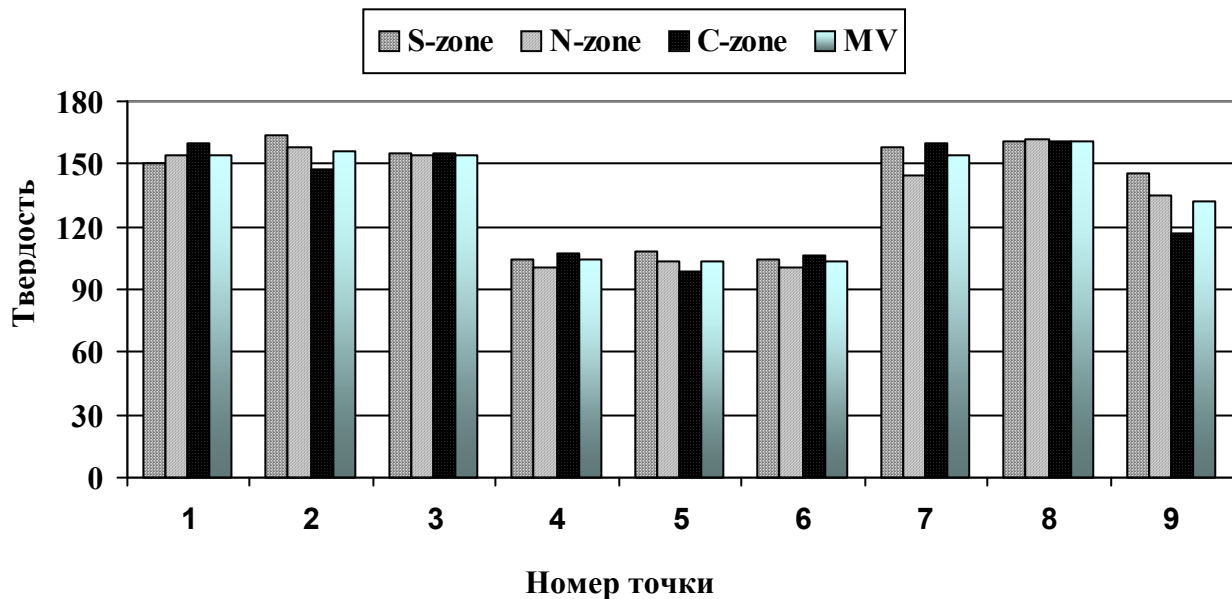


Рис. 5. Распределение твердости по точкам профиля 25х12х1,2

Проведенные исследования твердости показывают увеличение данного показателя в угловых зонах в среднем на 16 – 21 %.

В результате проведенных исследований было установлено, что эффект упрочнения угловых зон гнутых профилей (наблюдаемый при аналогичных исследованиях, рассмотренных ранее) проявляется и при производстве гнутых металлических профилей замкнутого симметричного сечения методом интенсивного деформирования.

Проведя общий анализ измерений, можно сделать следующие выводы:

- ✓ увеличение твердости с углом подгибки становится менее выраженным при уменьшении толщины заготовки;
- ✓ твердость имеет монотонную тенденцию к росту с увеличением номера перехода, хотя и незначительную.

Библиографический список

1. Филимонов С. В. Разработка технологии интенсивного формообразования гнутых тонкостенных профилей в роликах: Дисс. канд. техн. наук: 05.03.05 / Ульяновский государственный технический университет. – Нижний Новгород: НГТУ, 2003. – 223 с.
2. Колганов, И. М. Исследование процессов формообразования листовых профилей стесненным изгибом при волочении: Дис. канд. техн. наук : 05.07.04. – Куйбышев: Куйбышевский авиационный ин-т, 1984. – 257с.
3. Тришевский И.С., Клепанда В.В. Механические свойства гнутых профилей проката / Тришевский И.С., Клепанда В.В. – Киев: Изд-во «Техніка», 1977. – 143 с.



- Лисин Игорь Олегович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ЗОН ИЗГИБА ПОЛУЗАКРЫТЫХ И ЗАКРЫТЫХ ПРОФИЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ В РОЛИКАХ

Лисин И.О., Дементьев К.С., Филимонов В.И.

Среди многообразия различных видов металлических профилей, позволяющих успешно экономить металл, повышать надежность и прочность конструкций особое место занимают гнутые профили замкнутого типа. В настоящее время профили этого вида производят как традиционным профилированием, так и методом интенсивного деформирования (МИД). При этом число используемых технологических переходов во втором случае в 1,5 – 2 раза меньше.

При традиционном профилировании применяют преимущественно последовательную формовку, при которой первоначально производят подгибку смыкающихся полок до угла, близкого к окончательному ($82^\circ \dots 87^\circ$), а затем осуществляют подгибку боковых стенок. Недостатком этой схемы формовки является недогиб боковых стенок и различие в толщине и радиусахгиба зон, примыкающих к смыкающимся полкам и к дну профиля.

Аналогичные проблемы возникают и при использовании МИД в случае ошибочного выбора ширины заготовки. Это объясняется тем, что состояние материала в зоне изгиба (его изменение по переходам) влияет на изменение ширины заготовки, а также на условия устойчивости деформирования. Этот фактор необходимо учитывать при проектировании оснастки.

В данной работе приведен сравнительный анализ исследований угловых зон профилей различной конфигурации, а также исследование зон сгиба замкнутых профилей при их формообразовании методом интенсивного деформирования в роликах, проведенное авторами.

Согласно работе [1], при формовке угловых зон на первых переходах в открытых калибрах схема внешних воздействий близка к схеме гибки с растяжением (рис. 1), а на последних переходах, где осуществляется обжим заготовки по наружному контуру, схема внешних воздействий близка к схеме гибки с торцевым сжатием (рис. 2). В первом случае заготовка, как правило, получает утонение, а во втором – утолщение. При интенсивном деформировании формовку заготовки (даже на первых переходах) осуществляют в закрытых калибрах.

Следует отметить особенность деформирования заготовки в первом переходе, где происходит монотонное изменение радиуса ее кривизны от бесконечности до конечного значения на готовом профиле. В этом случае значительное утонение заготовки обусловлено схемой деформирования, большим углом подгибки и отсутствием предварительного упрочнения угловых зон. При интенсивном деформировании изменение радиусов на последующих переходах незначительно в отличие от традиционного профилирования.

Полученные в результате зависимости подвергались экспериментальной проверке для типовых схем формообразования полузакрытых профилей.

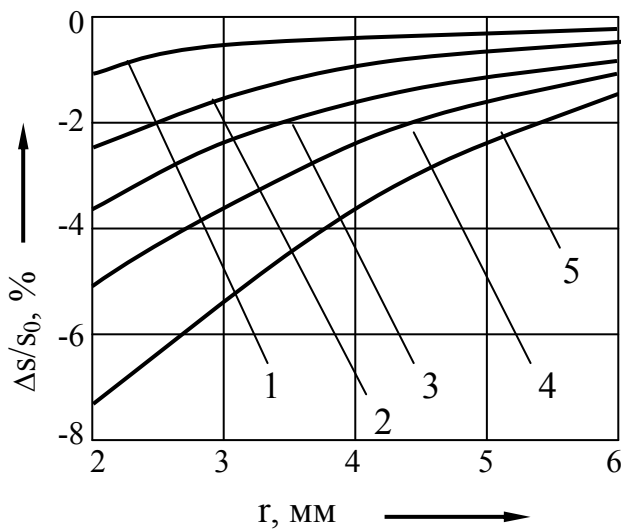


Рис. 1. Зависимость утонения от внутреннего радиуса и угла подгибки:
1, 2, 3, 4, 5 – $\Delta\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ соответственно

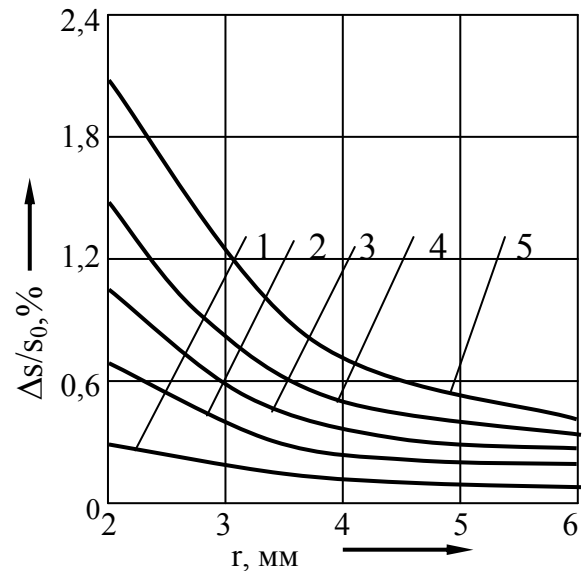


Рис. 2. Зависимость утолщения от внутреннего радиуса и угла подгибки:
1, 2, 3, 4, 5 – $\Delta\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ соответственно

Для исследования изменения толщины угловой зоны в работе [1] проводили измерение четырех профилей различной конфигурации и размеров, полученных методом интенсивного деформирования. На рис. 3 (полузакрытые профили несимметричного сечения с числом зон перетяжки от одной до трех из стали 08 пс) и рис. 4 (профиль «а» - 85x55x0,85 мм из стали 08 пс, содержит периферийные элементы двойной толщины (ЭДТ), профиль «б» - 37x36x1,5 мм из стали 08 кп, имеет ЭДТ по вертикальной стенке и фальцевое соединение) показаны профили, на которых проводили измерения угловых зон.

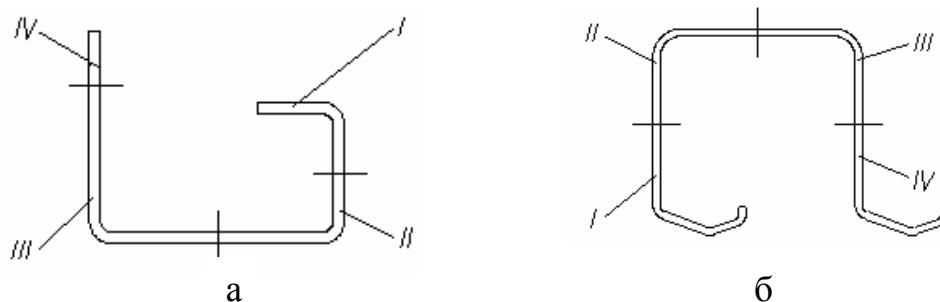


Рис. 3. Полузакрытые профили несимметричного сечения:
а – профиль 35×27×1,5; б – профиль 42×28,5×1,0

Замеры толщины элементов профиля производили на приборе МПБ-2 (для предварительной оценки) и ПМТ-3М. В результате исследований установлено, что изменения толщины в угловых зонах профилей составляют +5% и – 3% (профиль 42×28,5×1,0), –4% и +2% (профиль 42×28,5×1,0). Для профилей 85x55x0,85 и 37x36x1,5 характерно утонение практически для всех точек. Отмечено, что максимальное утонение получили участки заготовки, формовка ко-

торых происходила на первых переходах, а максимальное утолщение получили участки, формовка которых происходила на последних переходах.

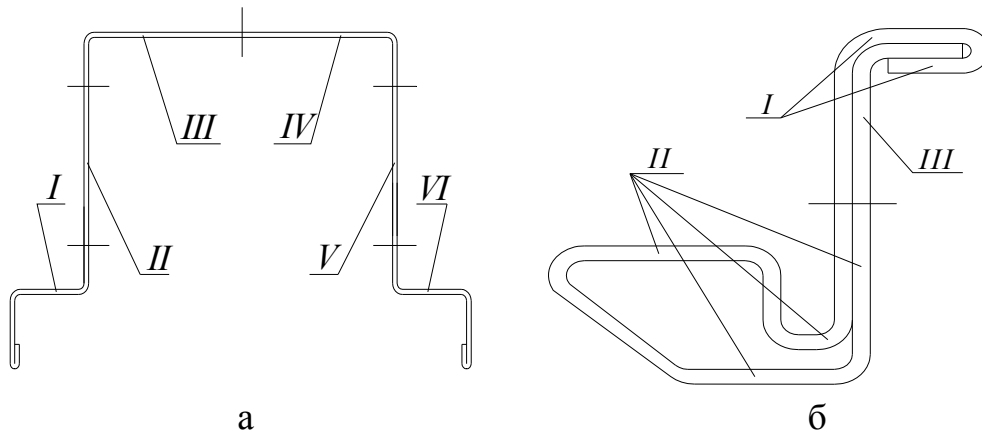


Рис. 4. Профили с ЭДТ:

а – профиль $85 \times 55 \times 0,85$; б – профиль $37 \times 36 \times 1,5$

Что касается замкнутых (закрытых) профилей, формуемых по чисто закрытой схеме, то для исследования изменения толщины угловой зоны были выбраны профили симметричного сечения, изготовленные из сталей 08 кп (профиль $25 \times 15 \times 1,2$) и 08 пс ($41,5 \times 25 \times 1,5$) и условно поделенные на участки (рис. 5 а, б).

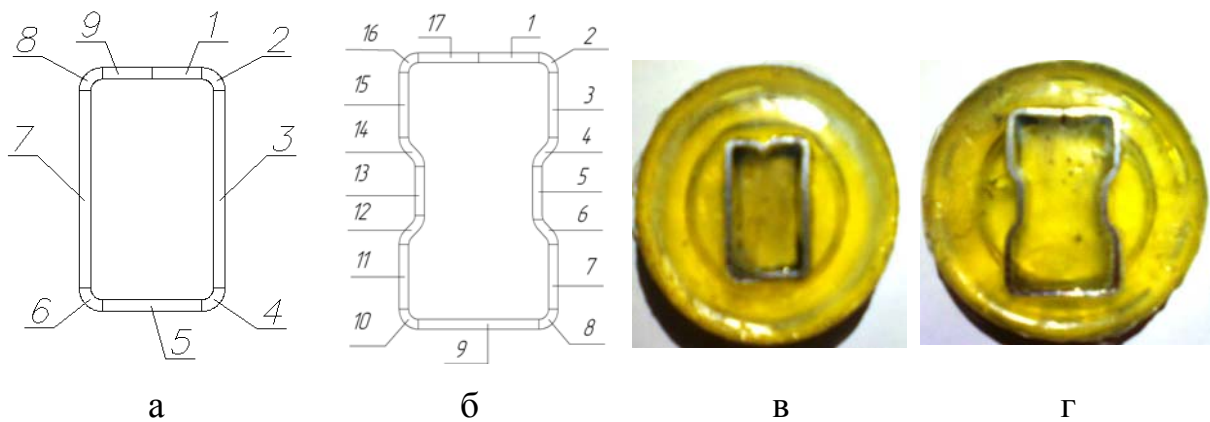


Рис. 5. Исследуемые профили:

а – профиль $25 \times 15 \times 1,2$; б – профиль $41,5 \times 25 \times 1,5$; в, г – микрошлифы

Учитывая малость размеров угловых зон, замеры их параметров проводили на микрошлифах (рис. 5 в, г). При вырезании образцов избегали их существенного нагрева или наклепа. Образцы помещали в оправки-кольца круглой или эллипсовидной формы и заливали серой или быстротвердеющим сплавом протокриловой группы, который применялся в большинстве случаев, поскольку сера, ввиду ее легкоплавкости, пачкает поверхность шлифа при дальнейшей обработке. Шлифование и полирование образцов производили абразивным материалом (порошками, пастой), абразивным инструментом (шлифовальные круги, бруски, шлифовальная шкурка) вручную или на шлифовально-полировальных машинах с применением паст и соблюдением температурных режимов (отсут-

ствие существенного нагрева). Механическое шлифование образцов обычно проводили в три прохода с последующим полированием.

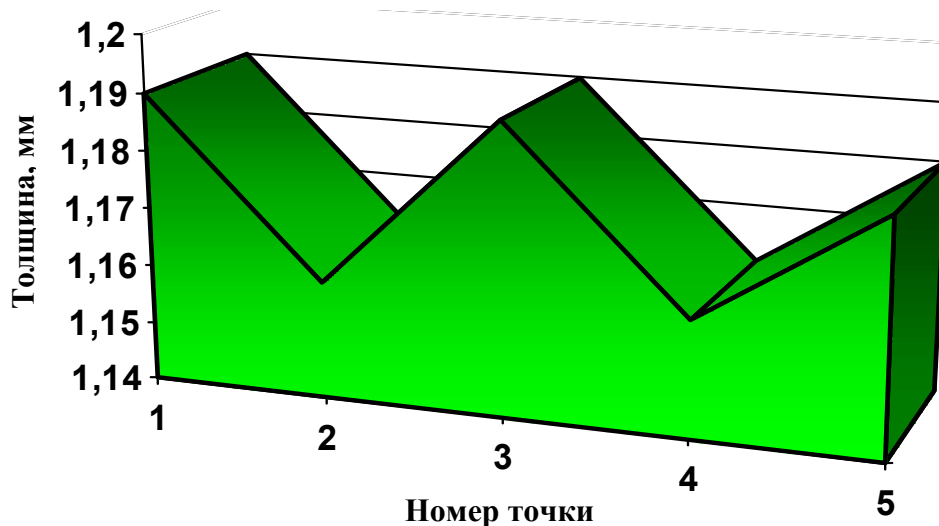
Результаты измерений с точностью до 0,01 мм сведены в табл. 1 и 2. Так как оба профиля являются симметричным (значения для 1, 2, 3, 4 участков профиля $25 \times 15 \times 1,2$ будут равны значениям на 6, 7, 8, 9 участках соответственно (аналогично для профиля $41,5 \times 25 \times 1,5$)), были сделаны измерения только для одной половины профилей. Для наглядности, данные табл. 1 и 2 представлены на диаграммах рис. 6 и 7 соответственно.

Таблица 1

Изменение толщины в точках 1 – 5

Точки измерения	1	2	3	4	5
Значения толщины	1,19	1,16	1,19	1,16	1,18

На прямом участке (точка 5) толщина – 1,18, а не 1,2. Это связано, скорее всего, с тем, что в процессе обработки профиль подвергался шлифовке и другим обработкам, вследствие чего толщина исходная уменьшилась.

Рис. 6. Изменение толщины по точкам профиля $25 \times 12 \times 1,2$ мм

Для этого профиля характерно утонение для всех точек, наибольшее утонение (растяжение) наблюдается в точках 2 и 4 (внутренний радиус – маленький (1,2 мм), угол подгибки – большой (90°), утонение – наибольшее).

Как и в первом случае, на прямых участках (точка 1, 3, 5, 7, 9) толщина – 1,45, а не 1,5. Наибольшее утолщение характерно для точек 4 и 6 (внутренний радиус – большой, угол подгибки – большой, утолщение – наибольшее), наибольшее утонение – точки 2 и 8 (внутренний радиус – маленький (1,5 мм), угол подгибки – большой (90°), утонение – наибольшее). Для первых переходов характерно утонение, а для последних – утолщение. В нашем случае, точки 4 и 6 относятся к участку, формовка которых происходит на последних переходах, а точки 2 и 4 относятся к участкам, формовка которых происходит на первых переходах. Схема формообразования и утонение в угловых зонах имеют существ-

венное значение для технолога при расчете ширины заготовки и назначении параметров роликового калибра.

Таблица 2

Изменение толщины с 1 по 9 точки измерения

Точки измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значения толщины	1,45	1,41	1,45	1,47	1,45	1,47	1,45	1,41	1,45

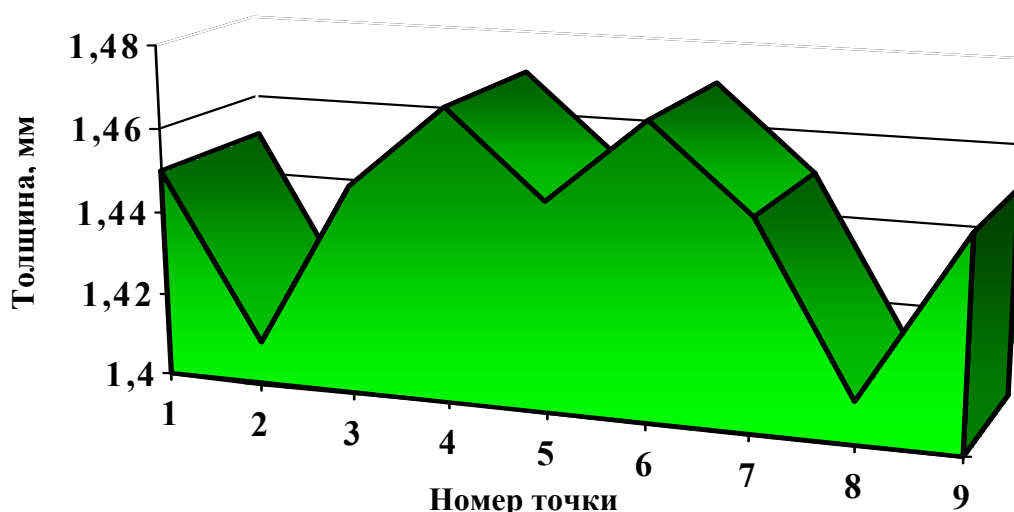


Рис. 7. Изменение толщины по точкам профиля 41,5×25×1,5 мм

Анализ данных измерений позволяет сделать следующий вывод: на первых переходах при большом внутреннем радиусе, при увеличении угла подгибки – утонение увеличивается, что соответствует зависимости утонения от внутреннего радиуса и угла подгибки, показанной на рис. 1; на последних переходах при большом внутреннем радиусе, при увеличении угла подгибки – утолщение увеличивается, что соответствует зависимости утолщения от внутреннего радиуса и угла подгибки, показанной на рис. 2. Следовательно, изменение толщины зон сгиба имеет тенденцию к увеличению с увеличением толщины заготовки и угла подгибки.

Библиографические ссылки

1. Филимонов С.В. Разработка технологии интенсивного формообразования гнутых тонкостенных профилей в роликах: Дисс. канд. техн. наук: 05.03.05 / Ульяновский государственный технический университет. – Нижний Новгород: НГТУ, 2003. – 223 с.



- Лисин Игорь Олегович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Дементьев Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ.



УДК 621.981

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕТОДОМ ОСАДКИ В РОЛИКАХ ПЕРФОРИРОВАННЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ УГОЛКОВОГО ТИПА

Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И.

Профили уголкового типа находят широкое применение в различных областях строительства и промышленности. Простота поперечного сечения обеспечивает удобство их применения, как в бытовой технике, так и при декоративной отделке наружных и внутренних частей здания (различные каркасы изделий, крепежные элементы и др.).

Наличие перфорационных отверстий позволяет обеспечить легкое крепление уголкового профиля, повысить декоративный вид изделия, снизить массу самой конструкции и др. Изготовление профилей уголкового типа может производиться различными способами: 1) гибкой в штампах; 2) профилированием в роликах; 3) протяжкой через фильеру и др.

Отверстия могут пробиваться как в исходной заготовке, так и в самом профиле. Наиболее прогрессивной технологией является предварительная перфорация заготовки. Однако, отверстия, предварительно пробитые в исходной заготовке, нарушают сплошность сечения, вносят различную жесткость по участкам профиля, в результате чего при деформировании величина пластических деформаций по различным участкам различна, что непосредственно влияет на получение кондиционного профиля.

Одним из прогрессивных методов изготовления профилей уголкового типа является формование заготовки за один технологический переход методом осадки в роликах с направленной потерей устойчивости. Нужно отметить, что стандартная технология изготовления уголкового профиля методом интенсивного деформирования или традиционным профилированием включает в себя как минимум 4-6 технологических переходов, поэтому метод осадки с направленной потерей устойчивости имеет явные преимущества перед существующими методами.

При применении метода осадки формующая оснастка представляет собой роликовую пару, состоящую из верхнего 1 и нижнего ролика 2, образующего калибр (рис. 1), в замкнутом состоянии который имеет форму равностороннего треугольника, при этом угол α между равными сторонами равен углу, требуемому в профиле и может составлять от 60 до 120 град. Формовка зависит от величины исходной заготовки k и зазора между роликами H и происходит при условии, что ширина калибра L меньше ширины исходной заготовки и определяется следующим отношением (при $H=0$):

$$L = 2 \cdot B \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right);$$

где B – ширина полки профиля; α – уголгиба.

Величина исходной заготовки k рассчитывается по следующей формуле:

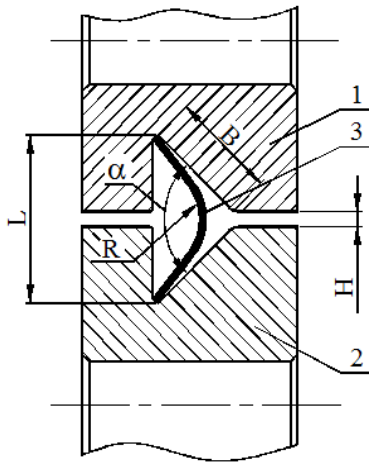


Рис.1. Роликовый калибр для формовки углового профиля осадкой: 1 – верхний ролик; 2 – нижний ролик; 3 – заготовка

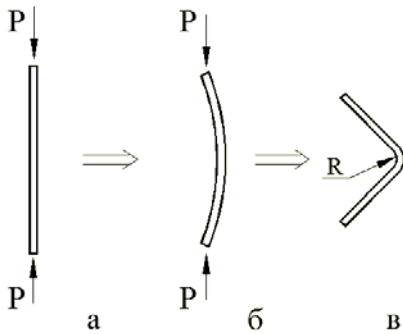


Рис. 2. Формовка заготовки торцевой силой Р

$$k = 2B - 2(R + S) + \left(R + \frac{S}{2}\right) \frac{\alpha \cdot \pi}{180}.$$

Отличительной особенностью данного калибра является обязательное применение торцевого сжатия заготовки, которая при этом деформируется в заданном направлении.

Для данного процесса формообразования должны выполняться условия: 1) Ширина заготовки должна быть больше чем вертикальный зазор осаживающего калибра, т.е. $k > L$; 2) Роликовый калибр должен иметь наклонные участки (расположенные под углом $\alpha/2$ к горизонту), ограничивающие полосу;

Исходная полоса теряет устойчивость и складывается в роликовом калибре по наклонным участкам. Регулировка торцевого сжатия производится изменением зазора Н и влияет на величину радиуса сгиба профиля R.

Механика процесса осадки с направленной потерей устойчивости включает в себя несколько этапов (рис. 2): а) – приложение усилий к торцам заготовки; б) – направленная потеря устойчивости; в) – заполнение калибра, получение заданного сечения и формовка радиуса R.

Впервые этот метод применялся в ОАО “Ульяновский НИАТ” для изготовления симметричных профилей углового типа. Кроме того, элементы этого метода применялись для предварительной формовки исходной заготовки в дугообразное сечение, в том числе с предварительно нанесенным покрытием.

Дополнительным преимуществом данного метода состоит в универсальности калибра, что позволяет в одной роликовой паре формовать заготовки различной толщины (от 1,5 до 4 мм). В зависимости от зазора Н и совокупности размеров L и k радиус изгиба профиля может иметь весьма малое значение, вплоть до острого наружного радиуса ($R=0$) (что было получено на практике для уголка с параметрами $B=11$ мм, $S=1,5$ мм).

Исходная заготовка, в отличие от обычной формовки уголка в штампах или гибкой в роликах, подвергается значительной пластической деформации, что при наличии таких положительных свойств, как минимальный радиус, отсутствие утонения в зоне изгиба имеет и недостатки, связанные со значительными пластическими деформациями. Это требует дополнительной правки профиля, а наличие значительных пластических деформаций ограничивает применение этого метода при изготовлении профиля из предварительно перфорированной заготовки или из заготовки с покрытием.

Цель данных исследований выявить возможности изготовления перфорированных профилей уголкового типа методом осадки в роликах листовой заготовки с перфорацией и определить предельные параметры процесса.

В качестве предмета исследования был выбран профиль уголкового типа 30x30x2 с перфорацией (рис. 3). Для предварительного исследования процесса формовки в роликах методом осадки заготовки с перфорацией (рис. 4) использовали программу LS-DYNA, которая отлично подходит для моделирования практически любых процессов обработки металлов давлением.

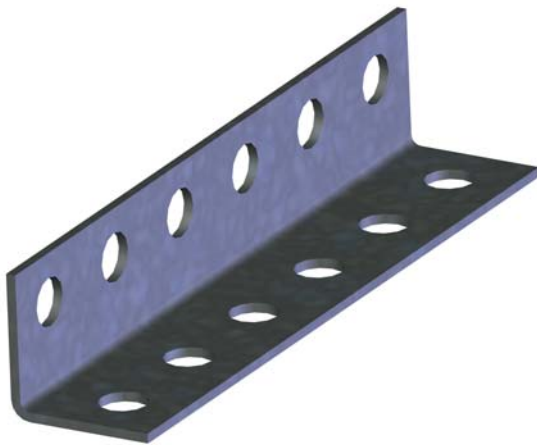


Рис. 3. Уголок 30x30x2 с перфорацией

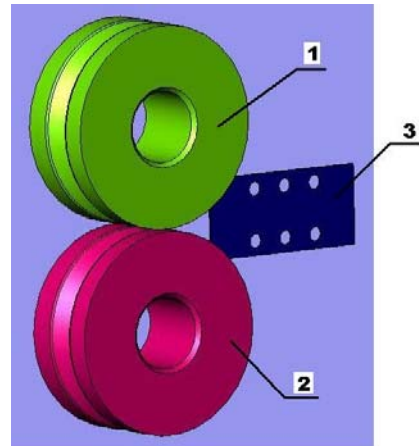


Рис. 4. Роликовый калибр для изготовления профиля уголкового типа: 1 – верхний ролик; 2 – нижний ролик; 3 – заготовка

Для получения данного профиля исходная заготовка шириной 58 мм имела двурядную перфорацию с шагом 25 мм и диаметром отверстий 10 мм. Материал профиля оцинкованная сталь марки 08кп, материал роликового инструмента материал 9XC.

В программу LS-Dyna загружалась исходная 3d модель роликового калибра и заготовки. Формующие ролики определялись как абсолютно жесткие (Rigid) тела, конечно-элементная (КЭ) сетка задавалась только на их поверхности. Заготовка определялась объемным типом элемента с соответствующими параметрами.

Для модели материала заготовки была выбрана билинейная изотропная модель (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC). Параметры модели материала заготовки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры модели материала заготовки (сталь 08)

Плотность (ρ), т/м ³	7,85e-9
Модуль Юнга (E), МПа	2e5
Коэффициент Пуассона	0,3
Предел текучести (σ_T), МПа	250
Касательный модуль (E'), МПа	960

Для создания контактных поверхностей между инструментом и профилем использовали тип контакта automatic surface-to-surface contact (ASTS). Были за-

даны соответствующие условия ограничения роликов от смещения и разрешено приложение момента по одной из координат. Конечно-элементная модель включала 8400 объемных элементов и 960 оболочных элементов.

Моделирование процесса осадки заготовки осуществляли с постепенным уменьшением зазора H от 14 мм до нуля с шагом 1 мм, т.е. моделировали 15 вариантов формовки.

Пример результатов моделирования для $H=4$ мм приведен на рис. 5.

Было выявлено появление искажения форма отверстий при уменьшении зазора H (рис. 6), а также явное влияние отверстий на распределение деформации по всему сечению профиля. Наибольшие пластические деформации наблюдались в зоне изгиба профиля и по краям отверстий, при этом форма отверстий становилась близка к форме эллипса.

Этапы накопления и графики распределения пластических деформаций, а также изменение формы отверстия приведены на рис. 6, 7. Расположение наибольших пластических зон по отверстию связано с направлением проката заготовки и величиной обжатия. Характерно образование пиков под углом 54 град. начиная с $H=8$ мм, а начиная с $H=7$ характерно образование второго пика в диаметрально противоположном направлении (рис. 7).

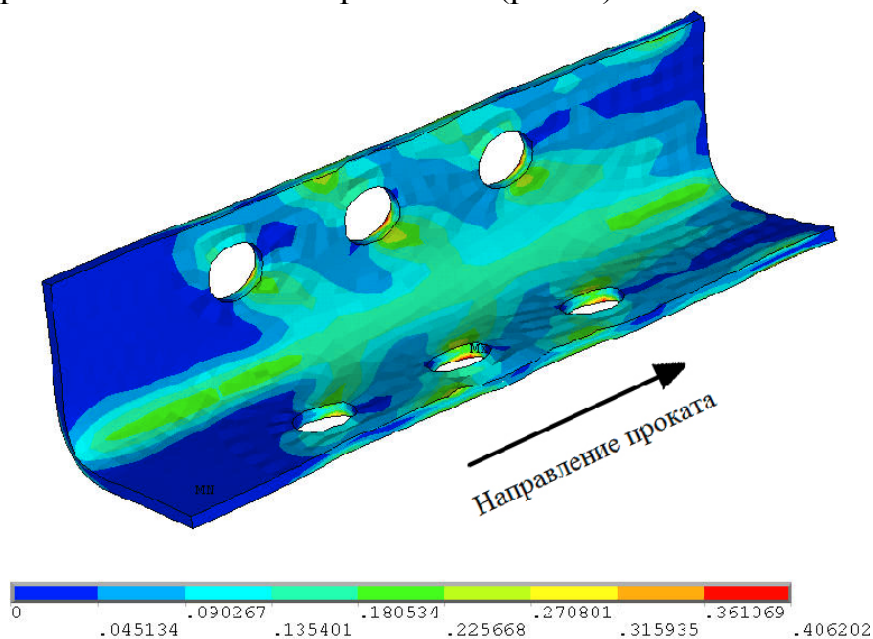


Рис. 5. Распределение деформаций (по von Mises) по сечению заготовки при $H=4$ мм

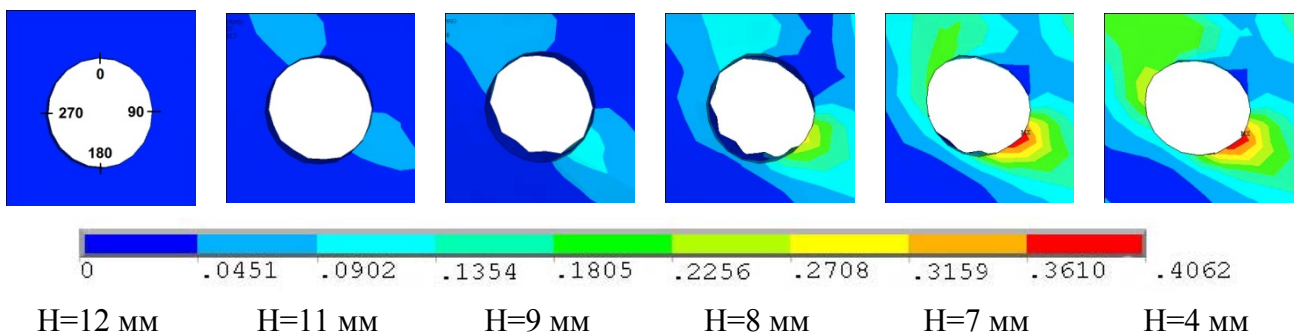


Рис. 6. Деформации и изменение формы отверстия при осадке на величину H

Следующим этапом исследования были экспериментальные исследования процесса осадки перфорированной заготовки.

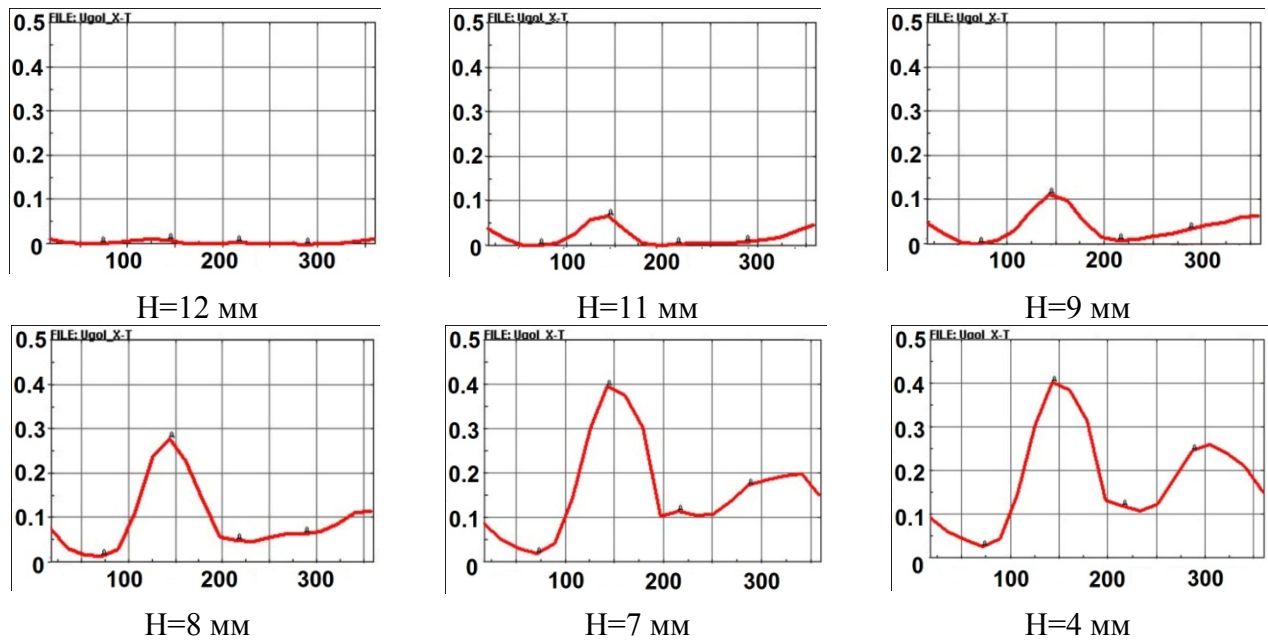
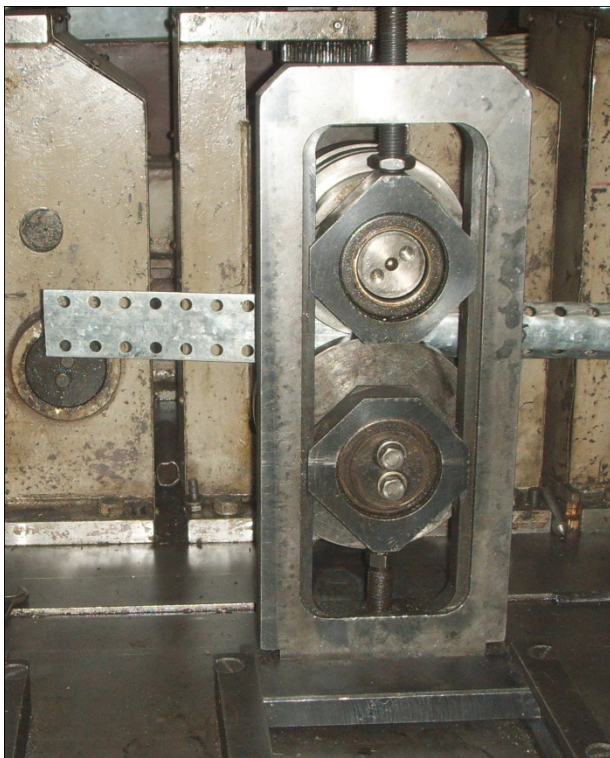
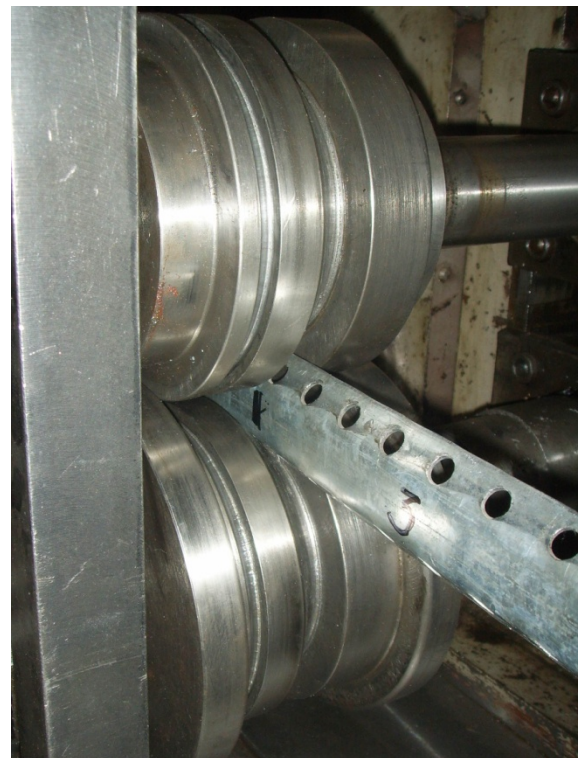


Рис. 7. Графики распределения пластической деформации по образующей контура отверстия с наружной стороны угла (начиная с верхней точки по часовой стрелке)

Для этих целей использовалась технологическая оснастка представляющая собой роликовый калибр с сечением соответствующий калибру для формирования уголка 30х30, а в качестве оборудования станок ГПС-300М4 (рис. 8).



а



б

Рис. 8. Изготовление уголка 30х30х2 мм методом осадки: а – формирующая клеть с роликовой оснасткой и заготовкой, б – выход готового профиля

План проведения эксперимента соответствовал плану моделирования, т.е. прокатке исходной полосы с постепенным сведением пары роликов – уменьшение зазора H с 14 мм до нуля с шагом 1 мм.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 9-11.

На рис. 9 показаны образцы, прокатанные с различной величиной зазора H . На рис. 10 приведена плавная зона осадки заготовки при $H=0$ (т.е. при полном сведении роликов). На рис. 11 представлена форма поперечных сечений образцов, изменение формы отверстий и величины угла наклона главной оси эллипса (β) в зависимости от зазора H .



Рис. 9. Образцы с различной величиной зазора H (крайне левый $H=9$ мм, крайне правый $H=0$)

При зазоре $H>3$ выявлено отсутствие плоскостности по полкам уголка и значительные искажения формы отверстий. В табл. 2 приведены замеры некоторых выходных параметров профиля.

Таблица 2

Параметры отверстий и радиус угловой зоны в зависимости от зазора H

H , мм	Замеры отверстия профиля			Радиус угловой зоны профиля, мм
	Величина большой оси эллипса, мм	Величина малой оси эллипса, мм	Угол смещения большой оси относительно горизонта, град	
12	10	9,8	43	-
11	10	9,5	37	-
10	10,1	9,1	30	-
9	10,1	9,2	32	10,9
8	10,3	9,1	35	17,4
7	10,3	9,0	37	15,4
6	10,5	9,1	40	8,8
5	10,2	9,3	35	5,3
4	10,4	9,0	33	7,4
3	10,2	8,9	28	4,6
2	10,1	8,7	25	2,28
1	10,1	8,2	15	1,5
0	9,5	7,4	10	1,83

Характерно, что первоначальная форма отверстия в виде окружности после деформирования представляет собой эллипс при этом большая ось эллипса (показывающая направление наибольших деформаций) была направлена под углом к угловой зоне профиля, что связано с распределением пластических деформаций от угла к торцевым зонам, т.е. сначала пластически деформируется

угловая зона, а далее деформация распределяется под некоторым углом к краям заготовки (это хорошо видно по результатам моделирования на рис. 5). Характерно, что при малых деформациях этот угол близок к 45° , но с увеличением величины осадки уменьшается до $10-15^\circ$.

Для подтверждения адекватности исследования сравнивали результаты моделирования и эксперимента. Форма, размеры и расположение отверстий в обоих случаях одинаковы (рис. 12).



Рис. 10. Зона плавного перехода уголка при осадке

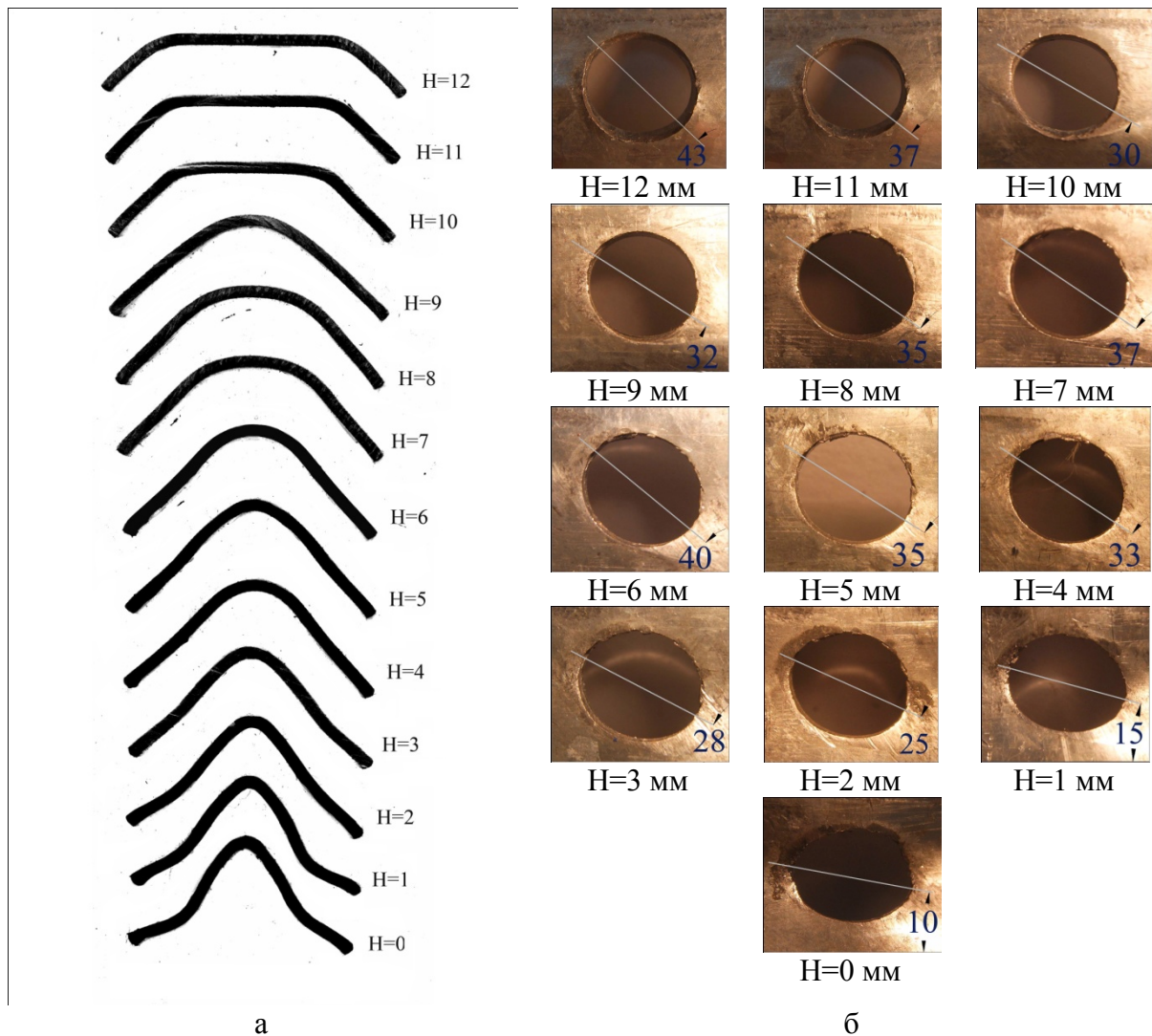


Рис. 11. Форма поперечных сечений образцов (а) и изменение формы отверстий и величины угла наклона главной оси эллипса (б) в зависимости от зазора Н

Как показали исследования, величина зазора Н, при котором не возникают значительные деформации профиля и отверстий, должна быть не менее 3-4 мм; при этом минимальный радиусгиба составляет 5-7 мм. В общем случае имеются ограничения при изготовлении профилей из заготовки с отверстиями методом осадки с направленной потерей устойчивости. Возможно, одним из путей повышения качества формируемых уголков и расширения технологических

возможностей этого способа могло бы быть применение специальных оправок и направляющих устройств.

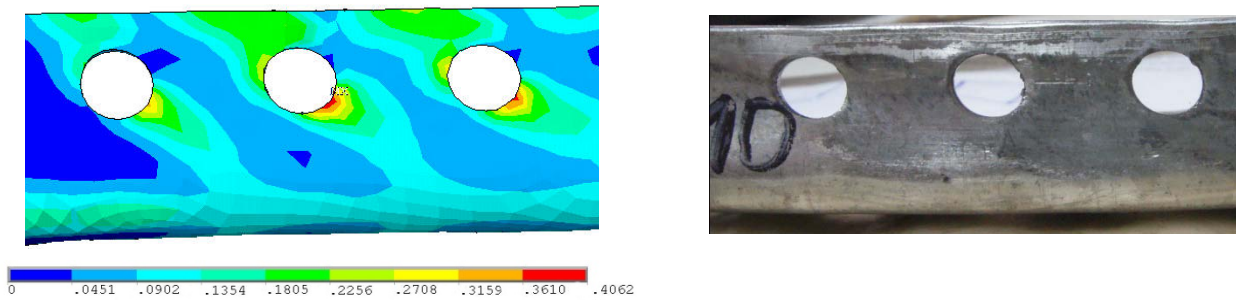


Рис. 12. Форма отверстий при моделировании и экспериментальных исследованиях

Таким образом, конечноэлементное моделирование и экспериментальные исследования дают возможность создавать промышленные технологии производства гнутых профилей с минимизацией технологического оснащения и затрат на их производство.



- **Илюшкин Максим Валерьевич, к.т.н.,**
зам. ген. директора ОАО «Ульяновский НИАТ»
- **Марковцев Владимир Анатольевич, к.т.н.,**
генеральный директор ОАО «Ульяновский НИАТ»
- **Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор,**
профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ИЗ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК С МАЛЫМИ ОТНОСИТЕЛЬНЫМИ РАДИУСАМИ ЗОН СГИБА

Марковцев В.А., Илюшкин М.В., Баранов А.С.

Возросшие требования к современным летательным аппаратам в отношении качества, надежности, прочности, весовой отдачи элементов конструкции требует применения новых высокоресурсных гнутых профилей изготавливаемых методом стесненного изгиба в гибочно-прокатных станах. Применение таких профилей позволяет устранить конструктивно-технологические ограничения, возникающие при использовании прессованных профилей: увеличивается ресурс работы изделия за счет лучшего качества поверхности и структуры материала по сечению профиля, наличие плакирующего слоя позволяет предотвратить развитие коррозии при эксплуатации изделия. В тоже время следующим шагом в использовании гнутых профилей в авиации является уменьшение внутренних радиусов и получения утолщения зон сгиба профиля, для увеличения удельной жесткости профиля и применение новых материалов: например алюминий-литиевого сплава В-1469 и В-950с с минимальным количеством примесей.

Цель исследований, описываемых в данной статье – анализ возможности получения гнутых профилей с минимально возможными бездефектными радиусами зон сгиба, влияние этих радиусов на жесткость профиля, его геометрию и микроструктуру. Осуществления данных целей на первом этапе производится путем математического моделирования с помощью программ конечно-элементного анализа.

Первой стадией исследования было определение влияния величины радиусагиба профиля “стрингер” (рис. 1) на его жесткость. Для этих целей были использованы возможности программы LS-DYNA, которые позволяют адекватно моделировать статические процессы. Для выявления влияния радиусагиба на жесткость была использована модель консольного закрепления профиля с приложением усилия с незащемленного конца (рис. 2).

В данной модели варьировались радиус зоны сгиба R и прикладываемое усилие F : $R=1; 2; 3; 4; 5$ мм; $F=50; 100; 200; 400; 800$ Н.

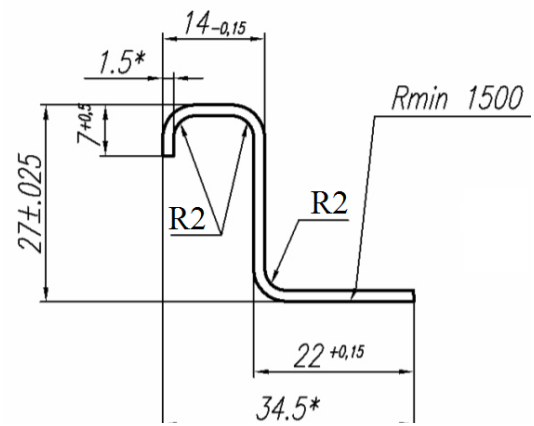


Рис. 1. Сечение профиля “Стрингер”

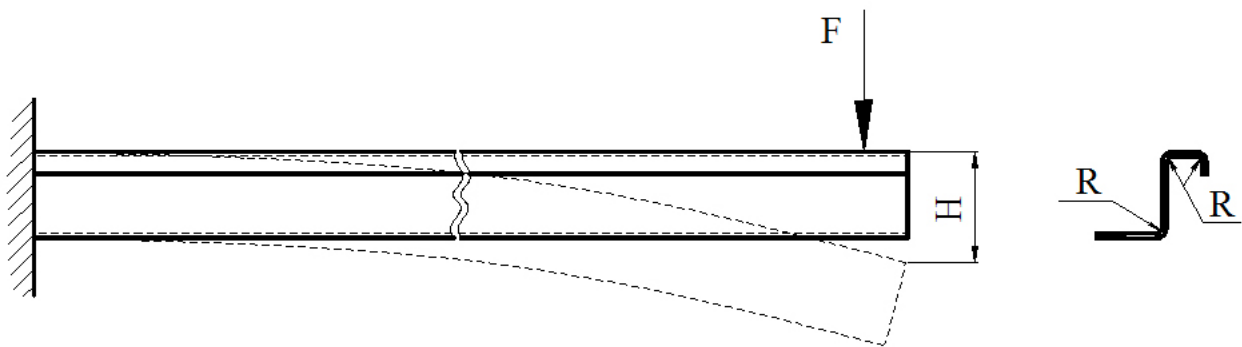


Рис. 2. Исходная схема моделирования процесса, где F – прикладываемое усилие, R – внутренний радиус зоны сгиба профиля, H – величина прогиба

Контролируемый параметр – прогиб (H) незащемленного края профиля, который с некоторым допущением можно связать с жесткостью профиля.

Результаты моделирования на изгиб приведены на рис.3. Как и следовало ожидать, увеличение величины прикладываемого усилия вызывает увеличение величины прогиба края профиля. При этом при усилиях близких к 800 Н возникает пластическая составляющая, поэтому результаты с усилием 800 Н не учитывались.

Наиболее интересно было установить влияние величины радиусагиба профиля на величину прогиба. Как видно по диаграмме имеется четкая тенденция к увеличению величины прогиба с увеличением величины радиуса зоны сгиба. При этом такая тенденция характерна для всех прикладываемых усилий от 500 до 400 Н.

Числовая обработка этих данных привела к следующим результатам: наиболее жестким из анализируемых величин радиусовгиба будет профиль с

величиной $R=1$ мм. При использовании других радиусов величина прогиба увеличивается в следующих величинах (соотношение дано относительно $R=1$ мм): $R=2$ – 3,5%; $R=3$ – 7%; $R=4$ – 12%; $R=5$ – 15%.

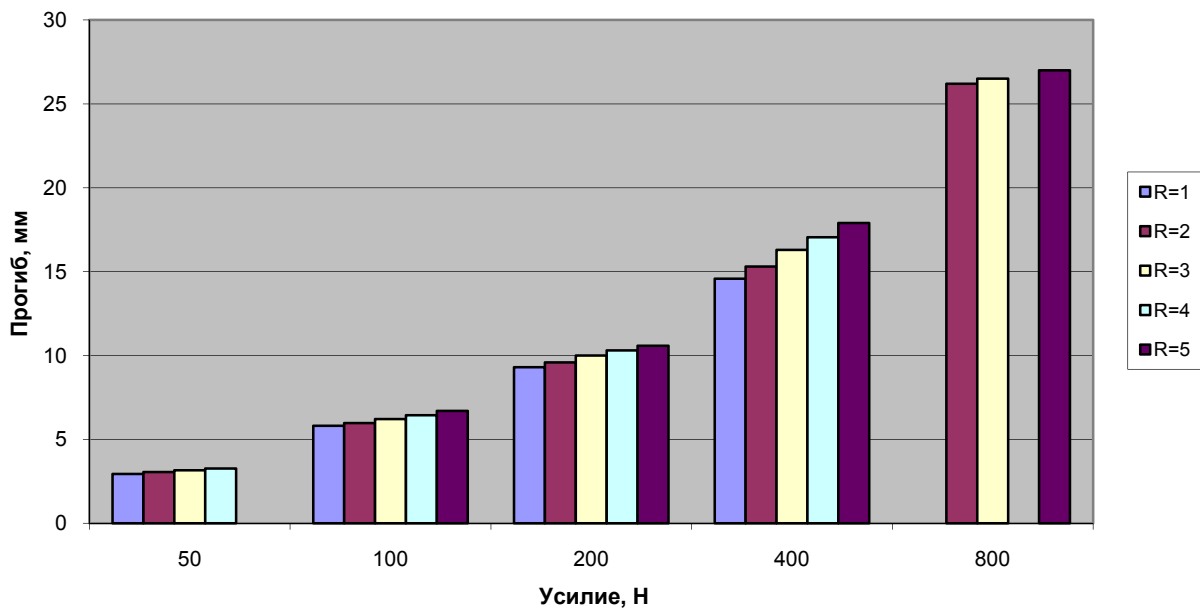


Рис. 3. Диаграмма зависимости прогиба от усилия и радиуса

Технологическая задача на разработку и опробование технологии изготовления профиля “стрингер” заключалась в использовании сечения профиля с размером внутреннего радиуса зон сгиба величиной 2 мм, вместо исходного 3 мм, т.е. судя по проведенным расчетам, такое изменение, в первом приближении, должно привести к увеличению жесткости профиля примерно на 3,5% или к уменьшению массы используемых гнутых профилей при той же жесткости конструкции на 3,5%.

В тоже время необходим анализ возможности изготовления сечения с внутренним радиусом $R=2$ мм в гибочно-прокатных станах без возникновения разрушения по наиболее интенсивным зонам деформации и анализ микроструктуры как угловых, так и прямолинейных зон сечения профиля на возникновение укрупнения зерен после термообработки.

Для анализа изготовления профиля с $R=2$ мм использовались возможности программы LS-Dyna с применением явных средств моделирования, которые применяются для динамического анализа, к которым и можно отнести процессы изготовления гнутых профилей.

Технологическая схема, которая применяется для изготовления данного профиля, приведена на рис. 4. При проектировании роликовой оснастки использовался метод стесненного изгиба (СИ). Технологическая схема состоит из 6 технологических переходов, где за первые 5 переходов осуществляется набор волнообразной заготовки с осадкой в последнем переходе. При этом набор волнообразной осуществляли с увеличенной шириной развертки, что обеспечивает в процессе осадки возникновение сжимающих усилий, за счет, как торцевого

сжатия, так и осадки дугообразной части заготовки, в результате чего происходит уменьшение величины внутреннего радиуса зоны сгиба профиля, набор толщины по зоне сгиба, а действующие сжимающие усилия не позволяют растягивающим тангенциальным деформациям набрать достаточную величину для образования трещин, что позволяет получать профили из труднодеформируемых и малопластичных материалов.

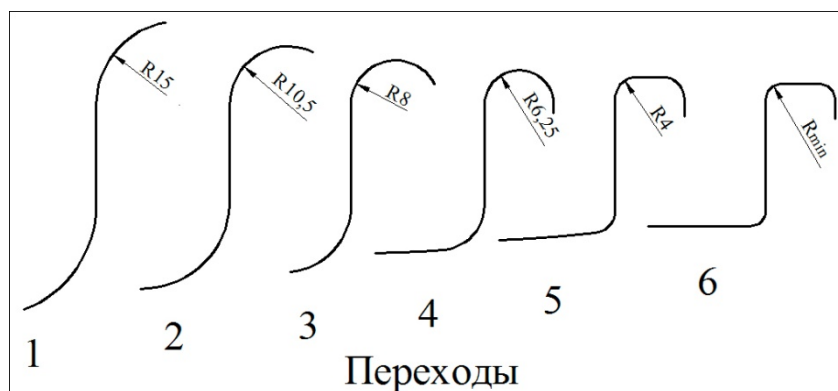


Рис. 4. Технологическая схема изготовления профиля “стрингер”

В программе LS-Dyna были построены 3D модель роликовой оснастки по технологической схеме описанной выше и плоская заготовка шириной большей развертки калибра окончательного перехода на 2 мм [1]. В качестве исходного материала заготовки использовался сплав В-95М. Для выявления точных параметров данного материала использовали диаграмму одноосного растяжения образцов материала. Параметры материала с диаграммами растяжения В-95М переводили в модели материала и закладывались в программу LS-Dyna (табл.1).

Таблица 1

Модели материала используемые в программе LS-Dyna

	Марка материала	Свойства материала	Математическая модель материала	Примечание
Исходная заготовка	В-95М	Деформируемый	Джона/Кука	Материал *MAT_JOHNSON_COOK, зависящий от деформации и температуры, с возможностью задания критерия разрушения
Формующие ролики	9ХС	Недеформируемый	Абсолютно жесткий	Материал *MAT_RIGID

В математической модели процесса использовались типы элементов для заготовок – solid со схемой полного интегрирования, для роликов сетка задавалась только на их поверхности. Конечно—элементная модель включала в себя суммарно более 400 тыс. элементов. Некоторые результаты моделирования приведены на рис. 5 и 6.

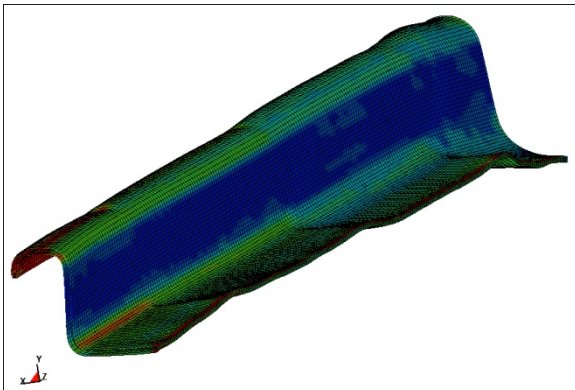


Рис. 5. Зоны плавного перехода при изготовлении профиля “стрингер”

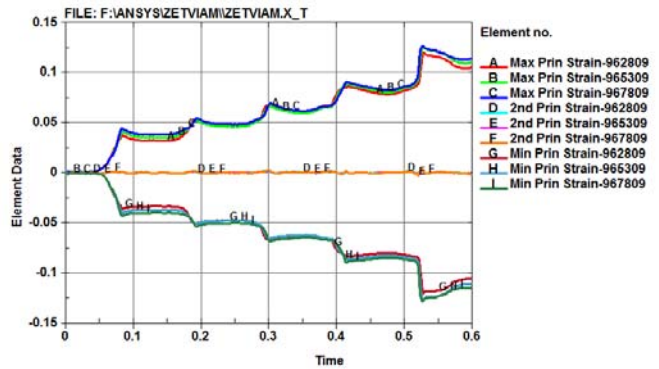


Рис. 6. Графики распределения главных деформаций по наружным зонам изгиба

По рис. 5 видно, что наибольшей пластической деформации подвергаются зоны сгиба профиля и участки, осаживаемые в процессе СИ. Наименее подвержен деформации средний вертикальный участок профиля. Графики на рис. 6 построены для 3-х произвольных зон по биссектрисе угловых зон профиля по наружной стороне. При этом распределение главных деформаций можно связать с деформациями в угловых зонах изгиба.

Здесь максимальная главная деформация (Max Prin Strain) – тангенциальная деформация; вторая главная деформация (2nd Prin Strain) – аксиальная деформация; минимальная главная деформация (Min Prin Strain) – радиальная деформация. Как видно из графика тангенциальная деформация не превышает 13%, что не приводит к образованию трещин зон сгиба в процессе изготовления профиля.

Для практической апробации процесса и получения опытной партии была изготовлена соответствующая технологическая оснастка и проведены ее испытания на гибочно-прокатном стане ГПС-350М6 (рис. 7) в ОАО “Ульяновском НИАТ”. Исследования проводили на металле В-95АМ с плакированным покрытием.

Исследование геометрических параметров сечения профиля показало их достаточно хорошее соответствие параметрам сечения профиля по чертежу. Для исследования микроструктуры и величин зерен готовили шлифы, а зоны профиля исследовали на микроструктуру на микроскопе МИМ-8М.

Как показали эти исследования, рост зерна выявлен по прямолинейной нижней части профиля и требует некоторой корректировки технологической схемы. Исследование плакирующего слоя показало отсутствие его нарушения по всему сечению профиля.

Рост зерна по зоне изгиба связан с неравномерностью пластической деформации. Обычно рост зерна наблюдается в зонах с критическими степенями деформации. Однако неравномерность деформации в зонах изгиба присуща практически всем способам гибки, а требования к размеру зерна при производстве авиационных профилей является критичным для технологии. В этом случае задача заключается в разумном сочетании термической обработки профилей с процессом формообразования, особенно в тех случаях, когда за изготов-

лением профиля следуют другие операции (например, подсечка, малковка, гибка по контуру и т.п.).

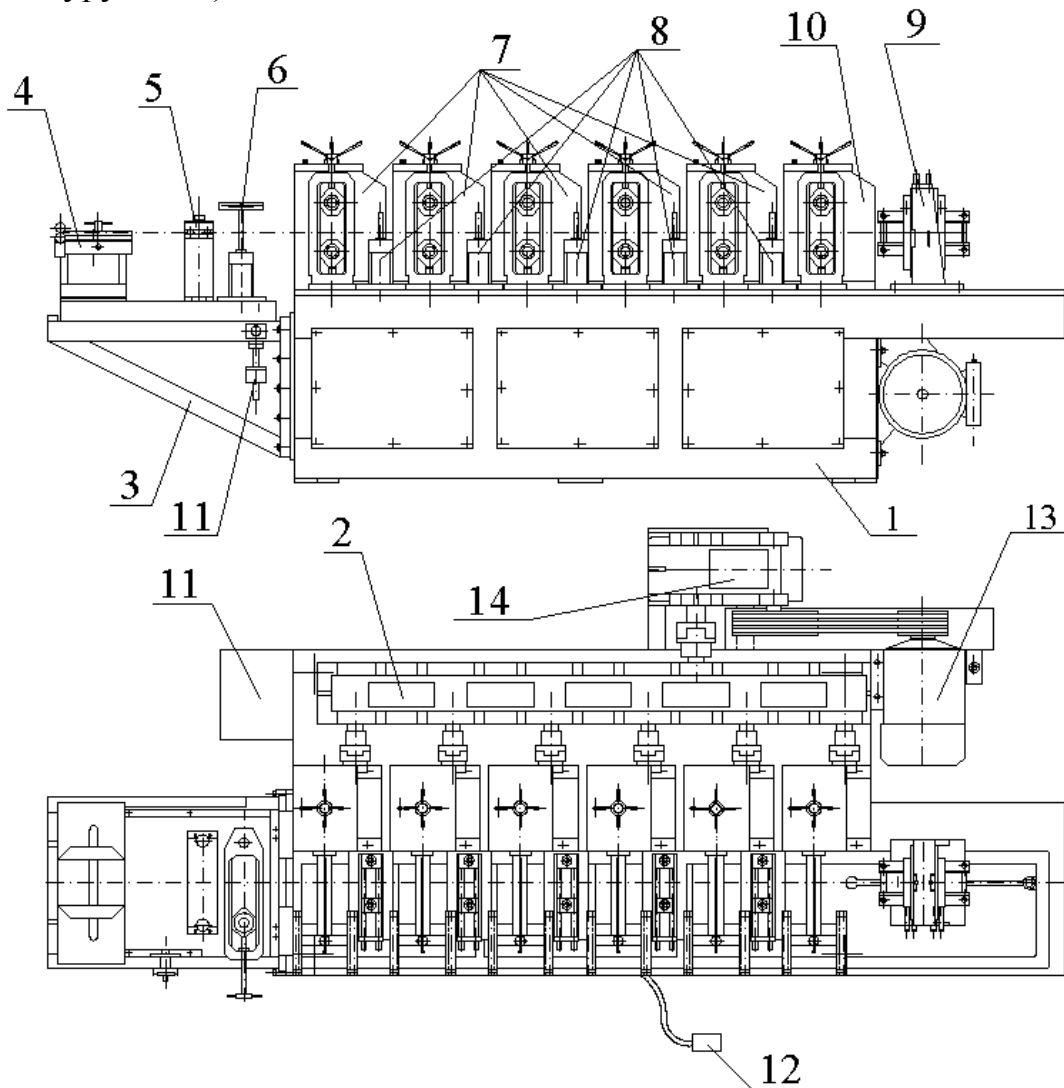


Рис.7. Схема гибочно-прокатного станка ГПС-350М6: 1 – станина; 2 – привод профилирующих клетей; 3 – рама; 4 – устройство направляющее; 5 – устройство для протирки и смазки ленты; 6 – клеть подготовительная; 7 – клеть предварительной формовки; 8 – межклетьевая проводка; 9 – устройство правильное; 10 – клеть окончательная формующая; 11 – привод клетки подготовительной; 12 – пульт управления; 13 – электродвигатель; 14 – редуктор.

Выводы: 1. Моделирование показало, что уменьшение величины радиуса зоныгиба профиля с 3 до 2 мм увеличивает жесткость профиля на 3,5%; 2. Моделирование и практическое апробирование процесса показало, что формование на внутренний радиус равный 2 мм не приводит к образованию трещин по сечению профиля; 3. Предложенная технологическая схема не вызывает нарушения плакировки профиля как по прямолинейным зонам профиля, так и по внутренним и внешним поверхностям уголковой зоны при формовке на радиус 2 мм; 4. Применение метода стесненного изгиба обеспечивает утолщение по зонам сгиба до (3-10)%; 5. Проведенное моделирование процесса адекватно практическому исследованию; 6. Получены опытные образцы профилей из материала В95. Выбран наиболее предпочтительный технологический маршрут изготовления деталей типа стрингер из заготовки в свежезакаленном состоя-

нии; 7. Проведены замеры геометрических характеристик параметров профиля и металлографические исследования, которые показали соответствие деталей требованиям чертежа и сохранение основной структуры материала, что соответствует требованиям отраслевой НТД; 8. Отмечен незначительный рост зерна по нижней прямолинейной зоне профиля.

Библиографический список

1. РТМ 1.4.2005-90 Изготовление профилей из листов алюминиевых сплавов Д16ч, В95, 1420 методом стесненного изгиба М.:НИАТ,1991. (Руководящий материал). Проскуряков Г.В., Москвин А. С., Арышенский Ю.М., Власов В.И., Филимонов В.И.



- Марковцев Владимир Анатольевич, к.т.н.,
генеральный директор ОАО «Ульяновский НИАТ»
- Илюшкин Максим Валерьевич, к.т.н.,
зам. ген. директора ОАО «Ульяновский НИАТ»
- Баранов Александр Сергеевич,
начальник НИС-132 ОАО «Ульяновский НИАТ»



УДК 621.981

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ С ЗАДАННОЙ ПРОДОЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ ИЗ МАТЕРИАЛОВ С ПОКРЫТИЕМ

Марковцева В.В.

Необходимость повышения долговечности, надежности, ресурса работы конструкции летательных аппаратов приводит к появлению и внедрению в производство новых методов изготовления гнутых профилей как составляющих каркаса, а также использованию новейших материалов. В настоящее время в России, в рамках федеральной программы, разрабатывается и изготавливается летательный аппарат МС-21. В состав конструкции фюзеляжа данного самолета входят гнутые профили с заданной продольной кривизной, так называемые «Стрингеры» и «Шпангоуты». Повышенные требования к данным изделиям (жесткость, прочность, коррозионная стойкость, высокая точность геометрических форм и размеров и т.д.) удовлетворяются применением специальных методов изготовления профилей и непрерывным совершенствованием существующих технологий.

Для изготовления гнутых профилей с заданной продольной кривизной для авиационных изделий используются такие сплавы на основе алюминия, как В95, 1163, алюминиево-литиевый сплав В-1469. Особенность листовых заготовок из указанных материалов заключается в наличии на их поверхности покрытия в виде плакировки алюминием. Наличие покрытия накладывает ограничения на режимы формообразования гнутых профилей, в частности, в соответствии с техническими рекомендациями Т.Р.1.4.1780-87, минимально допустимый

радиус сгиба таких изделий составляет $2s$ (где s – толщина исходного материала в мм). Такие ограничения связаны с тем, что многие виды дефектов при изготовлении гнутых профилей располагаются именно по зонам сгиба: трещинообразование, разрывы, отслоение покрытия и др.

Для оценки возможности получения стрингерного профиля в роликах из алюминийево-литиевого сплава В-1469, алюминийевых сплавов В95, 1163 и др. проводилось моделирование процесса в программе динамического анализа ANSYS LS-Dyna.

Цель данного исследования заключается в установлении предельных режимов формообразования бездефектных профилей с заданной продольной кривизной из материалов с покрытием – плакирующим слоем.

Для достижения поставленной цели был сформулирован ряд задач: 1. Создать экспериментальную модель процесса формообразования гнутого профиля с помощью программы Ansys LS-Dyna; 2. Установить энергосиловые параметры данного процесса профилирования; 3. Проанализировать полученные результаты.

Моделирование в программе LS-Dyna позволяет с большой точностью определить все необходимые параметры для разработки оптимальной технологии, путем определения напряженно-деформированного состояния в любой точке профиля в любой момент процесса деформирования.

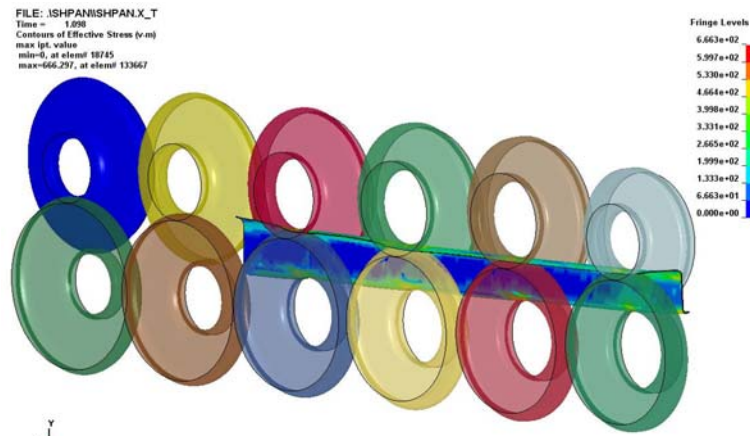
Для максимального приближения математической модели процесса профилирования к практическому, необходимо задать наиболее близкие условия, присущие действительному процессу. Так, в математической модели процесса использовались следующие параметры: тип элемента – Solid 164 с полной схемой интегрирования, модель материала Джонсона/Кука (*MAT_JOHNSON_COOK), зависящая от деформации и температуры, кроме того, данная модель позволила задать критерии разрушения, образования трещин.

Ролики задавались как абсолютно жесткие (Rigid) тела, КЭ сетка задавалась по их поверхности, используя тип элемента Shell 163. Тип контактного элемента: заготовка – формующие ролики – Forming surface-to-surface contact (FSTS), заготовка – направляющие и промежуточные ролики – Automatic surface-to-surface contact (ASTS). Конечно-элементная модель включала в себя 400000 элементов на исходной заготовке и роликовом инструменте.

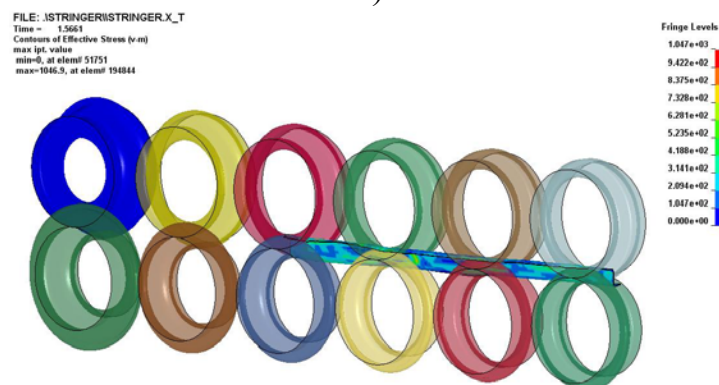
Описание формоизменения заготовки методом конечных элементов осуществляли следующим образом. Заготовка в виде полосы длиной 900 мм, шириной, равной ширине развертки посредством приводных вертикальных роликов поступала в первый переход. После подачи и захвата заготовки первой парой роликов привод на подающих роликах отключали. На ролике задавались угловые скорости, соответствующие направлению проката. Движение полосы через калибры происходило под воздействием сил трения, возникающих в процессе подгибки элементов полка.

По результатам моделирования было проанализировано напряженно-деформированное состояние по зонам сгиба профиля “Шпангоут” (Рис.1,а), про-

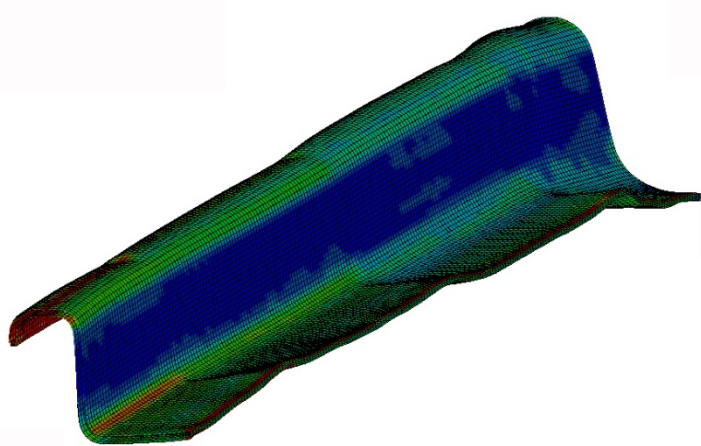
филя «Стрингер» (Рис.1, б) и распределение по эффективным деформациям профиля «Стрингер» (Рис.1, в).



а)



б)



в)

Рис. 1. Модель формообразования гнутого Z-образного профиля

При моделировании технологического процесса изготовления данного профиля были скорректированы условия деформирования и виды технологических калибров для соблюдения требований к предельным деформациям по угловым зонам заготовки. Описание процессов одновременного формообразования и продольной гибки профилей на гибочно-прокатном станке в последней формующей клетки и в гибочном модуле с учетом физико-механических свойств материала и геометрических размеров профиля возможен лишь путем числен-

ного моделирования. В данном случае это описание проводилось с использованием программы Ansys LS-Dyna.

Получение заданной продольной кривизны профиля «Шпангоут» обеспечивается приложением момента M_0 действующих сил, создавших продольную кривизну профиля и определяется по формуле [1]:

$$M_0 = 2S_0 K_0 \left[z_c \int_0^{\frac{b_1}{2}} \varepsilon_y^n dx - (H + z_c) \cdot \int_0^{b_3} \varepsilon_r^n dr \right]$$

где Z_c - положение центра тяжести профиля;

$$K_0 = \sigma_{02} \sqrt{\frac{M_{yx}}{1 - M_{yx} M_{xy}}} \left(\frac{1}{M_{yx}} + \frac{1}{M_{xy}} - 2 \right), H = e_2 \sin \alpha + S_0.$$

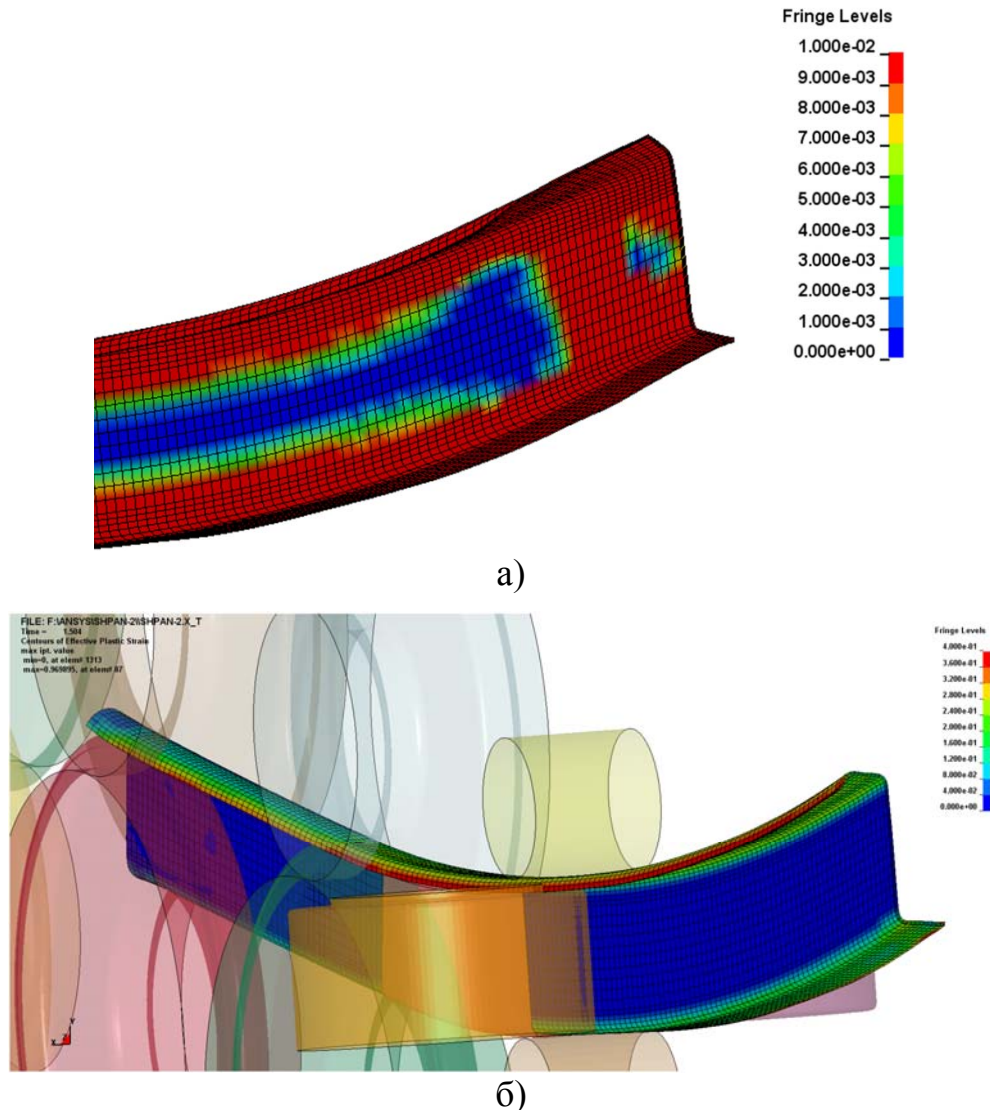


Рис. 2. Конечно-элементная модель роликов и заготовки профиля «Шпангоут»

При правке профиля, с целью создания его прямолинейности, необходимо приложение внешней силы, компенсирующей внутренний момент, создающий продольную кривизну заготовки. Поэтому условие прямолинейности профиля можно сформулировать в виде:

$$M_0 - M_{\pi} = 0,$$

где $M_{\text{п}}$ – момент, создаваемый силами внешних устройств, установленных за парой роликов окончательного формообразования.

В осевой плоскости калибра роликов последнего перехода гибочно-прокатного станка (ГПС) для формообразования профилирования гнутых профилей, возникает изгибающий момент, который может привести к продольной кривизне профиля при размещении на выходе из последней профилирующей клетки специального устройства в виде гибочного нажимного ролика.

На основе проведенного математического моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния был разработан технологический маршрут изготовления гнутых профилей «Стрингер» и «Шпангоут», содержащий последовательность осуществления технологических операций.

Также на основе полученных экспериментальных теоретических данных и разработанных чертежей была спроектирована и изготовлена технологическая оснастка на профили «Стрингер» (рис.3, а) и «Шпангоут» (рис.3, б).

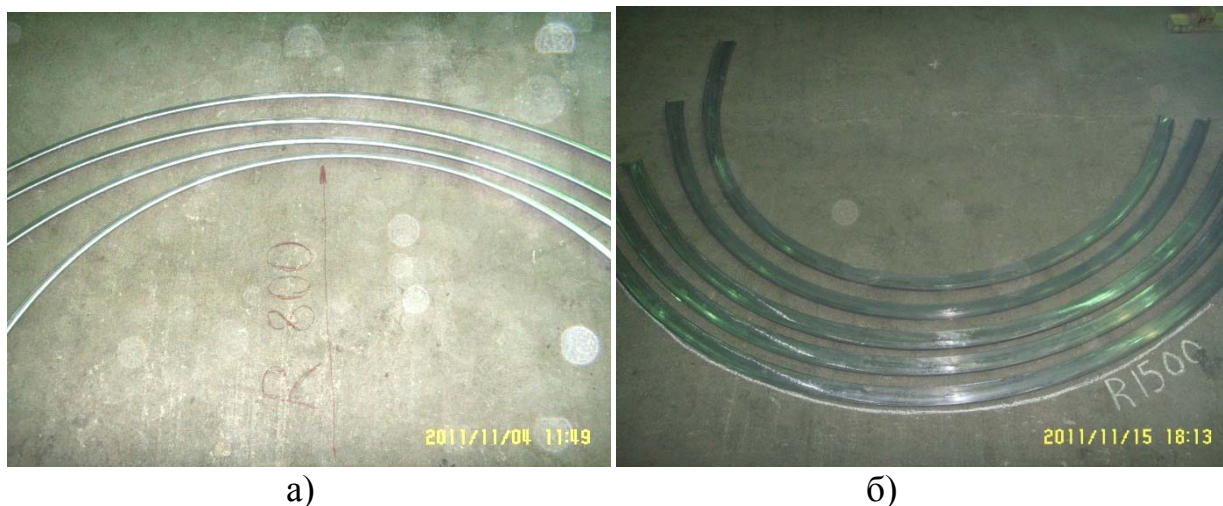


Рис. 3. Профили с заданной продольной кривизной: а – «Стрингер», б – «Шпангоут»

Проведенные замеры геометрических параметров полученных профилей показали соответствие геометрических размеров и формы изделий требованиям чертежей. Поверхность и структура материалов профилей «Стрингер» и «Шпангоут» соответствовали структуре материала на уровне свойств исходного листа.

Библиографический список

1. Марковцев В.А., Филимонов В.И. Формообразование стеснённым изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.



- Марковцева Валерия Владимировна, аспирантка кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ОТРАБОТКА ПРОЦЕССА РУБКИ ТОЛСТОСТЕННОГО ПРОФИЛЯ ПОЛУЗАМКНУТОЙ ФОРМЫ

Илюшкин М.В., Баранов А.С., Марковцев В.А.

Рубка в штампе является более технологичной операцией по сравнению с резкой пилой. Процесс рубки позволяет уменьшить время разделительной операции, снизить уровень шума, улучшить условия труда, исключить наличия в воздухе частиц абразива или металлической пыли. Разработка конструкции штампа, позволяющая производить рубку профилей с минимальным искажением поперечного сечения, является важной задачей при производстве профилей на гибочно-прокатных станах [1]. С другой стороны, в случае применения пневматических отрезных устройств дополнительным ограничением является усилие, развиваемое цилиндром пресса, поскольку при рубке толстых материалов это может быть существенным ограничением процесса.

Основной элемент, воздействующий на профиль при рубке, является нож (пуансон) штампа. Выбор формы ножа, позволяющий отрубать профили с минимальным усилием является основной задачей данных исследований.

В качестве объекта исследования был выбран профиль с сечением полузамкнутого типа “труба 46х3,0” (рис. 1). Автоматизированная линия производства ОАО “Ульяновский НИАТ” включала в себя также пневматический пресс со сдвоенным цилиндром (тандем) Ø250 мм (рис. 2).

При первоначальном практическом испытании процесса рубки данного профиля применяли нож клиновидной формы. При рубке на вышеуказанном прессе возникло непрорубание отдельных элементов сечения профиля (рис. 3). Дальнейшие практические испытания проводились параллельно с моделированием процесса рубки. Моделирование в отличие от практических испытаний имеет явное преимущество в виде значительного сокращения затрат (нет необходимости изготавливать штамп) и поэтому все чаще применяется, в том числе и в ОАО “Ульяновский НИАТ”.

Твердотельная модель штампа представляла собой упрощенную конструкцию (рис. 4), содержащую нож 1 и полуматрицу 2, и была представлена только половиной штампа, как результат его симметрии.

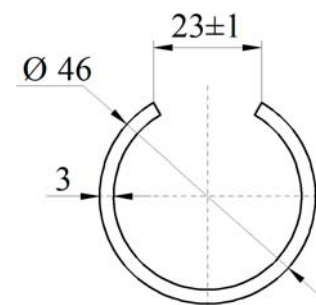


Рис. 1. Профиль замкнутого типа “труба 46х3,0”

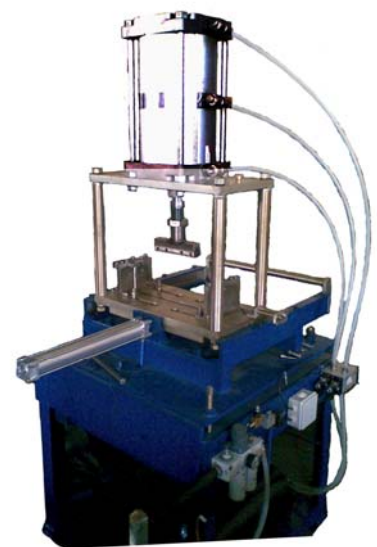


Рис. 2. Пневматический пресс-тандем

Моделирование процесса рубки проводили в программе LS-Dyna [2].



Рис. 3. Непрорубание элементов профиля клиновидным ножом

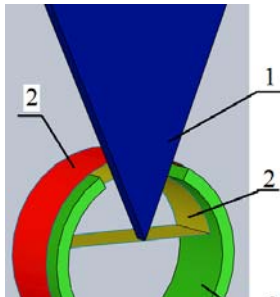


Рис. 4. 3D модель штампа с профилем: 1 – нож, 2 – полуматрица, 3 – профиль

Исходная 3D модели загружалась в препроцессор LS-prepost, где создавалась КЭ модель и прикладывались нагрузки.

Пуансон и матрица задавались как абсолютно жесткие (Rigid) тела, конечно-элементная (КЭ) сетка задавалась только на их поверхности, используя оболочный тип элемента.

Для модели материала профиля была выбрана пластическая кинематическая модель (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC) с коэффициентом разрушения и объемным типом конечного элемента. Характеристики материала профиля приведены в табл. 1.

В качестве критерия разрушения был принят критерий превышения допустимой деформации [2]:

$$\varepsilon_1 \geq \varepsilon_{np};$$

где ε_1 – максимальная главная деформация;

ε_{np} – главная деформация при разрушении.

Величина предельной деформации определялась из эксперимента на одноосное растяжение и для стали 08 составляла 40%.

Для создания контактных поверхностей между инструментом и профилем использовали тип контакта Automatic surface-to-surface contact (ASTS), а так же Automatic general (AG) – для самоконтакта профиля.

Были заданы соответствующие условия ограничения профиля от смещения и условия ограничения на симметрию штампа.

Таблица 1

Характеристики материала профиля

Плотность (ρ), т/м ³	7,85e-9
Модуль Юнга (E), МПа	2e5
Коэффициент Пуассона	0,3
Предел текучести (σ_T), МПа	250
Касательный модуль (E'), МПа	960
Предельная пластическая деформация (ε_{np})	1

Был промоделирован процесс с клиновидной формой ножа. Исследованы основные этапы рубя (рис. 5) и график возникающих усилий на ноже (рис. 6). На основных этапах рубя приведено время хода ножа.

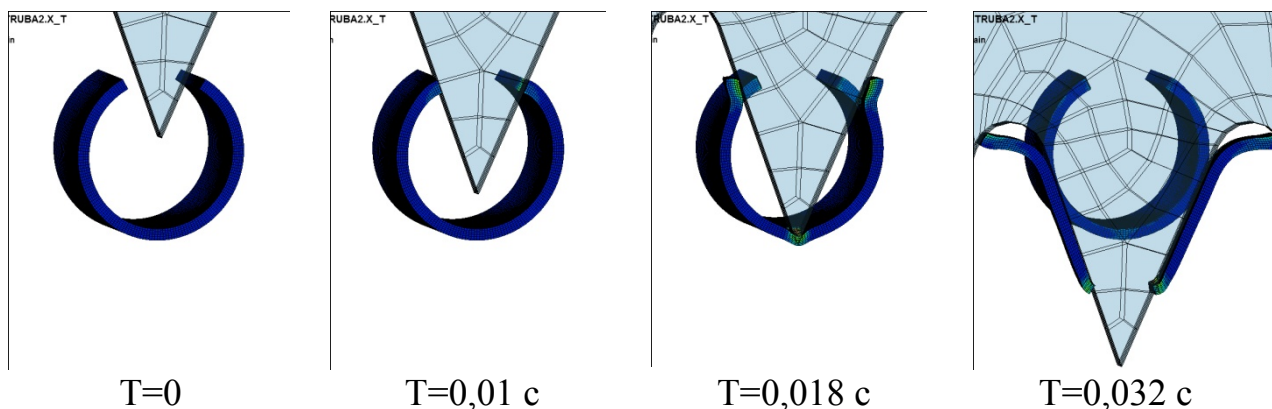


Рис. 5. Этапы рубки профиля клиновидной формой ножа и время хода ножа

Как показало исследование графика усилий, имелось 3 пика возрастания сил: 1-й пик – момент начала процесса разделения металла. Принятая форма ножа вызывает осадку торцевых участков профиля, в результате чего усилие увеличивается до 12 кН ($T=0,01$ с); 2-й пик – наибольшая сила в момент прорубания дна профиля, нож врезается в металл и разделяет его на 2 равные части. Одновременно с этим разделение металла происходит и по боковым элементам профиля ($T=0,018$ с); 3-й пик – окончательный проруб металла ($T=0,032$ с).

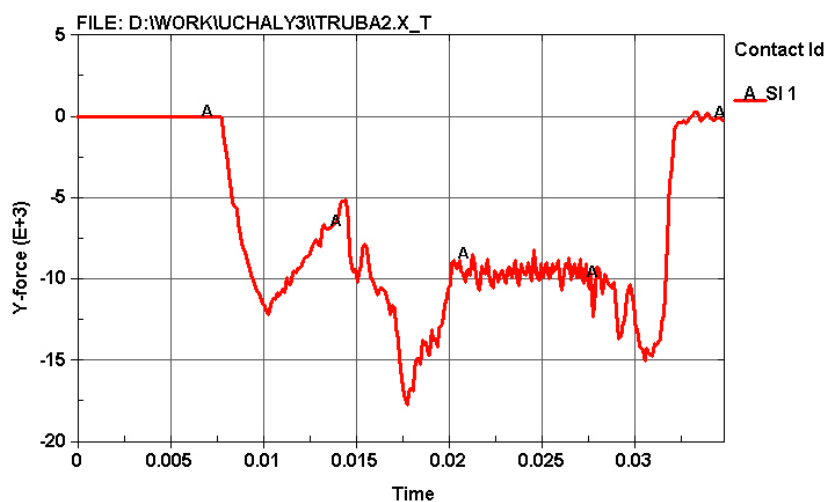


Рис. 6. График сил на клиновидном ноже при рубке

На практике нож останавливался именно на 3-м пике (рис. 3).

Исследование показало, что одной из причин непрорубания является одновременная рубка всех элементов профиля и первоначальная осадка торцевых участков профиля (угол между торцом профиля и ножом близок к 90°).

Следующая опытная форма ножа была разработана с целью сгиба отходов вовнутрь сечения профиля (рис. 7).

В отличие от клиновидного ножа, отход после разделения металла складывался в две толщины, и дальнейшее деформирование требовало уже больших сил на проталкивание отхода вниз по матрице (рис. 8).

Первые две стадии процесса аналогичны предыдущему варианту. Но на третьей стадии (рис. $T=0,015$) отход складывался вниз. В этот момент сила возрастала до 20 кН. На практике нож останавливался уже в этом месте (рис. 9).

Необходим был выбор иного типа ножа, который обеспечивал бы минимальное усилие рубки. Для выполнения этого условия было предложено разделить рубку донной и боковых частей во времени. Специалистами ОАО “Ульяновский НИАТ” было предложено несколько вариантов форм ножей.

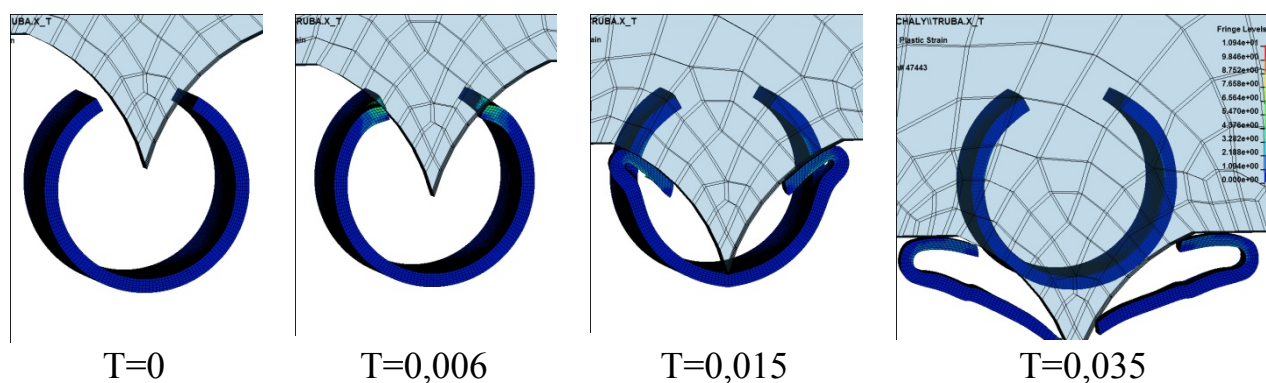


Рис. 7. Этапы рубки профиля измененной формой ножа

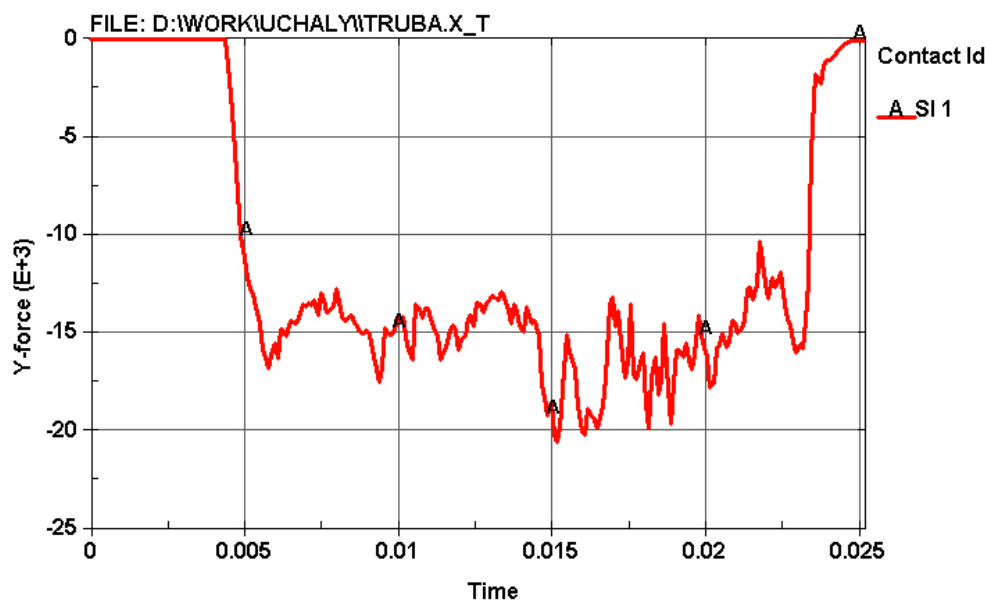


Рис. 8. График силы на ноже при рубке измененной формой ножа

Некоторые формы ножей имели обратный эффект, например, нож на рис. 10 при моделировании показал силу в 40 кН, что было связано с пластическим деформирование одновременно двух зон по дну профиля.



Рис. 9. Загиб отходов внутрь профиля

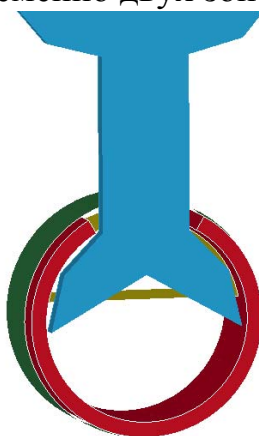


Рис. 10. Неудачная форма ножа

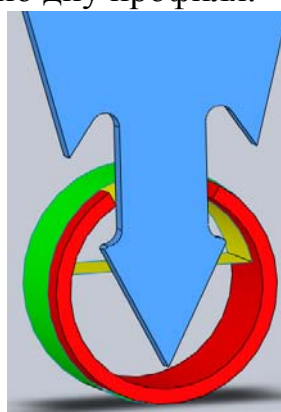


Рис. 11. Хорошая форма ножа

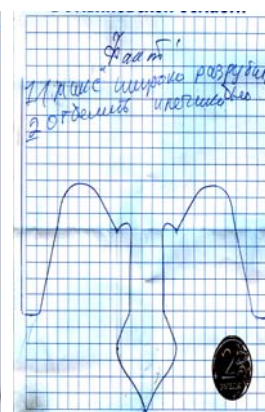


Рис. 12. Форма ножа Чмыхало А.В.

Наиболее удачным был нож представленный на рис. 11, где в процессе рубки сначала вырубали дно профиля, затем боковые элементы профиля.

Дальнейшая практическая доработка конструкции ножа по предложению инженера А.В. Чмыхайло (ОАО "Ульяновский НИАТ") привела к следующей

конфигурации (рис. 12). Данный нож обеспечивал: 1. Разделение рубки на 2 этапа – рубка донной части, рубка боковых частей профиля; 2. Быстрое внедрение острой части ножа и далее плавное отделение материала (без осадки элементов профиля). Аналогично происходило и отделение металла для боковых элементов профиля, где внедрение в металл происходило за счет “зубчиков” на ноже. Предлагаемая форма ножа позволяла отрубать на выбранном пневматическом устройстве при давлении 0,4-0,5 МПа.

Однако при изготовлении опытной партии выявлены недостатки: 1. Малая жёсткость пневматического устройства приводила к прогибу верхней плиты пресса; 2. Появление даже незначительных задигов приводило к увеличению силы рубки. При давлении в системе 0,6 МПа нож не отрезает заготовку за один ход штока пневмоцилиндра; 3. Специфическая форма ножа привела к снижению его жесткости и недостаточной прочности отрезных ножей. В отдельных случаях нож выдерживал не более 300 резов (рис. 13).

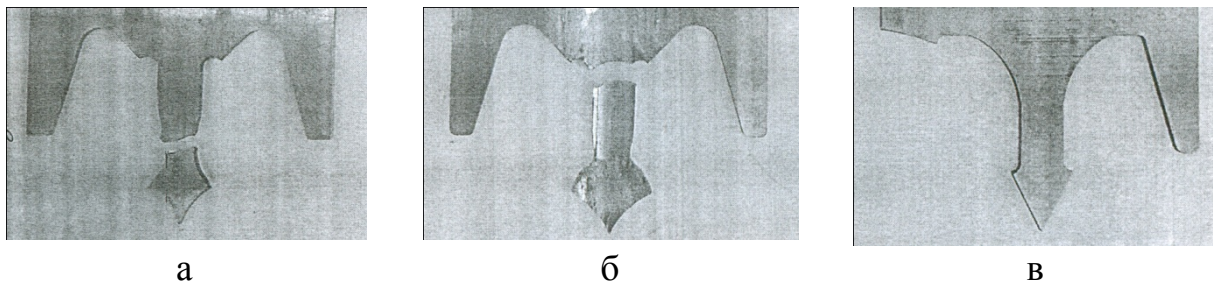


Рис. 13. Виды поломки ножей: а, б – излом центральной части, в – излом боковой части

Для увеличения стабильности процесса рубки была рекомендована замена пневматического пресса на кривошипный усилием не менее 40 тонн с применением штампа усиленной конструкции.

Библиографический список

1. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Лазарев И.И. Выбор оптимальной формы ножа для рубки профилей замкнутого типа в штампах с помощью программы ANSYS/LS-DYNA // Заготовительные производства в машиностроении.-2009.-№1.- с. 29-31.

2. LS-DYNA Theoretical manual. 2006. Livemore software technology corporation



- **Илюшкин Максим Валерьевич, к.т.н.,**
зам. генерального директора ОАО «Ульяновский НИАТ»
- **Баранов Александр Сергеевич,**
начальник НИС-132 ОАО «Ульяновский НИАТ»
- **Марковцев Владимир Анатольевич, к.т.н.,**
генеральный директор ОАО «Ульяновский НИАТ»



3. КОНСТРУКЦИИ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ: КЛАССИФИКАЦИЯ, РАСЧЁТ, ПРОЕКТИРОВА- НИЕ, СБОРКА КОНСТРУКЦИЙ

УДК 621.981

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Филимонов В.И., Филимонов С.В., Волков А.А.

Расширение сортамента и освоение новых типоразмеров гнутых тонкостенных профилей на промышленных предприятиях требует оценки технологичности профиля на различных стадиях его проектирования и изготовления. В отечественной литературе вопросам технологичности изготовления профилей в роликах уделяется весьма незначительное внимание в связи с малочисленностью фирм-разработчиков оборудования и технологии профилирования в России. Однако данный вопрос является важным как для предприятий, разрабатывающих новые конструкции гнутых профилей, так и для предприятий-разработчиков технологии и эксплуатирующих организаций. В некоторых случаях проработка профиля на технологичность является обязательной перед освоением новых изделий с применением гнутых профилей (например, в авиационном строении).

Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий изложены в источниках [1 – 3], однако практическая реализация предписаний ГОСТов предполагает выделение определяющих характеристик конструкции и производственного процесса (рис. 1).

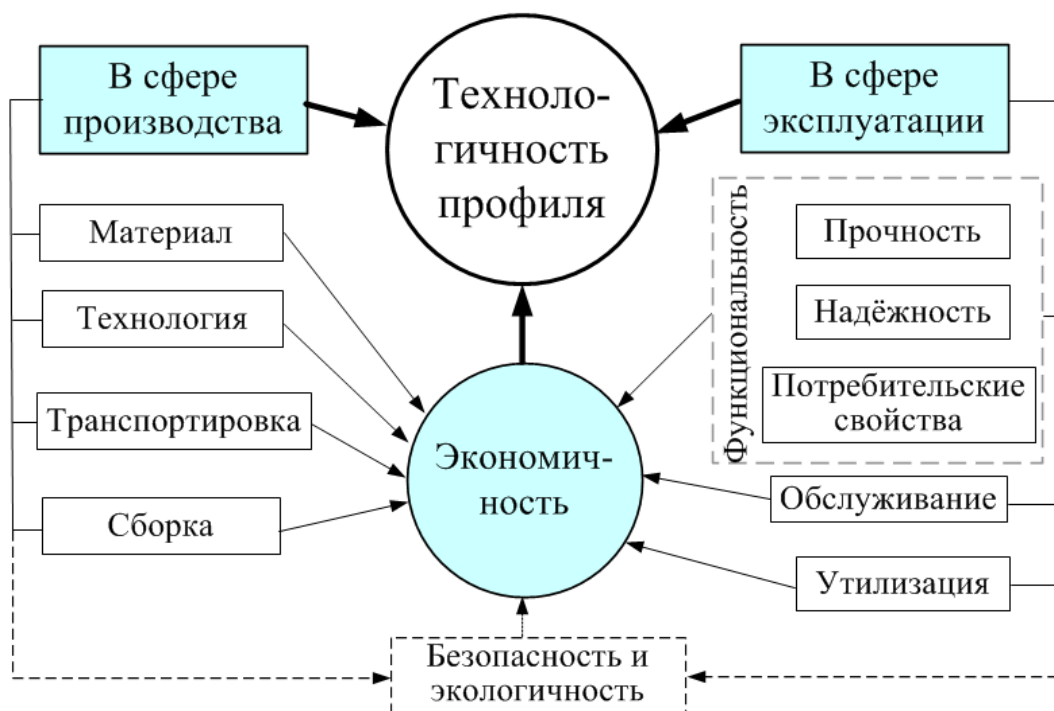
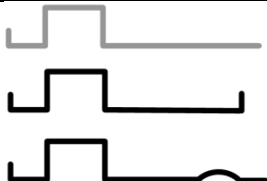
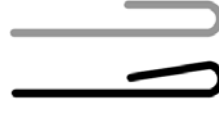


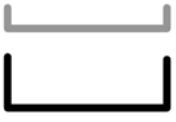
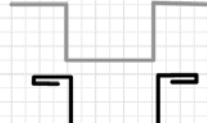
Рис. 1. Схема взаимосвязи составляющих технологичности гнутого профиля

Здесь не учтено проявление технологичности в сфере ремонта, поскольку восстановление и замена гнутых профилей в конструкциях почти не практикуются. Также не приняты в рассмотрение такие виды проявлений технологичности в сфере эксплуатации как текущий ремонт и диагностирование состояния. Значимость экологичности и безопасности относится к применению профилей из материалов с вредными добавками (типа материалов семейства АБМ – дисперсно упрочненных материалов на основе алюминия с частицами бериллия), а в сфере производства – к применяемой технологии и расходным материалам.

В приведенной ниже таблице показаны пути улучшения технологичности гнутых профилей в соответствии с рис.1 на стадии разработки их конструкции.

Пути улучшения технологичности гнутых профилей

Недостаток, предполагаемое решение	Эскиз, параметр	Примечание
1. Конфигурацию несимметричного профиля следует приводить к симметричной с сохранением функциональных свойств		Симметрия сечения профиля позволяет предотвратить скрутку при формовке
2. Вертикальные (особенно высокие) боковые стенки профиля лучше заменять на наклонные	 , целесообразно предусматривать наклон боковых стенок 75° вместо 90° , в обоснованных случаях – отклонение от вертикали хотя бы на $1/2^\circ$	Вертикальная стенка затрудняет формовку, требует большего числа переходов и сопровождается потёртостями боковых стенок.
3. Несимметричная форма профиля может быть уравновешена за счёт рифта или отбортовки менее жёсткой части профиля		Указанные меры позволяют предотвратить кромковую волнистость и скрутку
4. Косая отбортовка (каплевидная) предпочтительнее параллельной отбортовки		Формовка каплевидного ЭДТ не сопровождается кромковой волнистостью.
5. Следует избегать узких и глубоких рифтов		Тонкий участок ролика для формовки узкого рифта часто подвержен излому.

6. Размер отбортовки или элемента двойной толщины (ЭДТ) должен быть больше трёх толщин заготовки		В противном случае возникает сложность подгибки и формовки ЭДТ
7. Отбортовки на широких профилях позволяют избежать кромковой волнистости		Отбортовка повышает жёсткость периферийного элемента
8. Следует избегать больших радиусов сопряжения между элементами профиля		Снижение жёсткости приводит к фланжированию заготовки и существенному пружинению
9. Следует избегать слепых зон формовки		В слепых зонах (нижний угол слева в исходной конфигурации) имеет место односторонний доступ инструмента, что ведёт к отклонению по радиусу.
10. Широкие профили подвержены волнистости по дну (oil canning)		Продольные рифты повышают жёсткость донной части профиля
11. Профили с широкими периферийными полками подвержены кромковой волнистости		Периферийные элементы жёсткости типа отбортовок, ЭДТ или петельных элементов предотвратят кромковую волнистость.
12. Минимальный радиусгиба должен превышать толщину заготовки	Стандартный радиус изгиба – 2 толщины. В необходимых случаях малые радиусы достигаются за счёт бульбообразного элемента или продольной канавки, формуемой предварительно на глубину до 1/3 толщины заготовки.	Малые внутренние радиусы трудны для формовки (износ роликов, повышенные энергозатраты) и могут приводить к разрушению наружного контура зоны изгиба для малопластичных материалов или к нарушению покрытия заготовок с покрытием.
13. Повышение класса точности сечения требует увеличения числа переходов	Линейный размер до 50 мм – $\pm 0,25$ мм; Угол – $\pm 1^\circ$; Скрутка – 3,5 мм/м; Прогиб (саблевидность) – 0,8 мм/м (более жёсткие до-	Класс точности определяется факторами: пружинением, отклонениями в твёрдости, толщине, пределе текучести заготовки, отклоне-

	пуски существенно повышают стоимость полуфабриката или готового изделия)	ниями точности оснастки и её износом, состоянием профилировочного станка и точностью его настройки.
14. Чем больше высота профиля, тем больше число переходов	Глубина формовки не должна превышать 80 – 100 мм.	Профили большей высоты требуют больших диаметров роликов и более мощных станков
15. С увеличением числа зон изгиба увеличивается число переходов		
16. Для каждой зоны изгиба последующий угол подгибки за переход уменьшается		
17. Периферийные зоны изгиба для С-образного профиля формуются первыми		
18. Срединные и периферийные зоны изгиба для корытного профиля формуруются одновременно		
19. Пружинение растёт с ростом радиуса кривизны		
20. Бульбы или рифты должны формироваться быть в первых переходах или на предпоследних переходах. Рифты создают остаточные напряжения, ведущие к продольному изгибу		
21. Углы подгибки по переходам не должны превышать критические углы		
22. Для формовки заготовок с ЛКП, нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов обычно требуется большее число переходов		
23. Пружинение увеличивается при увеличении зазора в роликах		
24. Поштучное профилирование требует несколько большее число переходов, чем непрерывное профилирование		
25. Повторяющийся рисунок неослабляющих отверстий можно размещать произвольно.		
26. Число ослабляющих отверстий (особенно неповторяющихся по рисунку) желательно сводить к минимуму.	Отверстия должны быть расположены не ближе, чем 12 мм от конца детали	При требованиях функциональности или сборки

27. Во избежание искажения формы отверстий их следует располагать на расстоянии не менее трёх толщин от зоны изгиба		Отсчёт по прямолинейному участку полки
28. Пробивка отверстий при формовке профиля должна предусматривать сброс отхода вниз		
29. Перфорация увеличивает развал (или) фланирование заготовки при формовке		
30. Пробивку отверстий на концевых участках детали по возможности следует совмещать с отрезкой		
31. Совмещённая гибка по контуру должна осуществляться вверх или в сторону (при больших радиусах кривизны допускается вниз)		
32. Не обеспечивается требуемая жёсткость при ограничениях на размер сечения		В обоснованных случаях можно предусмотреть элементы двойной толщины.
33. При поштучном профилировании минимальная длина заготовки – три межклетевых расстояния станка		В противном случае возникает значительный концевой эффект (изгиб)
34. Перед освоением профиля следует выполнить оценку минимальной монтажной партии		Для обеспечения окупаемости технологической оснастки

Применительно к гнутым профилям можно использовать следующие методы обеспечения технологичности: **конструктивная преемственность** (унификация конструктивных элементов, взаимозаменяемость, симплификация), **технологическая рационализация** (параметрическая оптимизация номенклатуры профилей, оптимизационный метод выбора и назначения конструктивных элементов и материалов, размерный анализ, экономикоматематическое моделирование), **технологическая преемственность** (типизация технологических процессов, унификация технологических операций, стандартизация средств технологического оснащения).

Приведенная выше таблица, разработанная с использованием работ [4–6] может использоваться не только на стадии разработки конструкции вновь создаваемого профиля, но и уже спроектированного профиля, подлежащего освоению на данном производстве. После оценки технологичности профиля возможно видоизменение конструкции профиля (по согласованию с заказчиком), не затрагивающее его функциональных свойств.

Библиографический список

1. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Под ред Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.
2. ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения.
3. ГОСТ 14201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий.
4. Groche P., Henkelmann M. Dimensional Deviation of Roll formed Components made of High Strength Steel, Key Engineering Materials, 2007, vol. 344. – P. 285 – 292.
5. Halmos G.T., Roll Forming Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 583 p.
6. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.



- **Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор,**
начальник бюро ЦППСИ ОАО «Ульяновский механический завод»
- **Филимонов Сергей Вячеславович, к.т.н.,**
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)
- **Волков Александр Александрович,**
Начальник отдела ОАО «Ульяновский НИИТ»



4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОСНАСТКА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ВНЕДРЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 621.981

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРИНГЕРНОГО НАБОРА САМОЛЕТА МС-21 НА ГИБОЧНО-ПРОКАТНЫХ СТАНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕЖКЛЕТЬЕВЫХ ПРОВОДОК

Баранов А.С., Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Филимонов В.И.

Применение профилей, изготавливаемых методом интенсивного деформирования в роликах, позволяет устранить конструктивно-технологические ограничения, возникающие при использовании профилей, получаемых горячей прокаткой, прессованием, гибкой в штампах и на кромкогибочных машинах. В частности, увеличивается ресурс работы изделия за счет лучшего качества поверхности и структуры листа, наличия лакирующего слоя и применения тонколистового и длинномерного проката; расширяется сортамент профилей за счет использования новых перспективных материалов с улучшенными физико-механическими свойствами (новые алюминиевые сплавы, композиционные материалы). Эти профили также соответствуют условиям технологичности их изготовления [1 – 4].

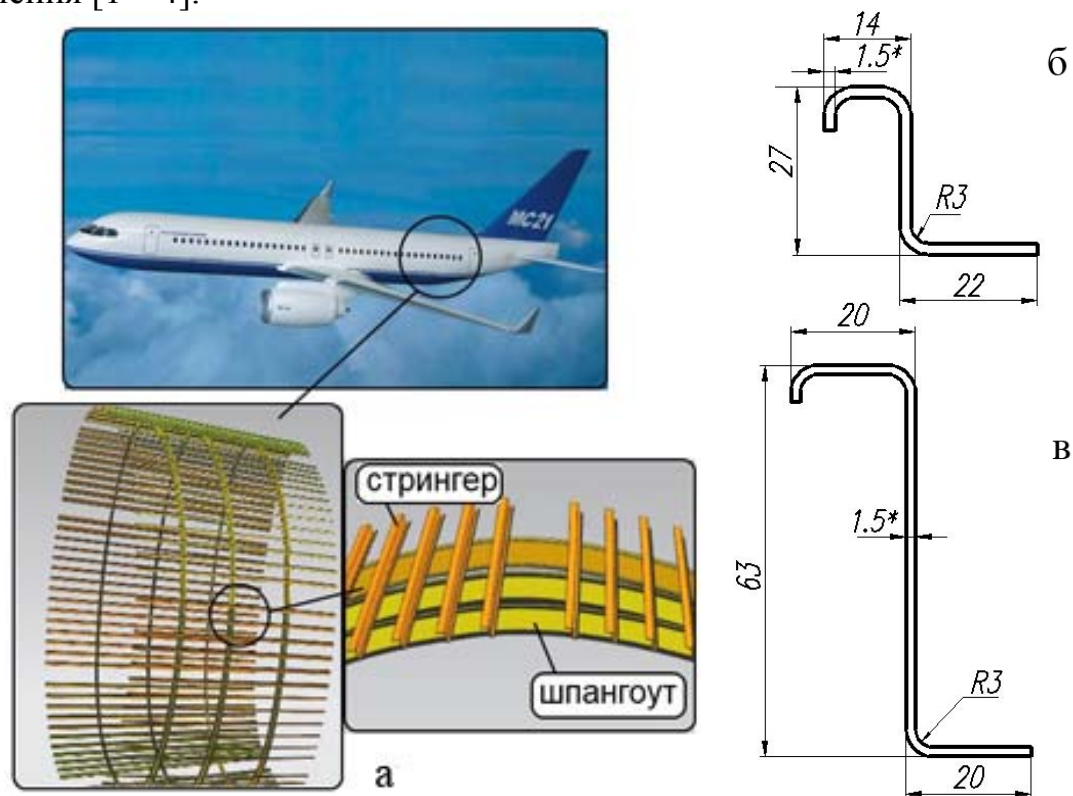


Рис. 1. Применение профилей: а – отсек фюзеляжа самолета МС-21, б – сечение профиля “стрингер”, в – сечение профиля “шпангоут”

В изделиях гражданской авиации нового поколения предусматривается применение гнутых алюминиевых профилей в качестве деталей стрингерного набора (рис.1), весьма ответственных по своему назначению и несущих значительную эксплуатационную нагрузку [5].

Цель работы: рассмотрение особенностей формообразования и получение прямолинейных профилей “стрингер” и “шпангоут” и с заданной продольной кривизной.

В процессе формообразования на предварительных переходах формируется волнообразная заготовка большими радиусами. Прямолинейные участки получаются в окончательном переходе за счет осадки в замкнутом калибре. Происходит перераспределение металла, что приводит к более равномерному распределению усилий сжатия по всему сечению, что является важным с точки зрения микроструктуры, влияющей на ресурс и характеристики прочности деталей. Для обеспечения сжимающих усилий предусмотрен замкнутый калибр оснастки, который обеспечивается буртами [6, 7].

Замкнутый профилирующий зазор в роликовых парах с базированием по вертикальным и горизонтальным установочным поверхностям роликов и консольное закрепление валов, свободные концы которых замкнуты серьгой, значительно сокращают трудоемкость настройки оснастки.

Окончательно сечение профиля и его продольные характеристики формируются путем приложения соответствующих усилий со стороны правильного устройства в очаг деформации, расположенный в калибре окончательного формообразования.

В ОАО “Ульяновский НИАТ” в ходе экспериментальных исследований для формообразования профиля с заданной продольной кривизной применяются правильные ролики, которые устанавливали в обойме правильного устройства рис. 2а.

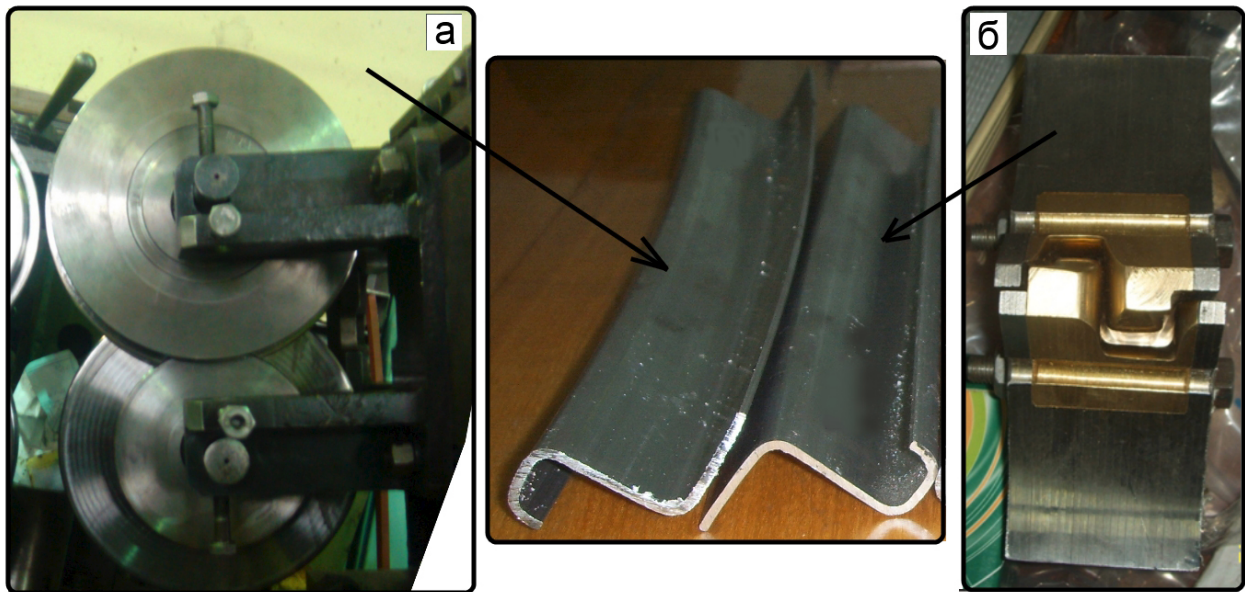


Рис. 2. Вариант использования правильных роликов (а) и выводной фильеры (б) на примере профиля “Стрингер”

При этом проявляются такие дефекты, как скручивание, продольный прогиб, что вызвано недостаточным воздействием роликов, т.е. не создается требуемого пластического состояния материала в очаге деформаций. В нашем случае использовался материал В95очАМ, основные характеристики которого представлены в табл. 1. Поэтому для аналогичных профилей рекомендуется использовать выводные фильеры.

Таблица 1

Основные характеристики материала В95очА

	Предел прочности, МПа		Предел текучести		Относительное удлинение, %	
	мин.	мак.	мин.	мак.	мин.	мак.
В95очАМ	210	215	83	93	17	21,5

Для получения Z-образных профилей с заданной продольной кривизной, не имеющих вышеуказанных дефектов применяется выводная фильера и правильные ролики. Фильера располагается между основными формующими роликами 6-го перехода и правильным устройством и устанавливается на промежуточной клетке [8].

Фильера сопровождает заготовку в калибр правильных роликов с одновременным воздействием в зону пластического шарнира окончательного 6-го перехода, т.е. осуществляется предварительная формовка профиля на заданный радиус. Вследствие этого, чем ближе фильера располагается к калибру 6-го перехода, тем более эффективно происходит воздействие на очаг пластических деформаций.

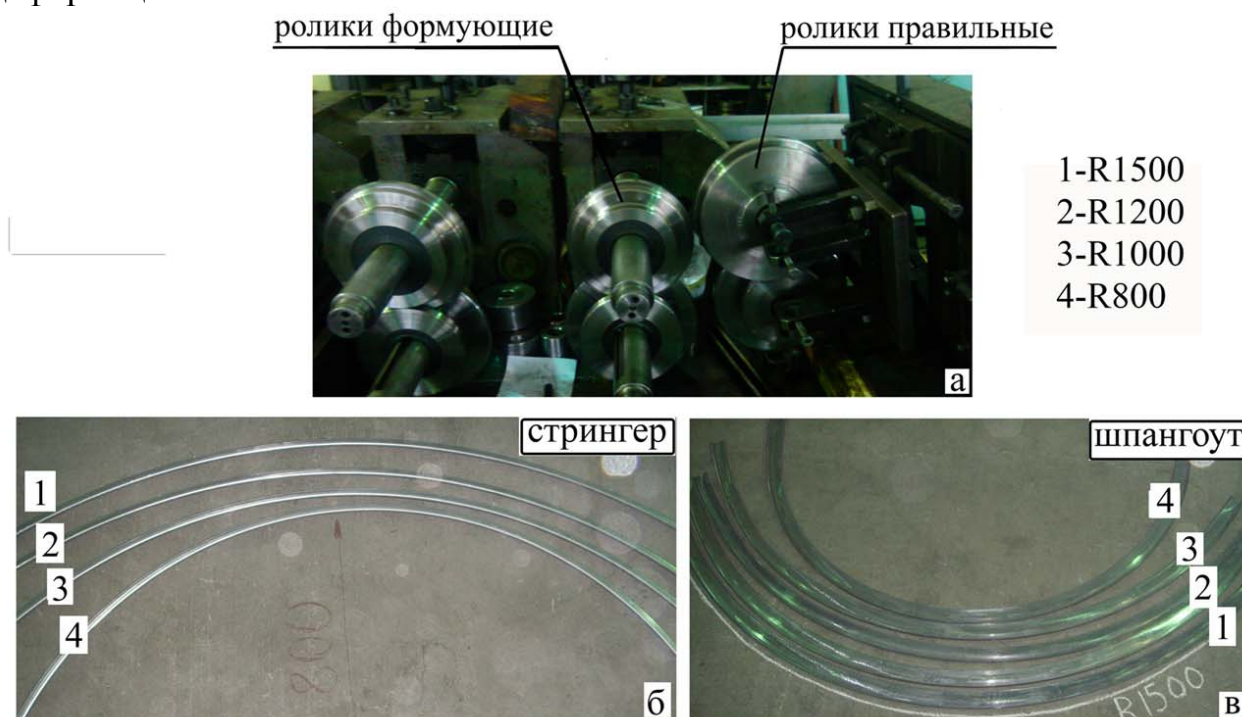


Рис. 3. Формующие ролики и образцы профилей с заданной продольной кривизной: а – роликовая оснастка, б – образцы профиля “стрингер”, в – образцы профиля “шпангоут”

Следует отметить, правильное устройство располагается под углом по отношению к линии профилирования. Угол выбирается в процессе настройки профиля, в зависимости от требуемого радиуса (рис.3).

В результате экспериментальных исследований получены кондиционные Z-образные профили с заданной продольной кривизной, минимальный радиус которых составляет R800 мм. На данном этапе испытаний, полученный результат является предельно возможным, так как при дальнейшей подгибке на меньший продольный радиус, образуется волнистость на горизонтальных участках, а также излом и трещины в радиусных зонах по сечению профиля.

Для получения прямолинейных Z-образных профилей используется выводная фильера, которая устанавливается после окончательного 6-го перехода и фиксируется в обойме правильного устройства (рис. 2б). В корпусе фильеры установлена бронзовая вставка, повторяющая контур профиля, т.к. в данном случае трение качения заменяется на трение скольжения. Данное условие позволяет минимизировать повреждение поверхности профиля при движении. На рис. 4. приведены образцы прямолинейных профилей “Стрингер”.



Рис. 4. Образцы прямолинейных профилей “Стрингер”

Как показала практика, при профилировании ленты возможно образования задиров и царапин на вертикальной полке профиля, а также налипания металла на ролик, вследствие использования достаточно мягкого материала (покрытия). Причиной таких задиров могут служить также заусенцы при раскрое листа (рулона) на полосы, которые в процессе проката сбиваются буртами и соответственно остаются на рабочих частях роликов.

Существует несколько способов устранения дефектов связанных с нарушением покрытия:

- нанесение специального покрытия на инструмент, позволяющего увеличить чистоту поверхности до зеркального отображения (т.е. уменьшение шероховатости поверхности до Ra 0,3-0,5 и менее и уменьшение коэффициента трения);
- применение специального материала для инструмента, в частности X12, X12МФ, позволяющего также как и в предыдущем варианте получить высокую чистоту поверхности рабочих частей ролика, сопровождающейся полировочной операцией;

- применение смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), позволяющих омывать рабочие поверхности роликов и предотвращать налипание мелкой стружки. Кроме того на нижние ролики устанавливаются ванночки с жидкостью.

В нашем случае для устранения дефекта нарушения покрытия используется система смазки СОЖ и устройство для протирки (рис. 4).

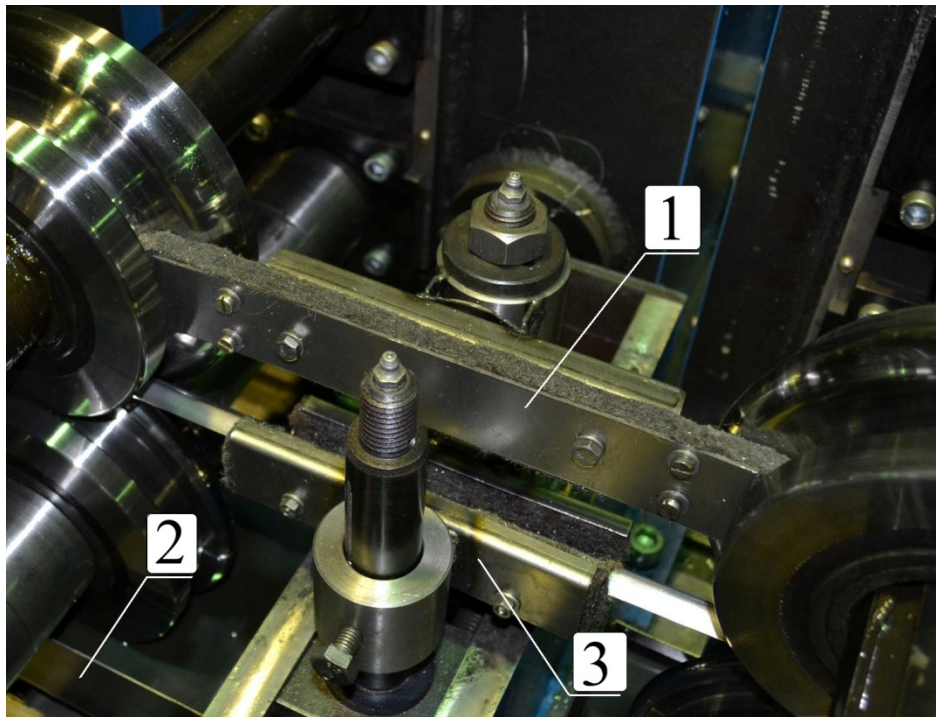


Рис. 5. Устройство для протирки и омывания: 1-верхняя протирка, 2-ванна с СОЖ, 3-нижняя протирка

Между 3-4, 4-5 и 5-6 переходами устанавливается промежуточная клеть, на вертикальные валы которой закреплены протирки, представляющие собой металлическую пластину с закрепленным на ней войлоком (рис. 5). Верхняя протирка контактирует с вертикальной плоскостью инструмента, вследствие чего, при прокате полосы войлок счищает наклепанный металл с ролика одновременно полируя и смазывая его.

Нижняя протирка аналогично верхней состоит из стальной пластины с закрепленным на ней войлоком, который воздействует на торцевую поверхность заготовки. Основная функция заключается в исключении попадания заусенцев и мелкой стружки в рабочую плоскость роликов. Кроме этого под каждым нижним роликом устанавливаются ванны с СОЖ для более полного омывания поверхности нижних роликов.

По результатам проделанных исследований выявлено следующее:

- изготовление прямолинейного профиля Z-образного типа возможно непосредственно с применением выводных фильер, воздействующих в зону пластического шарнира;

- получение исследуемого профиля с заданной продольной кривизной возможно осуществить с применением выводной фильеры, используемая в ка-

честве направляющей и правильных роликов, осуществляющих непосредственную подгибку на заданный радиус.

- выявлены предельные возможности процесса и соответствующий минимальный радиус продольной кривизны, при котором отсутствуют дефекты, в частности волнистость горизонтальных полок;

- использование системы СОЖ, а также соответствующих устройств для протирки явным образом помогает исключить дефекты нарушения покрытия профиля.

Библиографический список

1. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Под ред Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

2. ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкций изделий. Термины и определения.

3. ГОСТ 14201-83. Общие правила обеспечения технологичности конструкций изделий.

4. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.

5. Марковцев В.А., Филимонов В.И. Формообразование стеснённым изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.

6. Марковцев В.А. Сравнительный анализ технологий изготовления профилей с продольной кривизной открытого и полузакрытого типа / В.А. Марковцев, А.А. Волков, В.В. Марковцева, В.И. Филимонов // Тезисы докладов 44-й научно-технической конференции УлГТУ «Вузовская наука в современных условиях» (1 – 7 февраля 2010 г.) – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – С. 61.

7. Марковцев В.А. Формообразование несимметричных профилей на профилировочных станках / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов, М.В. Илюшкин, А.С. Баранов, А.А. Волков // Технология металлов, 2011, № 3. С. 8 – 12.

8. Разработка и применение межклетьевых проводок при профилировании ленты / А.С. Баранов, М.В. Илюшкин, В.А. Марковцев, В.И. Филимонов // Производство проката, 2011, № 1. – С. 44 – 50.



• Баранов Александр Сергеевич,
начальник НИС-132 ОАО «Ульяновский НИАТ»

• Илюшкин Максим Валерьевич, к.т.н.,
зам. генерального директора ОАО «Ульяновский НИАТ»

• Марковцев Владимир Анатольевич, к.т.н.,
генеральный директор ОАО «Ульяновский НИАТ»

• Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор,
профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ИЗНОСОСТОЙКИЕ РОЛИКИ ПРОФИЛИРОВОЧНОГО СТАНКА, ПРЕДОТВРАЩАЮЩИЕ НАРУШЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ПРОФИЛЯ

Лалин В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И.

При формовке профилей из сравнительно толстых заготовок происходит износ роликовой оснастки в местах наибольших контактных напряжений, что ухудшает характеристики точности сечения профиля (параметры угловых зон и углы между прямолинейными элементами), а также качество его поверхности вследствие появления потёртостей и следов инструмента. Задача состоит в увеличении срока эксплуатации формующей оснастки и повышении качества производимых профилей.

Известно несколько подходов к решению указанной задачи за счёт конструкции формующих валков, один из которых состоит в том, что валок профилигибочного стана [1] выполняют состоящим из набора рабочих и дистанционных дисковых элементов с узлом их осевого перемещения и упругих прокладок. В этом устройстве уменьшение износа валков при формовке разнотолщинной заготовки достигается за счёт деформации упругих прокладок. Недостатком устройства является нецелесообразность его применения для современных видов проката, обладающих жёсткими допусками на толщину, и весьма ограниченные технологические возможности при производстве профилей с узким дном (недостаточное пространство для узла осевого перемещения). Кроме того, это устройство предназначено для формовки профилей только в открытых калибрах, неприемлемых для реализации метода интенсивного деформирования.

Другое известное устройство также является валком профилигибочного стана [2], включающем цилиндрический и конический элементы, в котором с целью повышения работоспособности вала за счёт уменьшения его износа, на боковой поверхности каждого конического элемента выполнена канавка в виде синусоиды, расположенной по его окружности.

Недостатком этого известного устройства является то, что контактные напряжения при профилировании полосы увеличиваются на границах канавки (в силу известного закона распределения силы подгибки полки при уменьшении размера контактной площадки), хотя и происходит некоторая разгрузка контактного участка ролика за счёт упругой деформации прилегающего к синусоидальной канавке материала ролика. Однако боковые стенки синусоидальной канавки, подверженные циклическому нагружению, со временем разрушаются, причём условия их работы хуже, чем при упругой деформации в условиях сжатого-напряжённого состояния цельного вала. Это снижает срок службы вала по сравнению с цельной конструкцией. Кроме того, синусоидальная стенка канавки может вызывать наклонные царапины или контактные полосы на профиле. Более того, выполнение синусоидальной канавки на конической поверхности вала вызывает определённые технологические трудности.

Указанную задачу было предложено также решать за счёт применения комплектов формующих роликов с замкнутыми по периметру рабочими конту-

рами цельной или сборной конструкции [3]. Причём, конструкции сборных роликов рекомендуется применять в случаях: 1) невозможности или сложности обработки рабочей поверхности инструмента; 2) необходимости изготовления гаммы однотипных профилей, например, профилей швеллерного типа с различной шириной донной части; 3) частой замены быстроизнашивающейся рабочей части ролика.

К недостаткам этого устройства относится то, что при больших контактных давлениях происходит износ валков и возникают отклонения геометрических параметров профиля, а также то, что определение размеров участков максимального износа формующих роликов для реализации интенсивного деформирования до проектирования роликов под определённый типоразмер профиля до недавнего времени было затруднительным, в то время как установление оптимальной ширины быстроизнашивающихся элементов из антифрикционного материала является весьма настоящим в связи с условиями захвата и перемещения заготовки при профилировании. С другой стороны, при возникновении весьма больших контактных давлений (при профилировании заготовок толщиной более 3 мм) соответствующие участки имеют потёртости или следы роликовой оснастки, ухудшающие внешний вид профиля и качество поверхности.

Решение данной технической задачи можно обеспечить за счёт нормированной ширины быстроизнашивающегося элемента и особой конструкции этого элемента. При формообразовании профиля максимальные контактные напряжения на верхнем ролике локализуются в области зоны изгиба с переходом на две толщины заготовки в сторону серединной части ролика, а распределение контактных напряжений на нижнем ролике падает на одну треть длины образующей конического участка ролика с отсчётом от цилиндрической части ролика (рис. 1).

На рис. 1,а показаны контактные напряжения на верхнем ролике, на рис. 1,б представлено распределение контактных напряжений на нижнем ролике, на рис. 1, в изображено распределение напряжений на верхнем ролике с их наложением на модель. Более точные расчёты показывают, что зона мак-

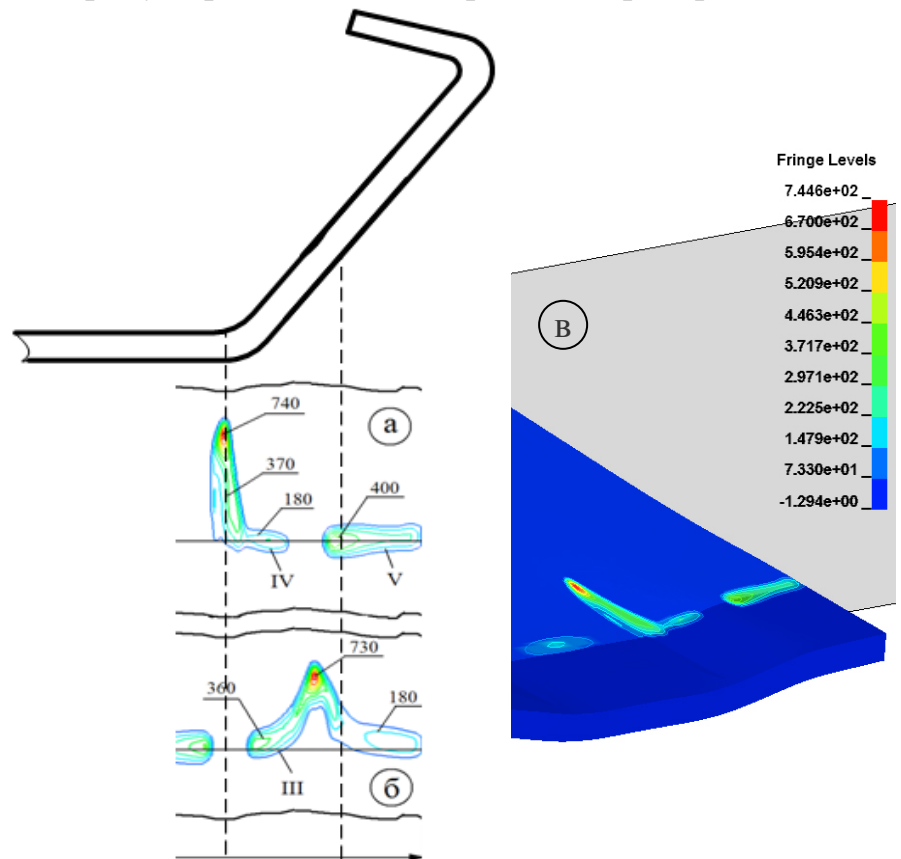


Рис. 1. Распределение контактных напряжений по подгибаемой полке

симальных контактных напряжений на верхнем ролике захватывает зону изгиба с её распространением на две толщины материала заготовки в сторону центральной части ролика, а на нижнем ролике захватывает $1/3$ длины образующей конуса.

Поэтому быстроизнашивающиеся элементы роликов следует брать указанной выше ширины. Изготовление указанных элементов из антифрикционного материала или их своевременная замена (в зависимости от свойств заготовки) позволяет увеличить срок службы роликовой оснастки и повысить качество профилей за счёт уменьшения трения между заготовкой и роликами. При изготовлении профилей из труднодеформируемых заготовок или заготовок значительной толщины быстроизнашивающиеся элементы изготавливают составными и монтируют таким образом, чтобы рабочий элемент, контактирующий с заготовкой, имел возможность вращения относительно внутренней шайбы, которую крепят неподвижно с другими элементами валка, не относящимися к быстроизнашивающимся. При этом трение скольжения между роликом и заготовкой (вследствие различия линейных скоростей по высоте профиля) на участке контакта заготовки и конической шайбы заменяется на трение качения вследствие поворота внешней рабочей шайбы относительно внутренней шайбы, чем обеспечивается меньший износ роликовой оснастки и, соответственно, обеспечивается более высокое качество профиля. Что касается трения скольжения между внутренней шайбой из антифрикционного материала и наружной шайбой, то сила от контакта заготовки и ролика, передаваемая на участок их контакта, распределяется по большей площади и износ будет незначительным. Отметим, что произвольное увеличение размеров быстроизнашивающихся элементов профиля (при их исполнении из антифрикционных материалов) может привести к отсутствию захвата роликами конца заготовки при задании заготовки в ролики. Для верхнего ролика расширение шайбы в сторону периферии в области подгибаемой полки не приводит к негативному результату, поскольку контактные напряжения на верхней поверхности подгибаемой полки обычно малы.

При использовании цельной роликовой оснастки в случае формовки профилей из толстых или высокопрочных заготовок из-за больших контактных давлений часто приходится увеличивать число переходов и, следовательно, число роликовых пар. Применение предлагаемого комплекта роликов позволит сократить число переходов и тем самым уменьшить материальные затраты на освоение и производство гнутых профилей.

Обычно комплект формирующих роликов для интенсивного формообразования гнутых профилей состоит из пар верхнего и нижнего ролика сборной конструкции, образующих замкнутые калибры, соответствующие технологическим переходам, включающих быстроизнашивающиеся элементы шириной, соответствующей ширине зоны изгиба заготовки у дна профиля и простирающуюся за её пределы на ширину $2S$ (S -толщина заготовки) к середине ролика. А быстроизнашивающийся элемент нижнего ролика выполняют в виде усечённой конической шайбы, покрывающей $1/3$ конической образующей нижнего ролика с отсчётом от цилиндрического участка последнего. Быстроизнашивающиеся элементы можно выполнять в свою очередь составными, в виде сопряжённых

по цилиндрической поверхности шайб с возможностью вращения друг относительно друга, причём, внутреннюю шайбу из антифрикционного материала следует крепить неподвижно к другим элементам ролика, не относящимся к быстроизнашивающимся.

На рис. 2 представлена роликовая пара одного из технологических переходов, состоящая из верхнего и нижнего ролика. Верхний ролик включает центральный элемент 1, быстроизнашивающийся элемент 2 и периферийный замыкающий элемент 3. Указанные элементы имеют отверстие 4 с пазом под шпонку (условно не показан) для монтажа ролика на верхний рабочий вал соответствующей клетки профилировочного станка и соединяются с помощью стяжных винтов 5 с пружинными шайбами. В роликовом калибре, образованном верхним и нижним роликом, расположена заготовка 6. Элементы нижнего ролика 7, 9 и 10 стягиваются винтами 8 с пружинными шайбами и имеют отверстие 11 с пазом (условно не показан) для монтажа на нижний рабочий вал соответствующей клетки профилировочного станка.

На рис. 3 представлена роликовая пара одного из последних переходов, состоящая из верхнего и нижнего роликов. Верхний ролик включает центральный элемент 1, внутреннюю шайбу 2, наружную (рабочую) шайбу 3 (выполненную с размерами, обеспечивающими ее свободное вращение в собранном состоянии ролика) и периферийный элемент 4. Элементы 1, 2 и 4 стянуты винтами 5 с пружинными шайбами. Заготовка 6 расположена в калибре, образованном рабочими поверхностями верхнего и нижнего ролика. Нижний ролик включает периферийный замыкающий элемент 7, наружную (рабочую) шайбу 8 (выполненную с размерами, обеспечивающими ее свободное вращение в собранном состоянии ролика), внутреннюю шайбу 9 из антифрикционного материала и центральный элемент 11. Элементы 7, 9 и 11 стянуты винтом 10 с пружинной шайбой.

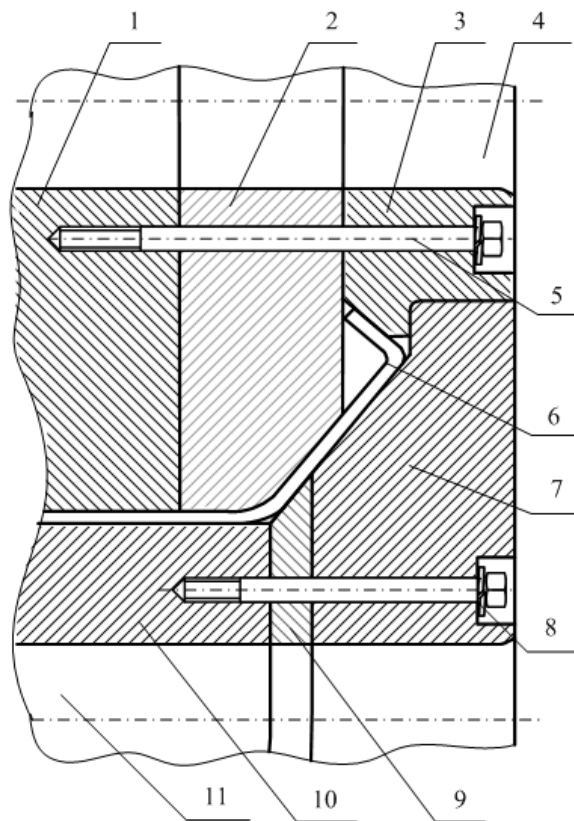


Рис. 2. Валки с фиксированными антифрикционными вставками

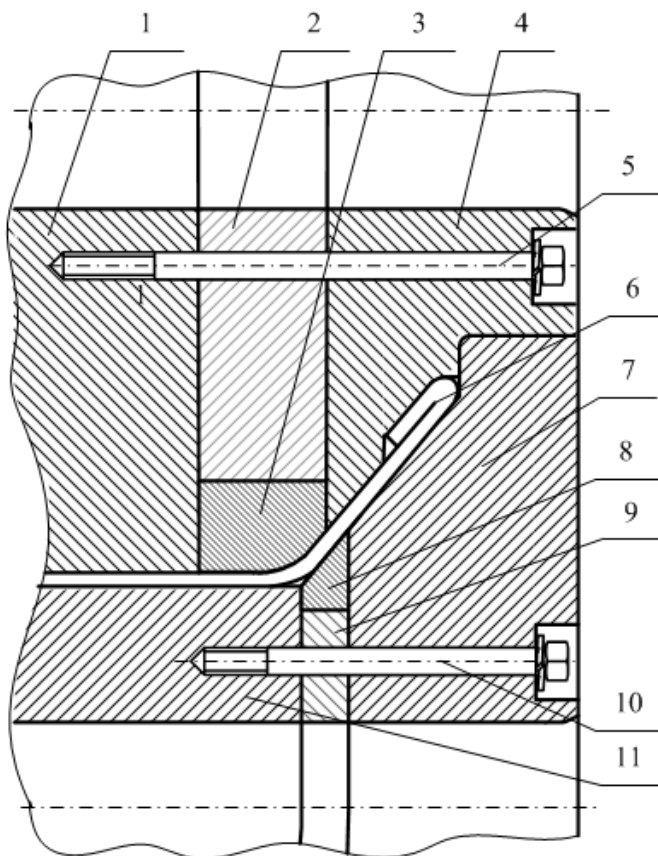


Рис. 3. Конструкция вала с поворотными быстроизнашивающимися элементами

Устройство работает следующим образом. Заготовка подаётся последовательно в калибры роликовых пар, захватывается роликами и перемещается в направлении профилирования. В местах максимальных контактных напряжений шайбы из антифрикционного материала (см. рис. 2) уменьшают силу трения скольжения, а в случае составных шайб (см. рис. 3) сила трения скольжения заменяется на силу трения качения, и становится незначительной, чем и достигается решение поставленной задачи.

Центральные и замыкающие элементы роликов могут быть выполнены преимущественно из стали 45 или ХВГ с последующей закалкой; шайбы – из бронзы или других современных антифрикционных материалов достаточной прочности. Альтернативно, составные шайбы

могут сопрягаться по коническим поверхностям, в частности, имеющим угол наклона образующей равным углу подгибки полки профиля в данном переходе. Размерные параметры роликов и состав комплекта в целом определяются типовыми проектными процедурами, принятыми для реализации метода интенсивного деформирования [3].

Библиографический список

1. АС СССР №995972, МПК³ В 21 D 5/06. Валок профилегибочного стана / И.С. Тришевский, Я.В. Хижняков, А.П. Игнатенко, Н.М. Дынин и В.Б. Калужский. – Оpubл. 15.02.83. Бюл. № 6
2. АС СССР № 1007783, МПК³ В 21 D 5/06. Валок профилегибочного стана / В.Г. Антипанов, С.А. Тулупов, В.А. Хмель, В.Н. Кочубеев, Н.Г. Шемшурова. – Оpubл. 30.03.83. Бюл. № 12
3. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.



- Лапин Вячеслав Викторович,
генеральный директор ОАО «Ульяновский механический завод»
- Филимонов Сергей Вячеславович,
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)
- Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор,
профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ.



МЕЖКЛЕТЬЕВАЯ ПРОВОДКА С КОМБИНИРОВАННЫМИ РАБОЧИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Лалин В.В., Филимонов С.В., Филимонов В.И., Баранов А.С.

При отработке технологии изготовления профилей из материалов с покрытием с широкими элементами двойной толщины часто возникают дефекты кромковой волнистости свободного подгибаемого элемента двойной толщины, нарушение покрытия в угловой зоне [1], что вызывает необходимость увеличения числа переходов, входящую в противоречие с сущностью метода интенсивного деформирования [1]. Для повышения эффективности технологии и сокращения затрат используют межклетьевые проводки различных конструкций для предотвращения указанных выше дефектов и уменьшения числа переходов.

Известна межклетьевая проводка профилегибочного стана для производства широкополочных профилей [2], включающая вспомогательные ролики с возможностью их перемещения вдоль направляющей, снабжённая стойкой, на которой установлен механизм поворота ползуна, включающий в себя поперечину, жестко связанную с направляющей, натяжку, которая шарнирно соединена с поперечиной, и дисковую головку стойки, в которой натяжка имеет возможность поворота и фиксации.

Недостатком данного устройства является невозможность его применения для производства профилей с элементами двойной толщины и незначительная эффективность использования для предотвращения кромковой волнистости профиля (точечное воздействие на заготовку в межклетьевом пространстве).

Известны межклетьевые проводки качения и скольжения с поперечной относительно оси прокатки регулировкой положения, включающие элементы качения и скольжения и применяемые отдельно для предотвращения потери устойчивости подгибаемой полки и предотвращения нарушения покрытия при изготовлении профилей с отбортовками.

Межклетьевая проводка скольжения для формовки отбортовок реализована конструктивно в виде фильеры типа внутренней оправки и устанавливается непосредственно в роликовом калибре основных формирующих роликов (рис. 1). Указанное устройство служит упором при формовке отбортовки, располагающейся под углом 45° и обращенной во внутрь профиля, верхним формирующим роликом, имеющим выступ. Крепление оправки осуществляется через отверстие в ее центральной части.

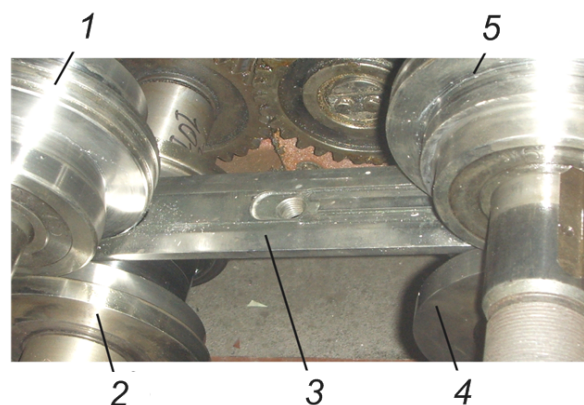


Рис. 1. Межклетьевая проводка скольжения, разработанная ОАО «Ульяновский НИИТ»: 1 – верхний ролик текущего перехода; 2 – нижний ролик текущего перехода; 3 – межклетьевая проводка скольжения; 4, 5 – нижний и верхний ролики последующего перехода

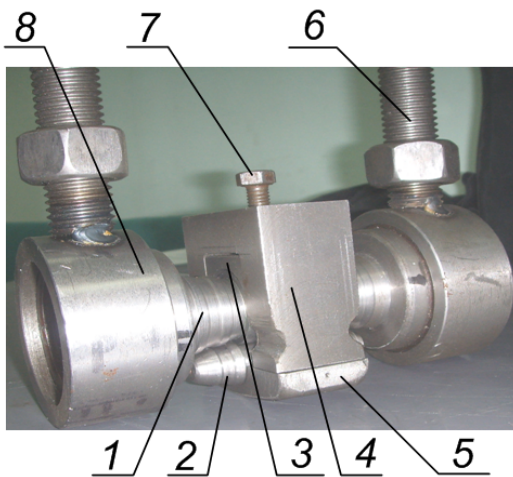


Рис. 2. Межклетьевая проводка качения для подгибки полок

Межклетьевая проводка качения [3] служит для предварительной подгибки полок во избежание «изломов» профиля и нарушения покрытия за счёт уменьшения контактных напряжений. Эта проводка состоит из верхнего ролика 1 и нижнего ролика 2, зазор между которыми регулируется движением ползуна 3, установленного в корпусе 4, причем, нижний ролик удерживается крышкой 5, крепящейся к корпусу 4. Устройство крепится к кронштейну с помощью шпилек 6. Движение ползуна 3 осуществляется вращением регулировочного винта 7. Цапфы верхнего ролика 1 размещены в подшипниковых узлах, смонтированных в обоймах 8 (рис. 2).

Принцип работы данного проводящего устройства заключается в следующем. Заготовка выходит из калибра предшествующего перехода и попадает в калибр роликовой проводки, где осуществляется подгибка полки. С помощью регулировочного винта 7, приводящего в движение ползун 3 осуществляется поджатие верхнего ролика 2 по отношению к нижнему 1 для выбора требуемого зазора между ними. Регулировка зазора осуществляется в пределах 1,5 мм, что и определяет область применения данного устройства.

Предотвращение дефектов профиля этими межклетьевыми проводками не обеспечивается из-за того, что при формовке профилей с широкими элементами двойной толщины проводка с элементами качения вовсе неприменима, а проводка скольжения действует только с одной стороны для устранения кромковой волнистости, при этом тонкостенный профиль изгибается в межклетьевом пространстве. Это приводит к другому дефекту – саблевидности. При использовании этих же устройств для формовки профилей с отбортовками, каждое из них может применяться только в одном переходе, что неизбежно приводит к увеличению числа переходов. Кроме того, известные устройства имеют конструкции, позволяющие их использование только в качестве технологической оснастки, а не вспомогательных устройств (т.е. исключается их многократное применение). Более того, указанные устройства имеют весьма ограниченные возможности регулировок (регулировка роликов по углу – до 60°).

При формовке широкополочных профилей с ЭДТ для предотвращения кромковой волнистости необходимо удерживать свободную подгибаемую полку в межклетьевом пространстве и в калибре (за счёт элемента скольжения проводки), удерживать профиль от бокового смещения в межклетьевом пространстве (за счёт элемента качения) так, чтобы исключить боковой изгиб и обеспечить отсутствие контакта угловой зоны профиля с формующими роликами на уровне калибра (совместным действием элементов качения и скольжения межклетьевой проводки). Кроме того, при частой смене объекта производства (типоразмера профиля) желательно использовать одни и те же вспомогательные

устройства, обладающие широкими технологическими возможностями за счёт регулировок, обеспечиваемых конструкцией межклетьевого проводки.

Этим требованиям соответствует предлагаемая новая межклетьевого проводка, назначение которой состоит в предупреждении кромковой волнистости свободного подгибаемого элемента двойной толщины, предотвращении нарушения покрытия угловых зон профиля, уменьшении числа переходов, расширении технологических возможностей проводки и профилировочного станка.

Это достигается наличием поперечной относительно оси прокатки регулировкой положения проводки, включающей элементы качения и скольжения, которые имеют независимую регулировку по высоте, а элемент качения также имеет регулировку и по углу, причем консольная часть элемента скольжения крепится в выемке роликового калибра последующей клетки профилировочного станка по свободной посадке.

Независимая регулировка по высоте элементов качения и скольжения комбинированной проводки позволяет заневолировать свободную подгибаемую полку профиля в межклетьевом пространстве и в самом калибре во избежание появления кромковой волнистости. При этом элемент качения предотвращает изгиб профиля в межклетьевом пространстве за счёт выбора надлежащего положения посредством регулировки, что предотвращает возникновение дефектов продольной кривизны или саблевидности профиля. Кроме того, выбором регулировок элементов качения и скольжения можно обеспечить дополнительную подгибку элементов профиля так, что такая подгибка в трёх-четырёх переходах позволит сократить число переходов на единицу. Например, для двенадцатиклетьевого станка число переходов может быть сокращено до 25 – 30%. Концевая часть элемента скольжения, контактирующая с формующими роликами по свободной посадке и поджимаемая к верхнему формующему ролику за счёт сил упругости подгибаемой полки, позволяет устранить контакт угловой зоны с формующим роликом и тем самым предупредить нарушение покрытия в угловой зоне.

Регулировка элемента качения по углу (от 0° до 90°) и независимая регулировка элементов качения и скольжения позволяют использовать данную комбинированную межклетьевую проводку для формовки широкой номенклатуры профилей, что расширяет её технологические возможности, а также возможности профилировочного станка, который с применением комбинированных межклетьевых проводок может выполнять те же функции, что и станок, имеющий на 20 – 30 % большее число переходов. Дополнительным эффектом является универсальность предлагаемой проводки, для которой не требуется дополнительная оснастка при переходе от изготовления одного типоразмера профиля к другому.

На рис. 3 представлено предлагаемое устройство, включающее две профилированные стойки 1, сваренные с основанием, которое имеет возможность поперечной к направлению профилирования регулировки. Обе стойки 1 замыкаются сверху пластиной 2, в средней части которой имеется отверстие под регулировочный винт 3, посредством которого осуществляется перемещение замкнутого в верхней части пластиной с резьбовым отверстием под винт 3 не-

сущего швеллера 4 по профилированным пазам стойки 1. В средней части несущего швеллера 4 крепится кронштейн 5, несущий элемент скольжения проводки, с помощью винта 6. Продольный вырез 7 в стенке несущего швеллера обеспечивает возможность независимой регулировки кронштейна 5 по высоте относительно жестко смонтированного на несущем швеллере кронштейна 8, к которому крепится с возможностью поворота блок элемента качения проводки. Угол наклона блока элемента качения обеспечивается за счёт стопорно-регулирующих гаек 9 и поворотной вставки 10, закреплённой шарнирно резьбовыми штифтами в полках швеллера. Вырез 11 в стенке несущего швеллера позволяет обеспечить требуемый поворот вставки 10 и пропустить регулировочную тягу 12, соединённую шарнирно с осью 13, на которой с помощью шайбы 14 и гайки 15 удерживается элемент качения 16 (ролик). Ролик 16 формирует или удерживает подгибаемую полку профиля 17, а эластичный элемент скольжения 18, крепящийся к планке 19 подгибает свободную полку профиля, образующую элемент двойной толщины профиля. Планка 16 имеет возможность поперечной регулировки за счёт паза 20 в кронштейне 5. Винты 21 фиксируют планку 19 на кронштейне 5 в требуемом месте для обеспечения надлежащих условий формовки свободной полки. Планка 19 выполняется длиной, достаточной для её введения в роликовый калибр, причём, ее часть, находящаяся в калибре, выполняется из антифрикционного материала или же имеет верхнюю накладку из указанного материала надлежащих размеров для устранения зазора в калибре, чем обеспечивается качество формируемого профиля.

На рис. 4 представлена схема монтажа сваркой стоек 1 с несущим швеллером 4 на основании 22 с пазами, предусмотренными для крепления основания межклетевой проводки к столу профилировочного станка с помощью винтов 23.

Устройство работает следующим образом. После предварительного подвода рабочих элементов скольжения и качения к профилю в межклетевом пространстве и установки концевого участка элемента скольжения в выемке роликового калибра основание проводки 22 закрепляют на рабочем столе профилировочного станка винтами 23. Затем настраивают требуемое положение элемента качения по углу гайками 9 и высоте винтом 3. Затем осуществляют подвод элемента скольжения к подгибаемой периферийной полке внатяг при ослабленных винтах 6 и 21. После затяжки винта 6, производят затяжку винтов 21. После запуска станка комбинированная межклетевая проводка осуществляет подгибку полки, удержание профиля от изгиба в межклетевом пространстве и от контакта угловой зоны профиля с формирующими роликами, чем достигается указанный технический эффект.

Элементы устройства могут быть выполнены преимущественно из конструкционных сталей, элемент качения – из стали 45 с последующей закалкой; элемент скольжения из бронзы или из стали Г65 с полиуретановой или пластиковой накладкой и т.д. Размерные параметры устройства определяются высотой рабочих валов над уровнем стола профилировочного станка.

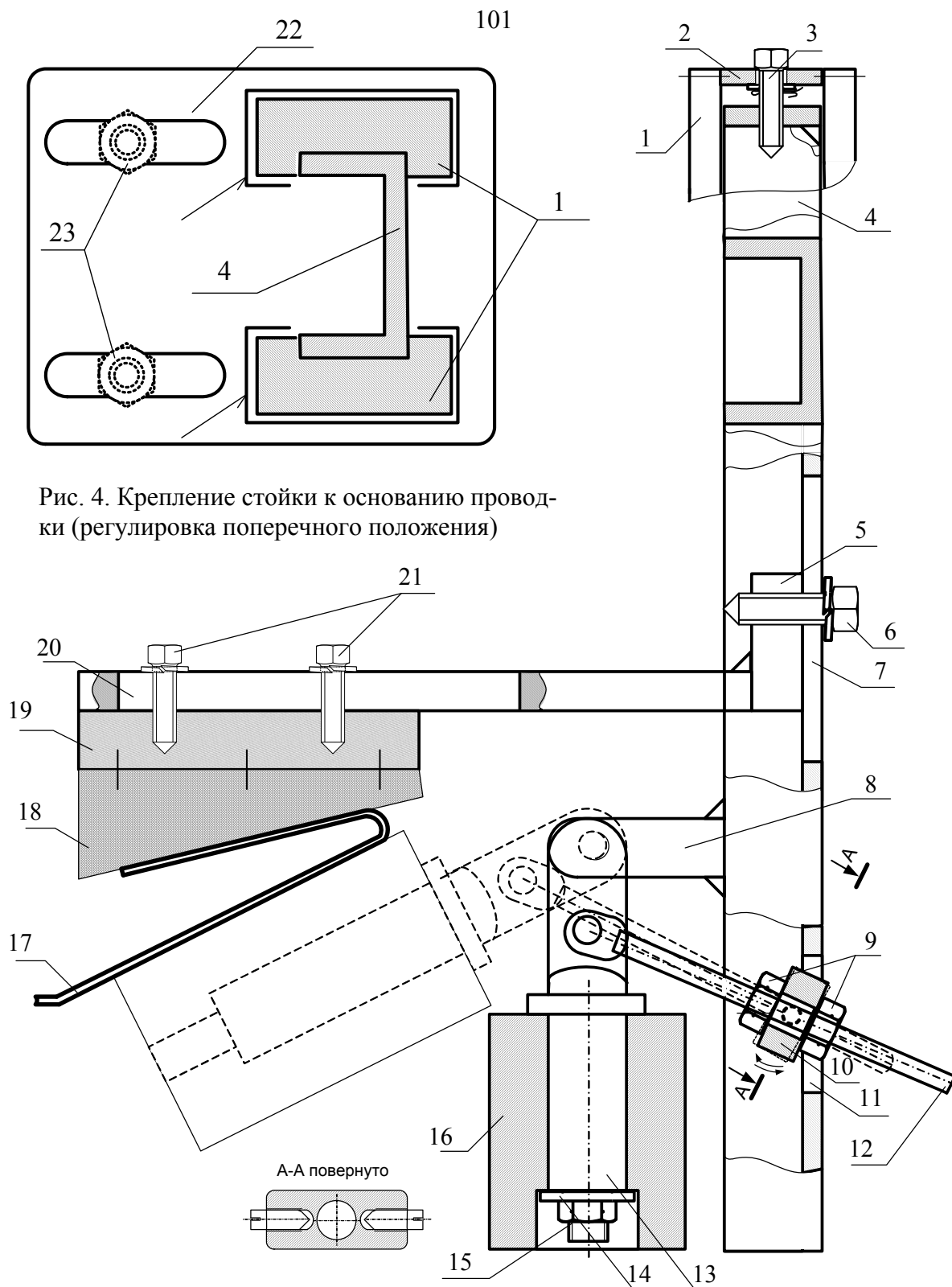


Рис. 4. Крепление стойки к основанию проводки (регулировка поперечного положения)

Рис. 3. Межклетьевая проводка для формовки элементов двойной толщины

Кинематика элементов рассчитывается по типовой методике теории машин и механизмов, способы обработки материалов при изготовлении деталей и методика сборки являются типовыми для машиностроительного производства.

Таким образом, предлагаемая межклетьевая проводка обеспечивает надлежащее качество изготавливаемого профиля, позволяет уменьшить количество технологической оснастки и расширить технологические возможности профилировочного оборудования.

Библиографический список

1. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с., с. 50 – 54)
2. Свидетельство на полезную модель 26978 РФ, МПК7 В 21 D 5/06. Межклетьевая проводка профилегибочного стана / В. И. Филимонов, В. Е. Гробов, В. А. Марковцев, С. В. Филимонов. – Опубл. 10.01.03. Бюл. № 1
3. Баранов А.С. Предотвращение потери устойчивости периферийных элементов при производстве профиля типа «штакетник» / А.С. Баранов, М.В. Илюшкин, И.И. Лазарев, В.И. Филимонов, В.А. Марковцев // Заготовительные производства в машиностроении, 2010, № 10. – С. 30 -34.



- Лапин Вячеслав Викторович,
генеральный директор ОАО «Ульяновский механический завод»
- Филимонов Сергей Вячеславович,
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)
- Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор,
профессор кафедры «МиОМД» Ульяновского государственного технического ун-та.
- Баранов Александр Сергеевич,
начальник сектора ОАО «Ульяновский НИАТ»



КОНСТРУКЦИИ ПРАВИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОФИЛИРОВОЧНЫХ СТАНКОВ

Марковцев В.А., Филимонов В.И.

При производстве гнутых профилей дефекты формы гнутых профилей в ряде случаев могут предотвращаться с помощью правильных устройств, монтируемых на станине профилировочного станка. Хотя широкие панели для строительства, преимущественно симметричного сечения, обычно не требуют применения правильных устройств.

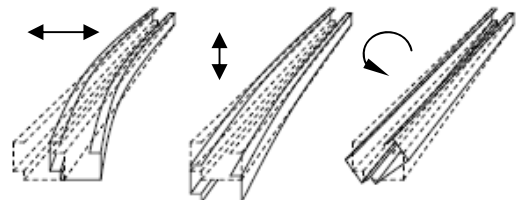


Рис. 1. Дефекты заготовок, подлежащие исправлению с помощью правильных устройств

Однако часто по выходу из последней пары формующих роликов профиль (особенно несимметричного сечения) имеет саблевидность, прогиб или скрутку (рис. 1) из-за действия внутренних напряжений, возникающих в процессе формообразования, или же остаточных напряжений. Эти дефекты отклонения формы в ряде случаев могут устраняться правильным устройством, устанавливаемым за последней клетью профилировочного станка.

Некоторые разработчики в качестве оснастки правильного устройства, устанавливаемого за последней клетью профилировочного станка, применяли удлиненные фильеры (рис. 2), ошибочно полагая, что таким образом можно исправить и дефект типа кромковой волнистости, в то время как основное назначение правильного устройства – изменение формы линии профилирования за последней клетью и поворот сечения. Предотвращение кромковой волнистости обеспечивается в ряде случаев выбором схемы формообразования, определённым назначением углов подгибки или же поворотом сечения профиля в роликовых калибрах. Хорошие результаты также могут быть получены применением различных межклетьевых проводок [1].

Существуют различные виды правильных устройств по их конструктивной реализации [2]. Наиболее простую конструкцию имеют правильные устройства в виде фильеры, размещённой в обойме с регулировкой по двум направлениям (горизонтальному и вертикальному) с помощью регулировочных винтов. Регулировка по углу осуществляется обычно дискретно с шагом 5° за счёт прорезей в обойме и выемок в фильере. Такие правильные устройства иногда применяют для производства тонкостенных профилей сравнительно простых конфигураций и малых габаритных размеров.

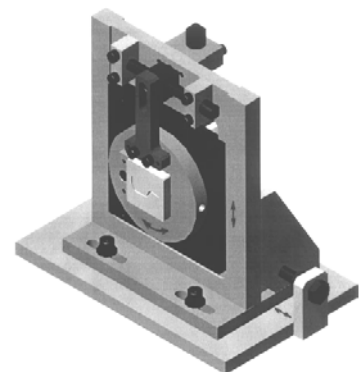


Рис. 2. Правильное устройство фирмы “Metform International LTD”

Два – три десятилетия назад в качестве инструмента правильных устройств применяли удлинённые бронзовые фильеры, например, в правильных устройствах станков ГПС-200 (ГПС-200М, ГПС-200М1) разработки ОАО «Ульяновский НИАТ» [3, 2].

Однако в этом случае использовались парные фильеры на качающемся подпружиненном коромысле (рис. 3), назначение которых состояло не только в исправлении продольного прогиба, но и в подаче аксиальной силы в очаг деформации последней пары, где происходила осадка волнообразной заготовки. Этим обеспечивалось снижение уровня остаточных продольных напряжений профилей самолётных стрингеров из алюминиевых сплавов. При поштучном профилировании в этом случае требуется специальное устройство с приводом для извлечения профиля.

Обычно на обойму монтируют правильные ролики, образующие калибр под размеры профиля, например, замкнутого сечения (рис. 4). Для многоэлементных профилей чаще используют профилированные ролики или их комбинации с возможным расположением под определёнными углами по отношению друг к другу (рис. 5).

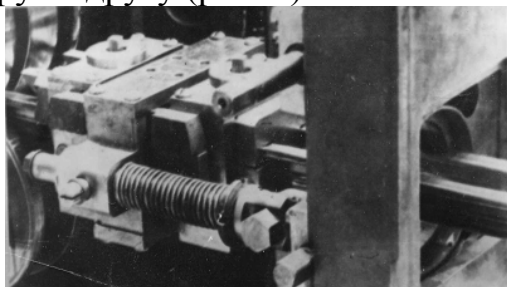


Рис. 3. Правильное устройство с подпружиненными фильерами для станков ГПС ранних моделей

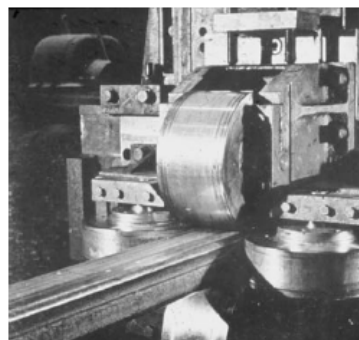


Рис. 4. Блок правильных роликов

В некоторых случаях можно использовать универсальные габаритные калибры, образованные горизонтальными и вертикальными роликами. Для правки Н-образных и швеллерных профилей могут применяться только горизонтальные

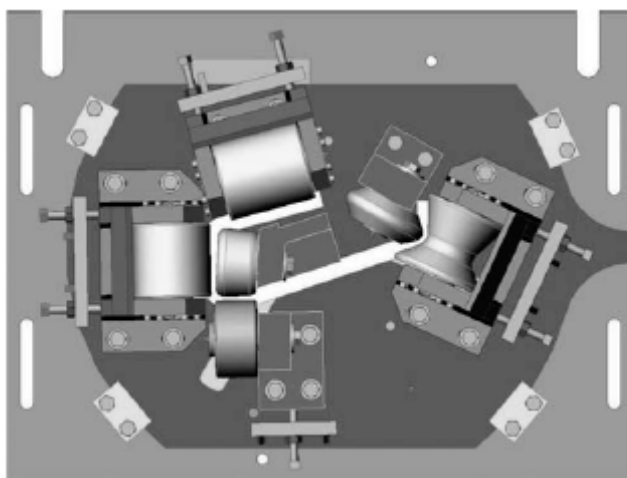


Рис. 5. Блок правильных роликов для правки многоэлементного профиля

ролики с дистанционными втулками или кольцами для обеспечения возможности размещения полок профиля в межроликовых зазорах (рис. 6). Поворот сечения профиля обеспечивается за счёт автономной регулировки положения регулируемого блока, в котором шарнирно крепятся концы валов правильного устройства.

Регулировка положения правильного блока обычно предусматривается в конструкции правильного устройства, а положение самого устройства по отношению к последней профилирующей клетки осуществляет-

ся, как правило, перемещением правильного устройства по пазам рабочего стола профилировочного станка и последующей фиксацией винтами или болтами.

В ряде зарубежных справочников в качестве репера указывается ось профилирования, однако это понятие зависит от принятого метода формообразования. Например, при использовании МИД [4] под осью профилирования подразумевают линию, проходящую через центр элемента, подверженного наименьшему деформированию. Настройку правильного устройства следует производить по отношению к центру тяжести сечения профиля.

При реализации метода СИ и МИД применяются правильные устройства аналогичных конструкций с некоторыми конструктивными особенностями, которые не влияют на функциональное назначение этих устройств [5 – 7].

Конструкция такого правильного устройства состоит из массивной станины 1 (рис. 7), на которой симметрично размещены две плиты 2, имеющие регулировку в вертикальной плоскости посредством болтов 8, независимо друг от друга. Каждая из плит 2 несет в себе плиту 3, имеющую регулировку в горизонтальной плоскости посредством болтов 9. В свою очередь, каждая из плит 3 содержит обойму 4, имеющую возможность поворота относительно оси правки на угол $\pm 45^\circ$. Эта регулировка осуществляется за счет зубчатого сектора 6 и червяка 7, также имеющих на обеих обоймах 4. На обоймах 4, на осях 5 закрепляются роликовые калибры, состоящие из двух или одной пары роликов каждый.

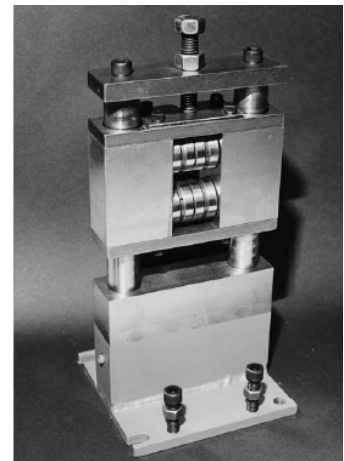


Рис. 6. Правильное устройство компании «Дельта М» (США)

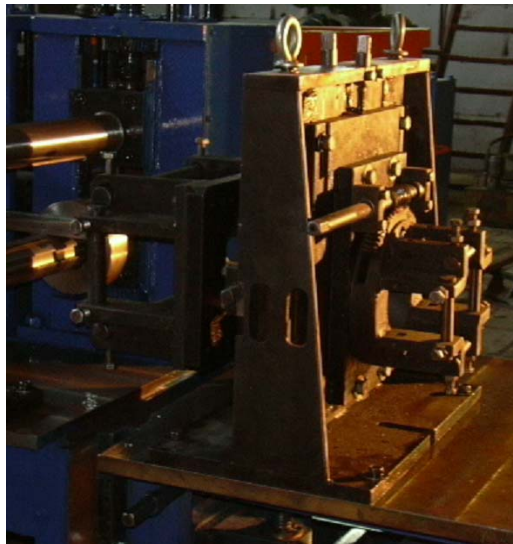
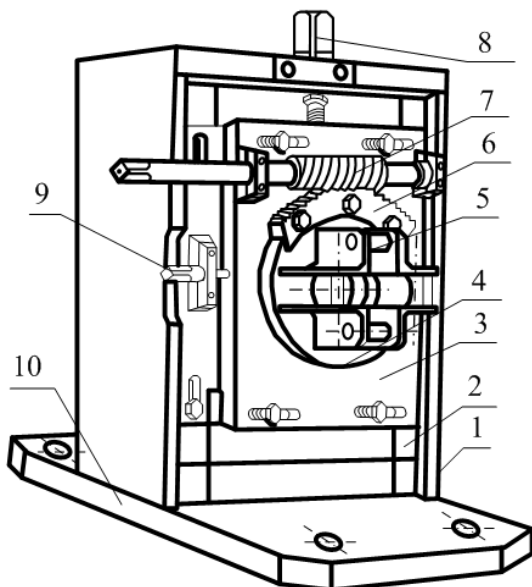
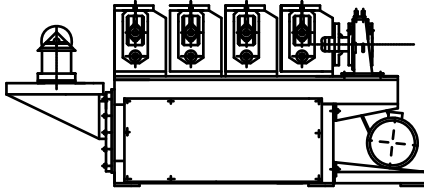


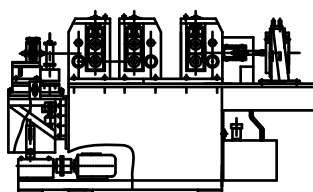
Рис. 7. Правильное устройство станков ГПС: слева – эскиз общего вида в аксонометрической проекции; справа – в металле

В ОАО «Ульяновский НИАТ» имеются разработки ряда модификаций правильных устройств под станки легкой, средней и тяжелой серий (рис. 8), созданных в 1985 – 2010 гг.[8].

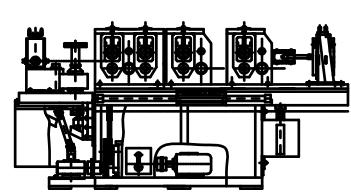
ГПС-200



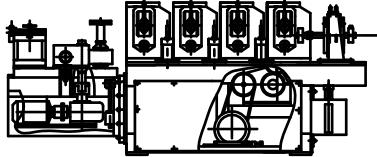
ГПС-250



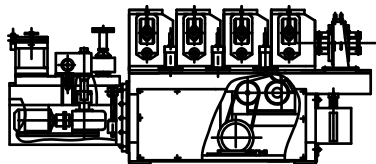
ГПС-200 М1-1



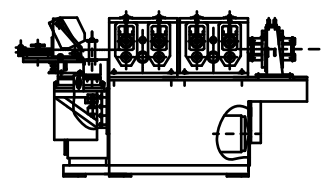
ГПС-200 М1-2



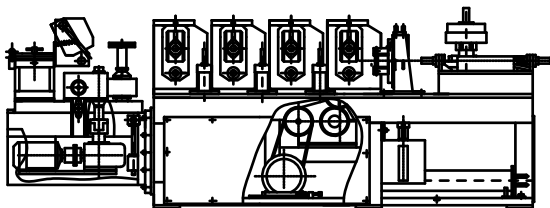
ГПС-300



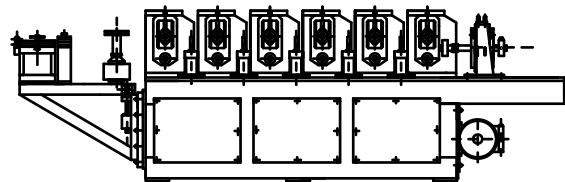
ГПС-300 М4



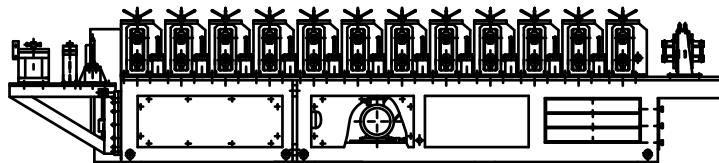
ГПС-300 М2-2



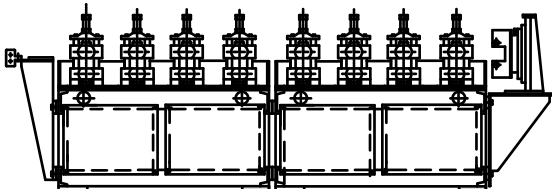
ГПС-300 М6



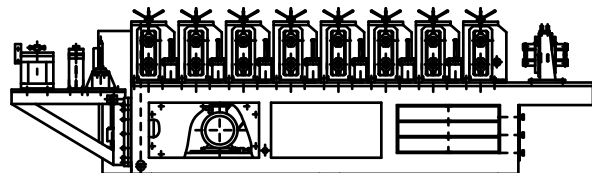
ГПС-350 М12



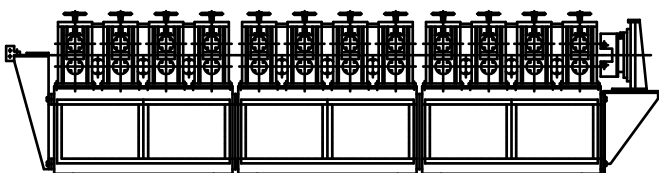
ГПС-400 М8



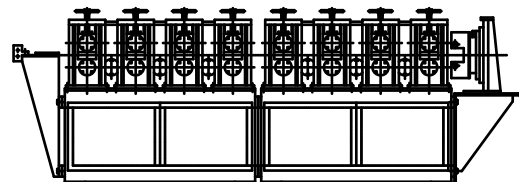
ГПС-500 М8



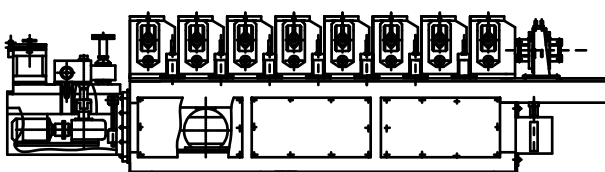
ГПС-600 М12



ГПС-700 М8



СП 1,5'300'8



СП 1,5'500'6

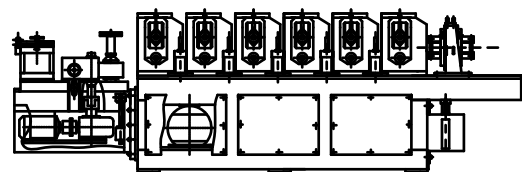


Рис. 8. Профилировочные станки ОАО «Ульяновский НИАТ»

Комплекующие детали, входящие в состав правильного устройства, можно более ясно видеть на чертежах устройства (рис. 9). Для изготовления корпуса правильного устройства применяют резку толстого листа, фрезерование, сверление, сварку, а для изготовления правильного блока – токарные, фрезерные, шлифовальные работы, а также нарезание внутренней резьбы отверстий и наружной резьбы на регулировочных винтах. Для изготовления зубчатого сектора механизма поворота применяют зубонарезание. Наиболее сложным в изготовлении является червячный вал механизма поворота. Корпус правильного устройства и нерабочие поверхности элементов подлежат окраске, а контактные поверхности – смазке солидолом или другой консистентной смазкой.

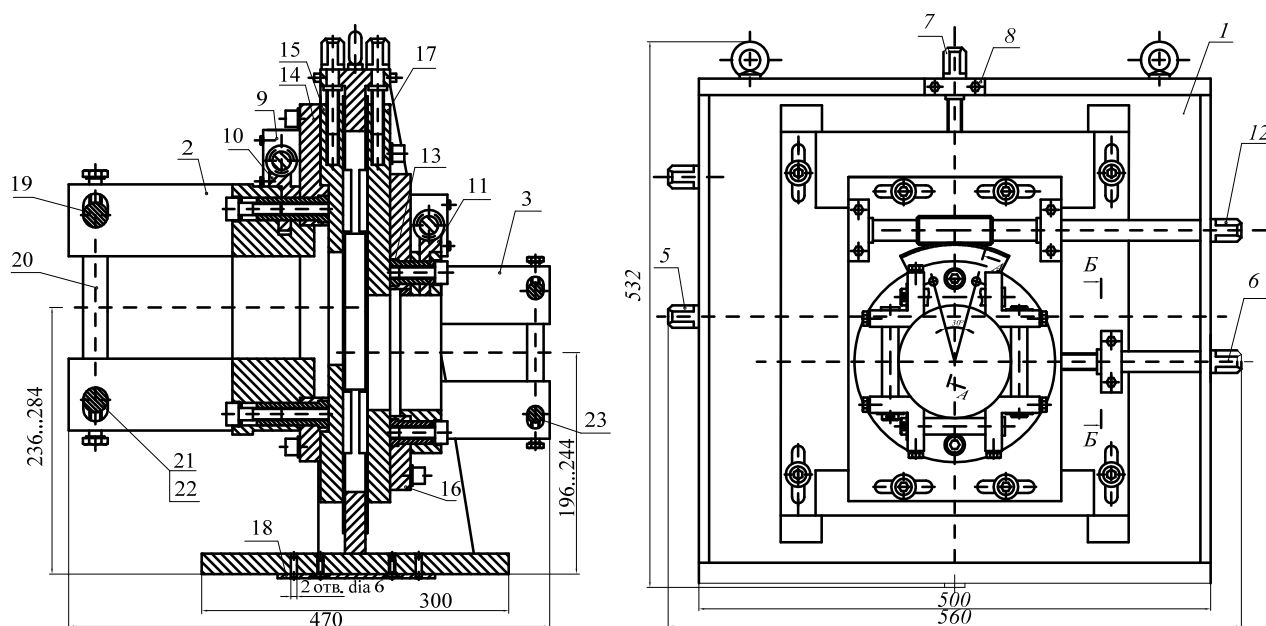


Рис. 9. Правильное устройство станка ГПС:
разрез (слева) и вид со стороны выхода профиля (справа)

Для некоторых профилей экзотичных конфигураций обойма правильного устройства и её комплектация могут быть уникальными. Что касается изготовления таких узлов как обойма с правильной оснасткой, то рабочие операции могут быть стандартными. Однако для правильных роликов или элементов скольжения, как правило, требуются операции закалки, шлифования, а в ряде случаев – полирования. При изготовлении червячного вала правильного устройства вовлекается весь арсенал станочного оборудования и множество технологических процессов механической и физико-термической обработки. Следует отметить, что правильные устройства указанного типа применяются на протяжении 30 лет в ОАО «Ульяновский НИАТ» ввиду их универсальности и достаточно высокой эф-

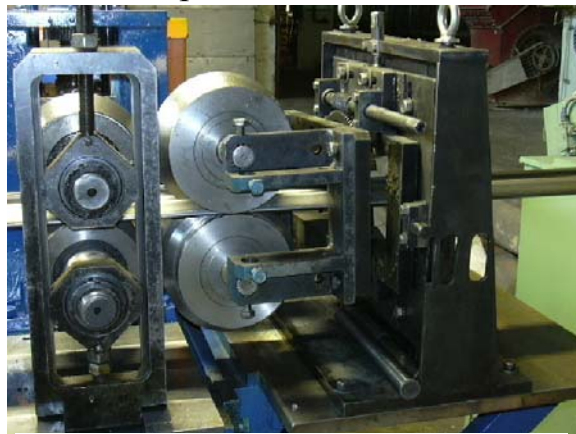


Рис. 10. Правильное устройство и
правильные ролики станка ГПС

фективности правки. В качестве инструмента правильное устройство может нести правильные фильеры, правильные ролики блочной структуры (рис. 10) или же фасонные ролики. При этом в отличие от формующей оснастки, для правильных роликов не требуется высокая точность геометрических параметров. В то же время к сборке и исполнению устройств регулировки предъявляются достаточно жёсткие требования в отношении минимизации люфтов, поскольку это может влиять на качество конечной продукции.

Различие конструктивных воплощений правильных устройств в то же время оставляет неизменным основные принципы правки: воздействие в вертикальной и горизонтальной плоскости и вращение вокруг продольной оси профиля.

Библиографический список

1. Chatty S. Production of Profiles for Lightweight Structures. – Michigan (US): McGraw-Hill Books, 1989. – 268 p.
2. Марковцев В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.
3. Станок гибочно-прокатный модели ГПС-200М1 / В.А. Марковцев, А.С. Москвин, З.Х. Мударисов, В.И. Филимонов, // Информационный листок Ульяновского ЦНТИ, № 314 – 89. – Ульяновск: ЦНТИ, 1989. – 4 с.
4. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2008. – 444 с.
5. Марковцев, В.А. Правильное устройство профилегибочной линии 4MIS–10 японской фирмы НАКАТА /В.А. Марковцев. // Авиационная промышленность – 1985. – № 11. – С. 89.
6. Марковцев В. А. Об одном подходе к разработке специального правильного устройства / В. И. Филимонов, Г. В. Проскуряков, В. А. Марковцев // Вопросы авиационной науки и техники. Сер. «Авиационная технология». – 1989. – № 1. С. 27 – 34.
7. Марковцев, В.А. Выбор конструктивных параметров правильного устройства / В.А. Марковцев, Г. В. Проскуряков, В. И. Филимонов. // Авиационная промышленность. – 1988. – № 9. – С. 32 – 35.
8. Лапин В.В., Филимонов В.И. Конструкции и изготовление профилегибочного оборудования. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2012. – 239 с.



- **Марковцев Владимир Анатольевич, к.т.н., генеральный директор ОАО «Ульяновский НИИТ»**
- **Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ.**



УДК 621.981:539.3/4:669.14-472.3

ОСОБЕННОСТИ РОЛИКОВОЙ ПЕРФОРАЦИИ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Гудков И.Н., Викторов А.А.

При изготовлении гнутых профилей с перфорацией довольно часто стоит вопрос выбора способа пробивки отверстий в нем. Одним из таких способов является валковая перфорация (рис.1). Ее использование наиболее эффективно и рационально при серийном производстве профилей похожей формы и размеров. Кроме того, применение такого способа позволяет добиться ритмичности поточной линии, поскольку валковое устройство находится между одной из роликовых пар профилегибочного стана и работает с такой же скоростью. Возможность установки устройства роликовой перфорации на любой стадии профилирования заготовки решает проблему деформации отверстий, имеющей место при традиционной пробивке отверстий в прессах-автоматах [1].

В данной статье рассмотрены наиболее характерные принципы работы перфорирующего устройства, разработанного специалистами кафедры «Материаловедение и ОМД» УлГТУ изображенного на рис. 2 [2]. Особенностью которого является то, что ролики выполнены сборными, причем верхний ролик 1 содержит вставные пуансоны 5 крепящиеся винтами 6, а нижний ролик 2 состоит из двух оснований с зажатыми между ними двумя ножами в форме усеченной пирамиды 3 с углом скоса $1 - 3^\circ$, и распорной втулки 4, позволяющей регулировать ширину пробиваемых отверстий. В указанном устройстве оптимально подобранный выход инструмента из верхнего ролика для разных толщин материала позволяет осуществлять пробивку отверстий без задиров пуансоном крайних частей отверстий.

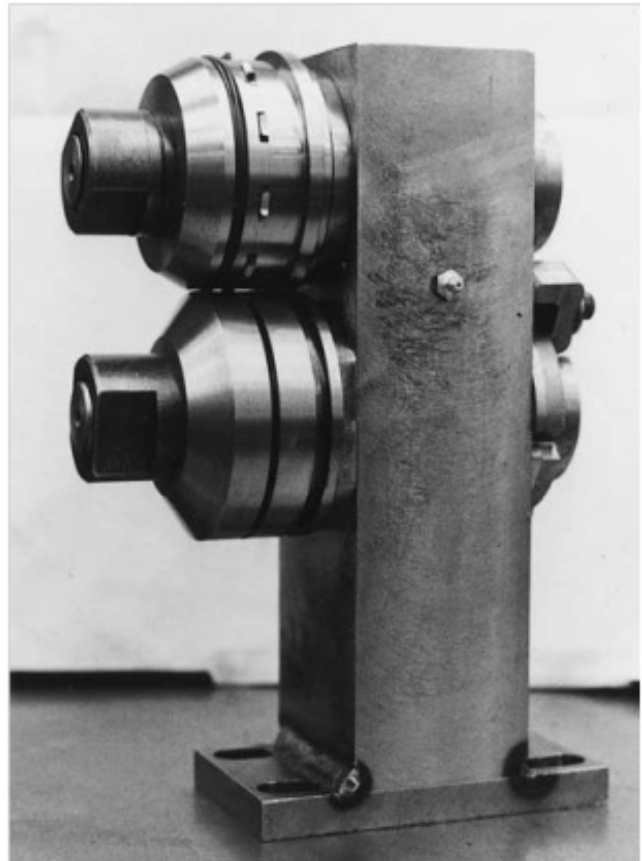


Рис.1. Устройство валковой перфорации

Технический результат, который был получен в результате применения предлагаемого устройства, заключается в обеспечении размерной точности получаемых отверстий, отсутствии дополнительных механизмов совмещения роликов, легкости замены рабочих частей роликов и возможности установки предлагаемой пары, например, в предпоследнем переходе.

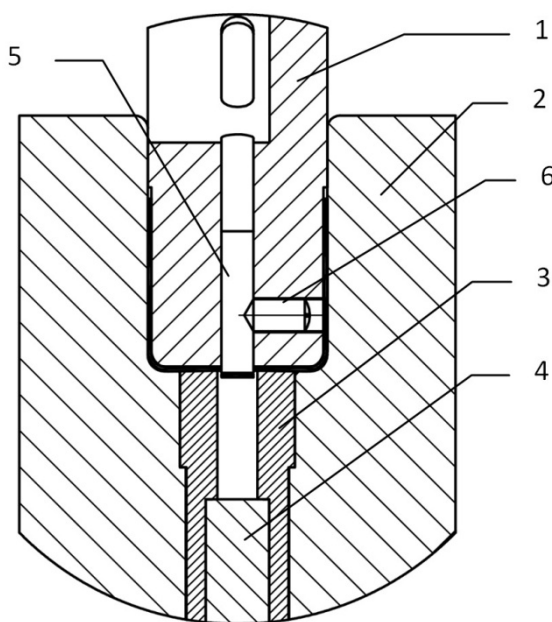


Рис. 2. Способ перфорации в роликах

Испытания проводили на профилегибочный стане ГПС-300М6, где осуществляли пробивку отверстий непосредственно в процессе профилирования. На заготовки в виде штрипсов из стали 08пс наносили отверстия по схемам, указанным на рис.3.

При использовании схемы а), возникали существенные вибрации в роликовой паре, режущий инструмент быстро изнашивался. Применение схемы б) позволило сократить вибрации и снизить нагрузку на инструмент. Использование схема в) решило проблему пиковых нагрузок в валковом устройстве и значительно увеличило стойкость вставных пуансонов.

В рассмотренной схеме целесообразно применять валковые устройства с быстросъемными ножами.

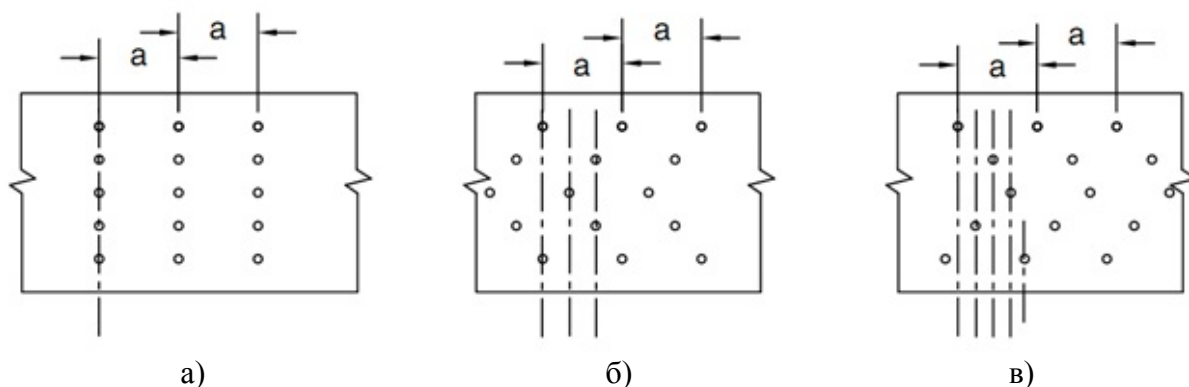


Рис. 3. Схема перфорации отверстий в роликах

Аналогичным образом были исследованы другие схемы перфорации, представленные на рис.4.

Не рекомендуется, производить валковую перфорацию малых отверстий, не отвечающим условию технологичности [3] по схеме а). Поперечное расположение вытянутых овальных отверстий приводит к появлению вибраций в роликовой паре и существенно сокращает срок службы перфорирующего инструмента (схема б). Однако продольное расположение овальных отверстий позволяет осуществлять пробивку в наиболее подходящих силовых условиях (схема в). В последнем случае наиболее качественные отверстия получаются при пробивке отверстий в донной части, где реализуется метод чистой вырубке при обеспечении зазора между пуансоном и матрицей $Z=0,05 - 0,2$ мм.

Полученные результаты подтверждаются проведенным ранее моделированием валковых процессов перфорации в программе LS-DYNA [4].

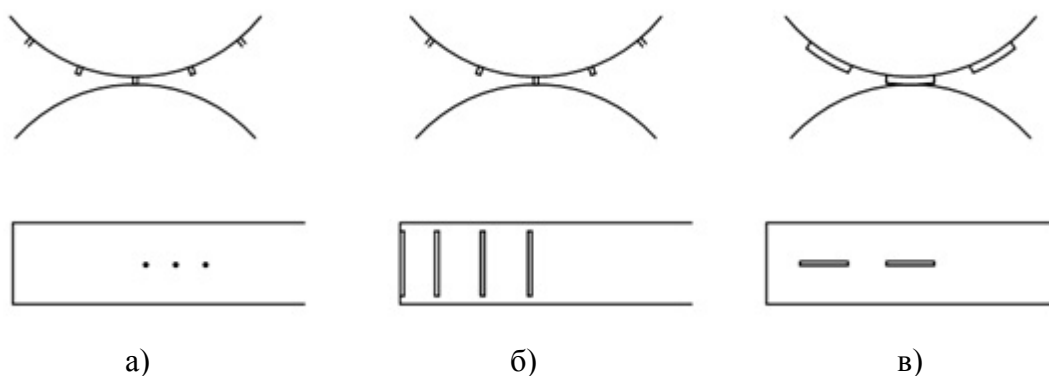


Рис. 4. Схема роликовой перфорации отверстий (реализация)

При всех существующих недостатках: низкая стойкость инструмента, ограничения по толщине материала, валковые устройства для перфорации позволяют существенно увеличить производительность поточной линии и улучшить качество получаемых отверстий в готовом профиле.

Библиографический список

1. Филимонов В.И., Гудков И.Н., Марковцев В.А., Филимонов С.В. Особенности изготовления в роликах перфорированных уголкового профиля // Производство проката. – 2004. – №12. – С. 29 – 34.
2. Патент 2004135480/22 Роликовая пара для перфорации заготовок в процессе их профилирования / Гудков И.Н., Филимонов В.И. – опубл. 12.01.2005 г.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
4. Гудков И.Н., Левщанов В.В., Филимонов В.И. Моделирование интенсивного деформирования перфорированных заготовок при профилировании // Производство проката. 2006. №4. - С.30-35.



• **Гудков Иван Николаевич**, к.т.н., доцент,
доцент кафедры «МиОМД» УлГТУ

• **Викторов Алексей Александрович**,
студент группы ОМд-41 УлГТУ



УДК 621.981

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СЕБЕСТОИМОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМУЮЩИХ РОЛИКОВ

Мищенко О. В., Савёлова Е.В.

Высокоэкономичные холодногнутые профили находят все большее применение в самых различных отраслях современного машиностроения. Так, в сельскохозяйственном машиностроении гнутые профили позволяют получить совершенно новые конструкционные решения по отдельным узлам и элементам механизмов со снижением трудовых затрат на их изготовление при высоких прочностных характеристиках. Например, стоимость изготовления вагона из гнутых профилей по сравнению с аналогичными штампованными снижается на 5 – 10 %.

В электротехнической промышленности применяют уголковые, швеллерные и корытные профили для изготовления электрощитов, шкафов низковольтной аппаратуры, ребер жесткости трансформаторов, элементов передвижных электростанций при сокращении расходов металла до 10 % по сравнению с использованием для этих целей горячекатаных профилей.

В строительной индустрии в последнее десятилетие царит настоящий “профильный бум”: широко применяются профили для внутренней и внешней отделки, элементов кровли и т.д [1].

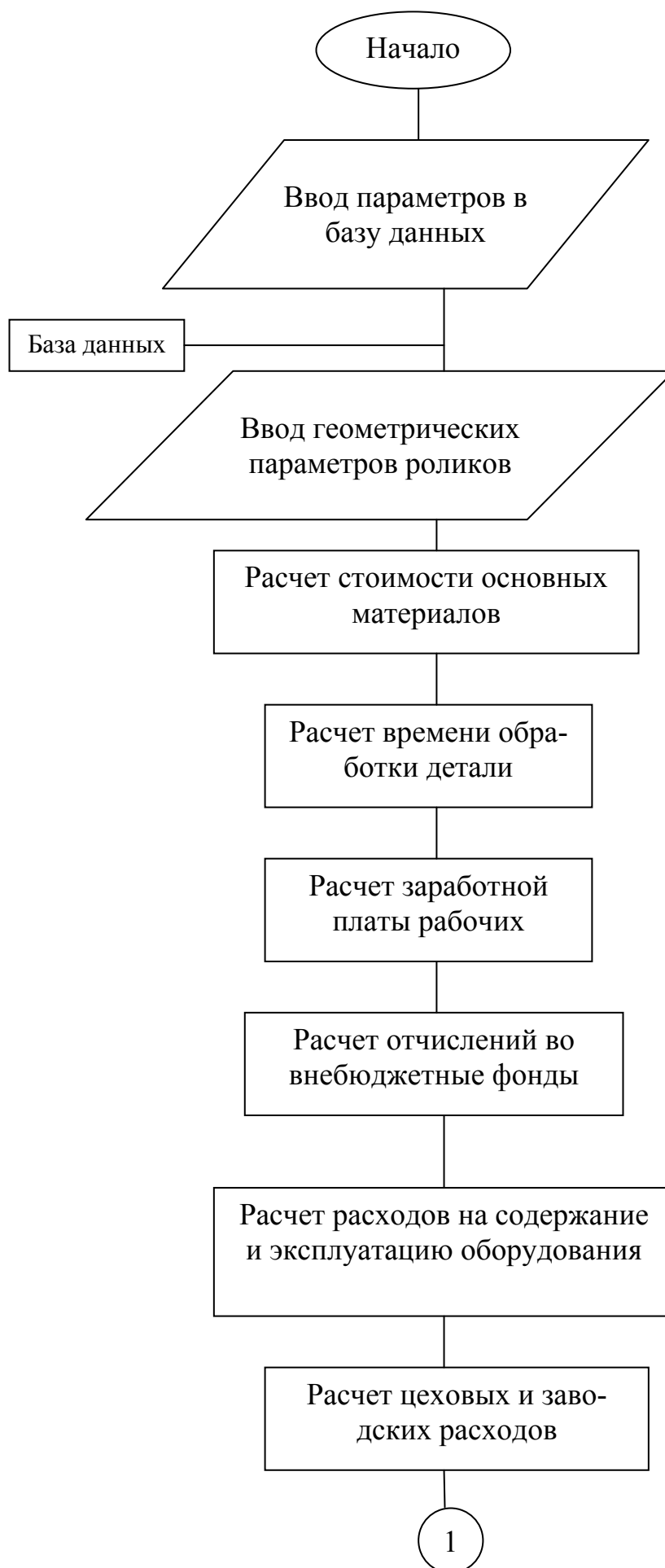
Столь широкому распространению гнутых профилей способствует ряд преимуществ их производства по сравнению с изготовлением горячекатаных профилей, а именно:

- использование новых конструкций профилей, допускающих сборку без сварочных операций;
- повышение коэффициента использования металла до 99,8 %;
- снижение брака в 3 – 5 раз;
- повышение качества поверхности.

В связи с этим предприятиями большое внимание уделяется возможности снижения стоимости изготовления гнутых профилей.

На стадии внедрения новых типоразмеров и конструкций профилей порядка 40 % трудозатрат требует изготовление технологической оснастки.

С целью оценки технологических затрат изготовления роликов авторами была разработана программа расчета себестоимости роликов, алгоритм реализации которой приведен на рис.1. Программа предназначена для работы в операционной системе Windows и реализована в интегрированной среде Delphi-5, что позволило организовать удобный интерфейс оператора в диалоговом режиме в соответствии с принятыми в настоящее время правилами создания интерфейса в прикладных системах на персональных компьютерах с использованием всплывающих окон, содержащих поля ввода с пояснениями, меню (выпадающих списков), чертежей и т. д.



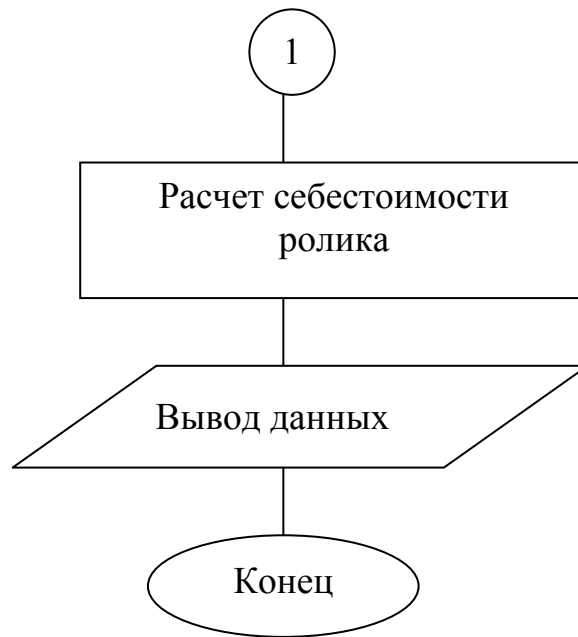


Рис.1 Алгоритм программы расчета себестоимости изготовления формующих роликов

Разработанная программа прошла отладку и тестирование на примере изготовления формующих роликов для производства швеллерного профиля (рис.2). Интерфейс программы представлен на рис.3.

Программа базируется на математической модели расчета себестоимости изготовления роликов, позволяющей определить стоимость материалов на партию деталей с учетом транспортно – заготовительных расходов и время обработки поверхностей при операциях механической обработки.

При этом работа программы по определению скоростных параметров обработки осуществляется в режиме советника – компьютер предлагает свой вариант, который можно при желании скорректировать.

Важным моментом является выбор коэффициентов при расчете времени обрабатываемых операций. Здесь учитывается физико-механические свойства и состояние поверхности обрабатываемого материала, влияние материала инструмента и скорости обработки.

Затраты на текущий ремонт и амортизация оборудования принимаются в долях стоимости основных фондов.

В отдельных подпунктах выдаются значения фонда заработной платы основных производственных рабочих и затраты на вспомогательные материалы.

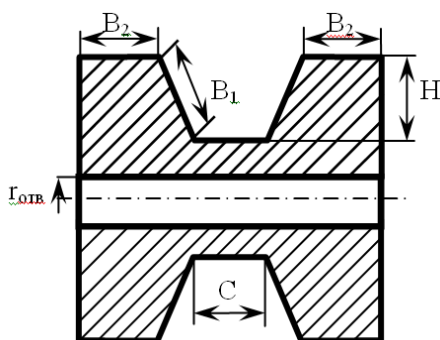


Рис. 2. Чертеж ролика для расчета себестоимости его изготовления

Расчет стоимости изготовления ролика Шаг 1 из 12

Файл Справка

Введите параметры

Диаметр заготовки, D_3 мм

Число деталей в партии, n шт

Повторяемость партии в год, m

Геометрические параметры ролика:

B_1 мм

B_2 мм

B мм

C мм

H мм

r мм

Цена материала, $C_{\text{мат}}$

Цена отходов, $C_{\text{отх.}}$ руб/кг

Цена 1 кВт/ч электроэнергии, $C_{\text{э}}$ руб/кг

Цена 1 куб. м. сжатого воздуха, $C_{\text{св}}$ руб

Цена 1 куб. м. водопроводной воды на станок, $C_{\text{в}}$ руб

Далее Выход

Рис. 3. Одно из окон интерфейса программы расчета себестоимости изготовления формующих роликов

Следует также отметить, что разработанный алгоритм позволяет учесть изменения стоимости основных материалов и энергоносителей, а это особенно актуально в условиях современной экономики [2].

На рис. 4 представлена зависимость себестоимости ролика от его параметров в условных единицах, полученная в результате работы одного из модулей программы.

Разработанная программа может иметь ряд приложений:

1. Оптимизация затрат на изготовление технологического оснащения на стадии проектирования (вспомогательный инструмент технолога - разработчика);

2. Расчет затрат на этапе подготовки контрактов;

3. Оценка технологичности изготовления роликов и совершенствование процесса по технологическим цепочкам;

4. Упрощение работы цехового экономиста и бухгалтера.

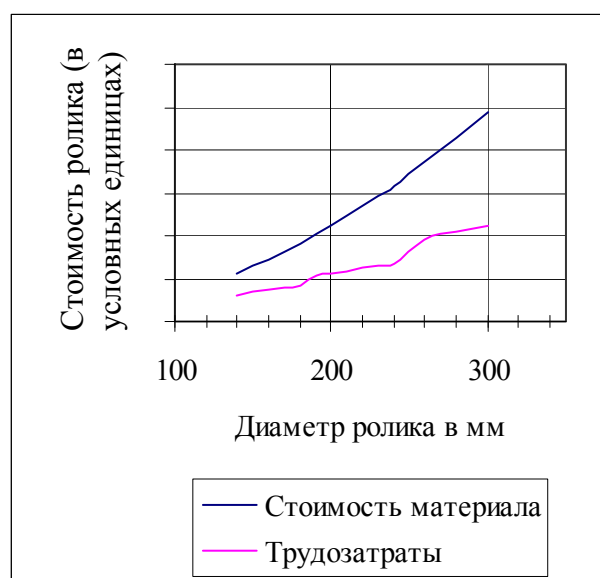


Рис. 4. Зависимость себестоимости ролика от его диаметра в разложении на стоимость материала и трудозатраты

Библиографический список

1. Филимонов, С.В. Методы, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2004. - 246 с.

2. Мищенко, О.В. Производство гнутых профилей с отбортовками в роликах методом интенсивного деформирования / О.В. Мищенко, В.И. Филимонов - Ульяновск: УлГТУ, 2011. - 122с.



• Мищенко Ольга Владимировна, к.т.н., доцент,
доцент кафедры «МиОМД» УлГТУ

• Савёлова Екатерина Владимировна,
студентка группы ОМд-51 УлГТУ



УДК 621.981

ФАКТОРЫ ИЗНОСА И ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ФОРМУЮЩИХ РОЛИКОВ

Филимонов В.И., Филимонов А.В., Карпов С.А.

Во многих отраслях народного хозяйства широко применяют гнутые профили из различных материалов, изготовленные на профилировочных станках. Тенденция современных технологий профилирования состоит в интенсификации процессов формообразования и совершенствовании формующего инструмента для производства гнутых профилей. Интенсификация формообразования влечёт за собой повышенный неравномерный износ валковой арматуры, влияющий на качество готовых профилей и срок службы рабочих валков [1].

На рис. 1 представлена классификация основных факторов, влияющих на срок службы валков. Технологические факторы определяются различными параметрами. От правильности их выбора зависит не только стойкость оснастки, но и экономические показатели, а также качество готового профиля.

Выбор заготовки определяется формой и размерами изготавливаемого профиля (бл. 1.1.). С увеличением ширины заготовки, числа гофров или мест изгиба на профиле давление металла на валки и крутящие моменты возрастают, что увеличивает износ инструмента. Особо значительное влияние на повышение контактных напряжений оказывает толщина заготовки.

Механические свойства материала заготовки (бл. 1.2.) влияют на необходимые усилия для деформирования и формообразования. С увеличением предела прочности материала возрастает потребная сила, а следовательно, увеличивается износ поверхности валков.

Выбор режима профилирования (бл. 1.3.) определяет суммарное давление металла на валки и крутящие моменты. При жестких режимах (приращение углов подгибки по клетям до 25 – 35°) ухудшаются условия захвата полосы валками. Согласно рекомендациям, приведенным в [2] наиболее целесообразным является мягкий режим (величина углов подгибки по клетям 8 – 15°).



Рис. 1. Факторы, влияющие на долговечность формующих валков

Качество изготовления формующих роликов (бл. 1.4.) существенно влияет на стойкость. Оно включает в себя точность изготовления, термообработку, чистоту поверхности. При несоблюдении всех требований, указанных на рабочем чертеже и при нарушении технологии изготовления срок службы валков значительно снижается. Появляются дефекты готового профиля. Требования, предъявляемые к точности изготовления валков и чистоте их рабочих поверхностей, зависят от характеристик исходных заготовок и даны в нижеприведенной таблице.

Особое значение в увеличении стойкости оборудования и валков имеет правильность настройки стана (бл. 1.5.) При отклонениях в настройке калибров в вертикальной и горизонтальной плоскости возрастает давление на локальных участках формующих валков, ухудшается качество профиля.

Существенно снизить силы трения между поверхностями заготовки и формующего ролика и, тем самым, повысить срок службы оснастки можно за счет применения технологических смазок (бл. 1.6.).

Выбор катающих диаметров формующих валков (бл. 2.1.) определяет скоростной режим профилирования (проскальзывание профиля). При этом следует иметь в виду, что необоснованное завышение диаметров роликов влечёт существенное повышение себестоимости технологической оснастки. Для точной задачи полосы в валки, предотвращения смещения её в сторону от оси профилирования, а также для задания специальных режимов формообразования применяют рабочие валки с закрытыми калибрами (бл. 2.2.), для замыкания ко-

торых необходимо учитывать следующие рекомендации [3]: 1) Врезание калибра по возможности следует осуществлять в верхний ролик. 2) Линия разъема калибра должна состоять из отрезков образующей конуса/цилиндра и вертикальной линии. 3) Боковое взаимное базирование роликов надлежит осуществлять буртом охватывающего нижнего ролика. 4) Базирование смыкания целесообразно выполнять по образующим цилиндрических поверхностей буртов. 5) Расположение буртов по отношению к точке начала разъема калибра (местоположение кромки заготовки) должно соответствовать условию центрирования и «стеснения» заготовки с учетом конфигурации калибра предшествующего перехода.

Выбор формы и радиусов скругления буртов (бл. 2.3.) охватывающих валков влияет на степень их износа. При проектировании оснастки необходимо снижать сродство материала заготовки и материала валков за счет выбора последнего (бл. 2.4.). Рекомендации по выбору материала валков даны в табл. 1. В необходимых случаях можно применять различные виды покрытий.

Таблица 1

Параметры формующих валков для различных материалов заготовок

Вид исходной заготовки	Предпочтительный материал валков	Чистота рабочего контура валков, мкм	Посадки «валок – рабочий вал станка»
Горячекатаная	9Х, 9ХС	3,2 – 1,6	H7/h7
Холоднокатаная	X12, X12Ф, X12Ф1	1,6	H7/h7
С покрытием:			
• металлическим	X12, X12Ф, X12Ф1	0,4 – 0,2	H7/h7
• термопластичным	X12, X12Ф, X12Ф1	0,4 – 0,2	H7/h7
• лакокрасочным	X12, X12Ф, X12Ф1	0,4 – 0,2	H7/h7
• полимерной пленкой	X12, X12Ф, X12Ф1	0,2	H7/h7
Примечания: Также возможно применение текстолита, нейлона и др. материалов для заготовок, с повышенными требованиями к качеству поверхности профилей. Возможна замена сталей X12, X12Ф и X12Ф1 на стали 9Х и 9ХС			

На профилегибочных станах [2] обычно применяют два типа конструктивного исполнения валков: сборные и цельные. Достоинством сборных валков является более простое изготовление, ремонт, экономия материала на изготовление валка, обеспечение унификации профильных элементов, облегчение установки в клетки, возможность изготовления отдельных элементов из менее стойких и более дешевых материалов, не подвергающихся интенсивному износу. Недостатком сборных валков являются изменение размера калибра под действием возникающих при профилировании сил.

Достоинствами цельных валков являются возможность фиксации взаимного положения верхнего и нижнего валков, простота настройки стана, постоянная ширина калибров при больших осевых нагрузках. Основными недостатками цельных валков являются сложность обработки рабочего контура вал-

ка, предназначенного для производства многоэлементных профилей сложных конфигураций, а также трудность унификации его элементов.

Немаловажным фактором, влияющим на срок службы оснастки, является качество обработки заготовки (бл. 3.1.). Износ валков увеличивается при наличии на заготовке заусенцев, острых кромок, оксидной пленки и окалины.

При высоком уровне сродства материалов валка и заготовки возможно налипание металла на валок, что часто приводит к выходу оснастки из строя. Снизить нагрузку на формующую оснастку можно за счет применения проводящих устройств (бл. 3.2.). Повысить срок службы инструмента можно за счёт перешлифовки комплекта валков с уменьшением диаметра или наплавки изношенных участков износостойкими электродами. Наплавка позволяет изготавливать валки из обычной стали, что снижает их стоимость и позволяет работать на валках с номинальными диаметрами. Одним из существенных способов увеличения срока службы валка является электроэрозионное борирование, заключающееся в совмещении двух одновременно протекающих процессов: термической и электролитической диссоциации буры, с восстановлением бора на поверхности детали. В качестве восстановления изношенных поверхностей применяют хромирование, при условии, что износ произошел на небольшую величину, порядка 0,02 – 0,03 мм [4].

Одним из способов повысить срок службы валка и снизить его себестоимость является применение электронаплавки, в частности, применение специальных электродов для наплавки рабочей поверхности даёт возможность изготавливать валки из более дешевых сталей. В результате восстановления размеров валков после износа наплавкой можно получать номинальные диаметры. Также возможно применение дополнительных углов и освобождение прилегающих зон в роликовых калибрах в наиболее опасных местах контакта инструмента с заготовкой без изменения габаритных размеров профиля, что снижает контактные давления на заготовку, упрощает изготовление оснастки и в некоторых случаях снижает расход материала.

Таким образом, рассмотренные меры по снижению контактных давлений в процессе формообразования профиля и совершенствованию технологического оснащения позволяют снизить износ валковой арматуры, а следовательно, уменьшить себестоимость профильной продукции с обеспечением надлежащего качества последней.

Библиографический список

1. Тришевский И.С. Производство гнутых профилей (оборудование и технология) / И.С. Тришевский. – М.: Металлургия, 1982. – 384 с.
2. Березовский С.Ф. Эксплуатация и ремонт оборудования профилегибочных станков / С.Ф. Березовский. – М.: Металлургия, 1991. – 176 с.
3. Филимонов С.В. Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 246 с.
4. Давыдов В.И. Производство гнутых тонкостенных профилей / В.И. Давыдов, М.П. Максаков. – М.: Металлургия, 1958. – 272 с.



- Филимонов В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Филимонов Андрей Вячеславович, к.т.н.,
главный инженер ОАО «Новые промышленные технологии» (г. Нижний Новгород)
- Карпов Сергей Александрович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ДОРОЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Марковцев В.А., Волков А.А., Филимонов В.И.

В настоящее время, при интенсивном строительстве новых дорог и мостов и восстановлении старых, резко возросшее количество автомобилей требует более внимательного рассмотрения вопроса безопасности на дороге. Не только в нашей стране, но и во всем мире стали актуальны металлические барьерные ограждения различных типоразмеров и конструкций. В связи с огромной протяженностью дорог, с целью удешевления изготовления ограждений используют холодногнутые профили, не уступающие по характеристикам горячекатаному прокату. С каждым днем так же растет и количество фирм, занимающихся изготовлением деталей для барьерных ограждений. Ограждения дорожные металлические барьерного типа устанавливают на автомобильных дорогах общего пользования в населенных пунктах, на трассах и автомагистралях.

Для металлических барьерных ограждений разработаны различные технические условия и нормативные документы: ГОСТ 26804-86, ГОСТ Р 52289-2004, ГОСТ Р 52606-2006, ГОСТ Р 52607-2006 и ОДН 218.012-99, технические условия увязаны с требованиями Европейских стандартов EN 1317-1:1998E и EN 1317-2:1998E.

ОАО "Ульяновский НИАТ" уже более 10 лет занимается разработкой и изготовлением оборудования и инструмента для производства гнутых профилей для дорожных ограждений, отработана технология и многократно внедрен различный состав оборудования. Рассмотрим самый полный и эффективный, который представляет собой автоматизированную линию профилирования, оснащенную универсальной оснасткой. Преимуществами предлагаемой технологии и оборудования являются: формообразование всех типов профилей любой конфигурации, необходимых для изготовления барьерного ограждения за небольшое число переходов (12-16).

Технологические возможности профилирования методом интенсивной деформации позволяют получить высококачественные профили из различных материалов. Для изготовления дорожных ограждений используют материал СтЗсп ГОСТ 19903-74 с временным сопротивлением разрыву до 490МПа. Универсальность оснастки позволяет использовать для проката одного типоразмера профиля металл разных толщин при одной ширине развертки. Для проката профиля «балка» - ДО-312 используют металл толщиной 3...4мм, для профилей

«стоечных» - Ш120х60, Ш140х60, Ш160х60, Ш120х80, Ш140х80, Ш160х80 - толщиной 4...5мм.

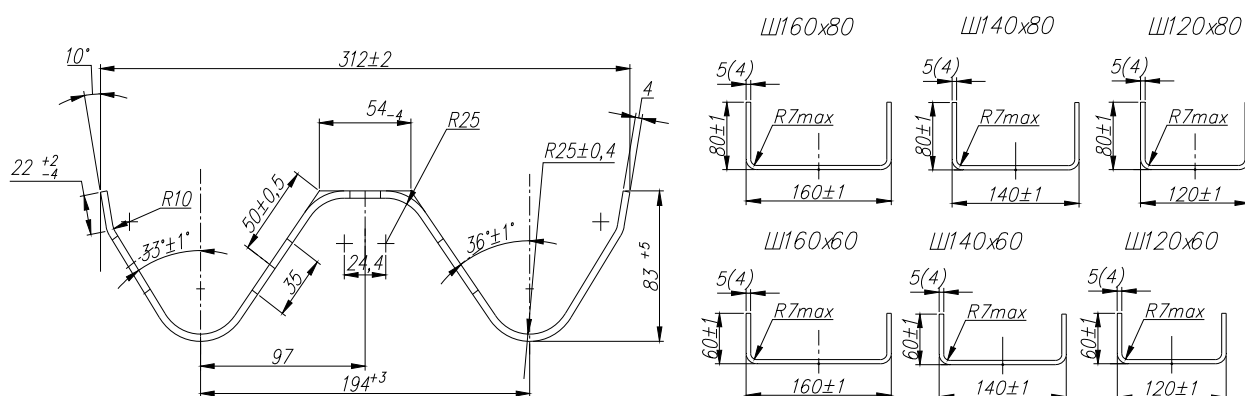


Рис. 1. Номенклатура профилей дорожных ограждений

Работа линии полностью автоматизирована. Для обслуживания достаточно 1 - 2 человек, в том числе оператор и упаковщик готовой продукции. Скорость профилирования регулируется от 1 до 20 м/мин. Следует отметить что производство фактически безотходное, КИМ составляет порядка 99,2% с учетом отходов от перфорации.

Получаемые профили имеют отклонения размеров в пределах $\pm 0,12/2$, по перфорации и взаимному расположению отверстий не более $\pm 0,2$ мм, по длине не более 1-2 мм на 4 м.

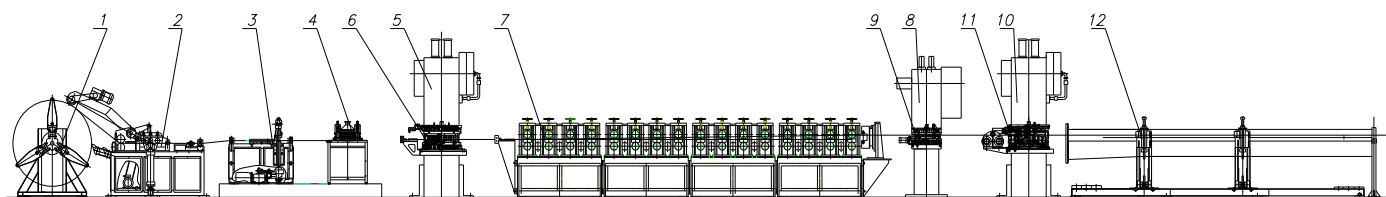


Рис. 2. Состав автоматизированной линии профилирования

Принцип работы линии следующий. На рулонницу 1 (рис.2) с помощью грузоподъемного механизма навешивается штрипс (исходная заготовка металлической ленты с заданной шириной развертки). Рулонница оснащена фрикционным тормозом и прижимным роликом, который при помощи пневмоцилиндра убирается при работе в автоматическом режиме. Так же, для облегчения работы при заправке рулона, рулонница оснащена приводом с муфтой включения. Привод по желанию заказчика может не устанавливаться, в таком случае протяжка штрипса с рулонницы и заправка в листопрямильное устройство производится вручную, либо с помощью подручных приспособлений. Один из секторов барабана рулонницы оснащен линейкой, для соостной установки рулона и оси автоматизированной линии. При постоянном использовании штрипсов одной и той же ширины для ускорения процесса навешивания рулона предусмотрен подвижный упор, который убирается при автоматической работе линии. На каждом секторе барабана рулонницы так же располагаются съемные лепестки – фиксаторы рулона, служащие для предотвращения слизывания или

падения штрипса с рулонницы в ходе профилирования в результате неправильной его установки.

Следующей обязательной единицей оборудования в линии является листопрямильная машина 2 (рис.2). Подвижной частью ее является отгибатель, который предназначен для захвата начального участка ленты с подающей рулонницы с последующим отгибом и подачей в листопрямильную машину. При помощи системы пневмоцилиндров в наладочном режиме отгибатель подводится к краю распущенного рулона, отгибает его пружинящий край и направляет непосредственно в листопрям. Листопрям представляет собой входную пару плоских заправочных валков, настраиваемый набор приводных валков с перекрытием, которое обеспечивает правку металла, проходящего между ними, выходная пара валков. Между каждым валками расположены подвижные горизонтальные направляющие, с помощью которых штрипс фиксируется и направляется четко по оси профилирования.

После того как свободный конец штрипса прошел через отгибатель и листопрямильную машину он подается в рабочую зону пресса 5 (рис.2) с установленным перфорирующим штампом 6 (рис.2). Отличительной особенностью штампа является то, что он пробивает одновременно две группы отверстий – начало последующего профиля и конец предыдущего.

После перфорации заготовка подается в гибочно-прокатный станок 7 (рис.2), в котором приобретает форму готового профиля. Станок вначале оснащен протирачным устройством и ванночкой, которые сметают весь мусор с металла и непрерывно смачивают смазывающей жидкостью металл в ходе работы. На станке так же располагается считывающее устройство – фото-импульсный датчик, которое находится в соприкосновении с профилем и передает данные о длине в электронный блок управления линией.

Гибочно-прокатный станок оборудован инструментом – формующими роликами, которые представляют собой пару из нижнего и верхнего ролика, составляющие вместе калибр. Металл проходя через эти калибры от перехода к переходу постепенно приобретает вид готового профиля. Предпоследний и последний калибр выполняют роль калибровки и убирают такой дефект профиля как пружинение. Калибры роликов могут быть как открытыми (рис.3.а), так и закрытыми (рис.3.б) и могут настраиваться под различную толщину, как было указано выше. После последней формующей клетки в непосредственной близости расположено правильное устройство, предназначенное

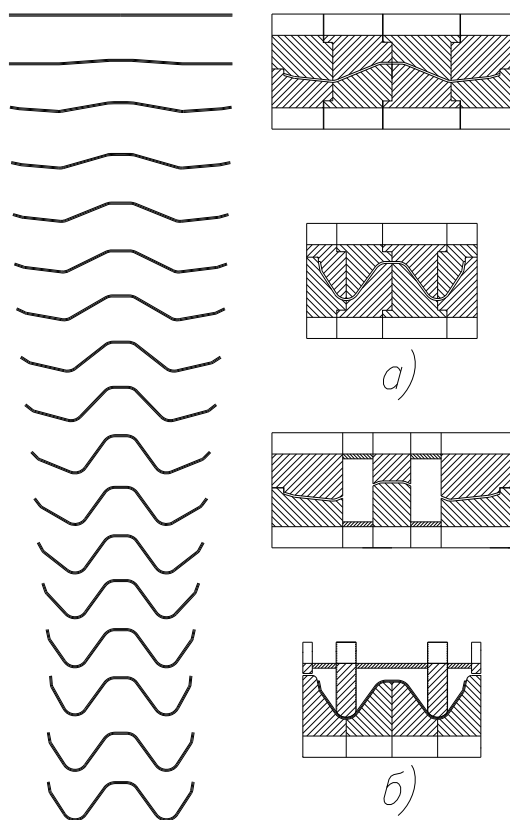


Рис. 3. Схема формообразования профиля ДО-312 и варианты калибров

для правки профиля по длине. Устройство имеет винтовые регулировки вправо-влево, вверх-вниз и зубчатый сектор, позволяющий избавляться от такого дефекта, как скрутка.

Для тех случаев, когда металл заготовки не прошел необходимую термообработку на заводе изготовителе и не отвечает своим упруго-пластическим свойствам, или же имеет дефекты поверхности, такие как окалина или ржавчина, станок оснащается промежуточными клетями и смачивающими ванночками соответственно. Промежуточная клеть располагается на станине между формирующими переходами, имеет вертикальные валы, на которые устанавливаются фигурные ролики, подавливающие определенную зону профиля в зоне плавного перехода для наилучшего захода из предыдущего в следующий переход. Ванночки же являются дополнением к протирке, расположенной вначале станка, но устанавливаются под критичный переход так, чтоб ролик постоянно был опущен в смазывающую жидкость, в таком случае срок службы оснастки увеличивается и профиль выходит смазанным и без поверхностных дефектов.

В рабочей зоне следующего за ГПС прессы 8 (рис.2) пробиваются одноместные овальные отверстия с заданным шагом. Отверстия предназначены для крепления профиля к стойкам и размещения светоотражателей. На штампе располагается пара световых датчиков, которые дают сигнал для команды начала работы при прохождении через них группы отверстий из первого перфорирующего штампа. Далее профиль попадает в рабочую зону последнего прессы 10 (рис.2), где по команде с блока управления происходит обрубка на заданную длину. Сигнал для команды подается так же световыми датчиками, которые ловят две пары крайних отверстий - начало последующего профиля и конец предыдущего и отрубка происходит посередине.

Все штампы в линии выполнены в так называемом "летучем" исполнении, то есть имеют возможность перемещения вдоль оси движущейся заготовки и возвращения в исходное положение. При осуществлении рабочего хода прессом, прижим и рабочие элементы штампа взаимодействуют с заготовкой, и штамп движется одновременно с ней. После срабатывания пресс останавливается в верхней мертвой точке, а штамп под действием специального механизма возвращается в исходное положение. Такая схема работы позволяет осуществить непрерывный процесс изготовления деталей и проводить операции перфорирования и отрезки без остановки гибочно-прокатного станка. Точность размеров перфорации и длины деталей достигается за счет применения электронной системы управления с фото-импульсным датчиком счетчика длины, а также механических ловителей и синхронизаторов, установленных на штампах.

После отрубki профиль попадает на стол приемный 12 (рис.2), обеспечивающий прием и укладку готовых деталей. Прием и поддержка профиля осуществляются роликовыми парами, которые после отрубki и заданной выдержки открываются и готовый профиль падает в пачку. Приемный стол также оснащен поперечными пневмоцилиндрами, которые после укладки десяти готовых профилей сдвигают пачку на край для дальнейшей транспортировки.

Оборудование для дорожных ограждений оснащается электронной системой управления, которая позволяет синхронизировать работу прессов и ги-

бочно-прокатного станка. Управление осуществляется с пульта, на котором задаются длина и количество деталей и определяется шаг перфорации. Перед началом работы подается звуковой сигнал и включается лучевая защита по периметру линии.

Так же для облегчения заправки ленты, уменьшения времени наладки и для уменьшения количества отходов, автоматическая линия оснащается сварочным постом 4 и гильотиной 3 (рис. 2). Гильотина располагается после листопрямильной машины и подрубает конец выходящего рулона и начала нового. После этого лента попадает на сварочный пост. Две ленты выставляются по продольным направляющим и фиксируются прижимами так, чтоб подрубленные торцы были параллельны друг другу с минимальным зазором под сварку. После того как штрипсы сварены сварочные швы зачищаются и линия работает далее в автоматическом режиме до момента когда сварочный шов попадает в отрубной штамп. Так как сварочный шов по ТУ не может использоваться в конструкции ограждения, то он вырубается в ручном режиме и идет в отход. Так как при переходе блока управления из автоматического в ручной режим и обратно все текущие значения сохраняются, то это и составит весь отход от производства.



Рис. 4. Одноместный перфорирующий штамп

Для изготовления профилей, изогнутых в продольном направлении, используется гибочная машина МГ4-120-350 (см. рис. 5.а). Данное оборудование для дорожных ограждений позволяет получить профиль с заданной продольной кривизной в соответствии с радиусом поворота участка дороги. Минимальный радиусгиба 400 мм, причем без потери устойчивости сечения. Это является результатом создания очага деформаций в калибре центральных рабочих валов, которым управляют боковые поджимные валы. Профиль высокой жесткости проходя через него переходит в такое напряженно-деформированное состояние, что усилия на придание радиуса детали минимизируются, а избежание кромковой волнистости по отбортовкам становится

возможным избежать лишь точечным воздействием, направленным к центру сечения профиля. Точность радиуса $\pm 5-15$ мм. Деталь может получаться как с радиусом постоянным по длине, так и в виде острого угла, с радиусом в точке схождения двух прямых полок.

Гибочная машина состоит из стоек, установленных на основании. В стойках установлены ползуны, в которых крепятся центральные рабочие валы. Настройка машины на заданный радиус гибки производится перемещением верхнего рабочего вала и боковых валов. Ползуны с нижним рабочим валом установлены в стойках жестко. С торцов верхнего вала имеются регулировочные

планки для горизонтального перемещения. Величина перемещения определяется по шкале.

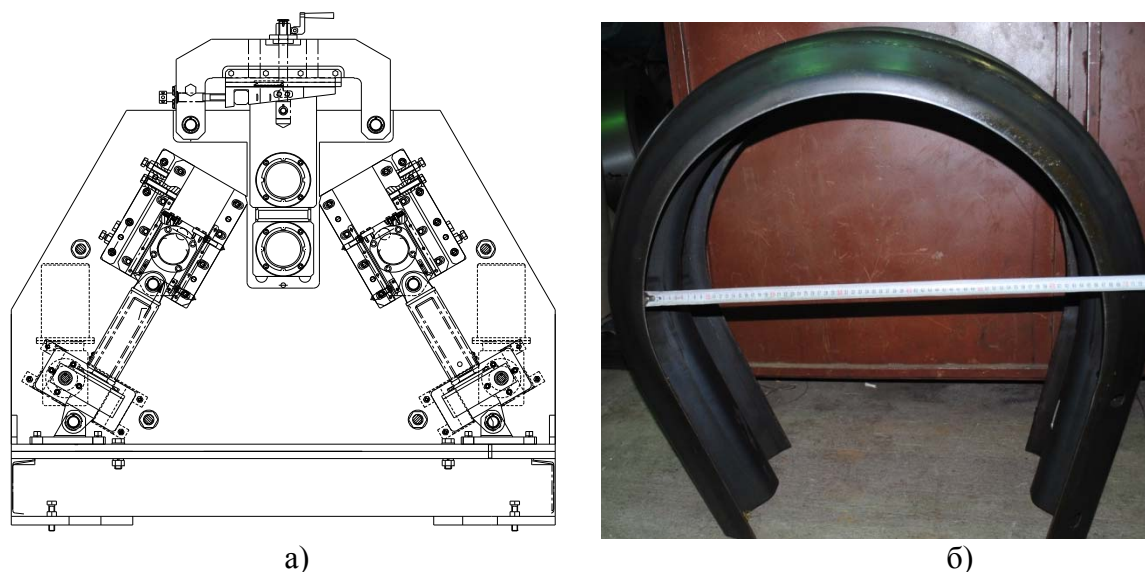


Рис. 5. Машина гибочная: а – вид машины в разрезе; б – готовая деталь

В наклонных пазах стоек по направляющим перемещаются ползуны с боковыми поджимными валами. Боковые валы перемещаются по наклонной линии винтовыми механизмами, приводимыми в движение мотор-редукторами. Подъем и возврат в исходное положение каждого бокового гибочного вала осуществляется от собственного привода. Синхронизация подъема каждого бокового вала осуществляется через соединительный вал с муфтой. Величина перемещения определяется по шкале и контролируется датчиками положения.

На центральные и боковые поджимные валы устанавливается гибочная оснастка для профиля дорожного ограждения. Настройка машины на заданный радиус гибки производится перемещением верхнего вала и боковых валов. Контроль перемещения осуществляется по соответствующим линейкам. Профиль дорожного ограждения поступает в гибочную машину с подающего стола, проходит через систему гибочных валов, приобретая необходимый радиус кривизны. Готовый элемент профиля дорожного ограждения поступает на приемный стол.

Еще одной дополнительной единицей оборудования является машина для рихтовки, состоящая из четырех калибрующих пар роликов, служащая для восстановления профилей с дефектами сечения.

Библиографический список

1. Филимонов, В.И. Автоматизированная линия изготовления автомобильных бамперов и методика ее создания. / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов, С.В. Филимонов // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 4. – С. 29-31.
2. Марковцев В.А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В.А. Марковцев, В.И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 244 с.

3. ГОСТ 26804-86 Ограждения дорожные металлические барьерного типа. ТУ



- **Марковцев Владимир Анатольевич,**
к.т.н., генеральный директор ОАО «Ульяновский НИАТ»
- **Волков Александр Александрович,**
начальник Нио-130 ОАО «Ульяновский НИАТ»
- **Филимонов В.И., д.т.н., профессор,**
профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА В РОЛИКАХ НЕСИММЕТРИЧНОГО ПРОФИЛЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЖЕСТКОСТИ И ДВОЙНОЙ ТОЛЩИНЫ

Карпов С.А., Филимонов С.В.

Профилирование листового или полосового металла в роликах – наиболее технологичный процесс производства холодногнутого профиля. Его преимущества, по сравнению с альтернативными технологиями получения гнутого профиля, существенны, обоснованы и не подлежат сомнению [1]:

- возможность изготовления профилей минимальной толщины разнообразной номенклатуры;
- возможность замены сочетания нескольких стандартных профилей в конструкциях одним, имеющим сложную конфигурацию;
- возможность изготовления профилей из заготовок с покрытием;
- незначительные отходы металла (не превышающие обычно 1...2 %);
- высокое качество поверхности профиля, с шероховатостью, не превышающей, как правило, 0,63 мкм;
- применение малого количества технологического оснащения, что позволяет сократить затраты на технологическую подготовку производства и уменьшить время и трудоемкость переналадок оборудования;
- возможность совмещения профилирования с другими производственными процессами (правка, отрезка, гибка по контуру)
- возможность механизации и автоматизации производства и др.

Однако традиционное профилирование в сферах малого и среднего бизнеса уступает место относительно недавно разработанному методу интенсивного деформирования (МИД). Оборудование традиционного профилирования представляет собой многоклетевые профилегибочные станы, занимающие значительные площади, потребляющие много больше энергии, требующие большие затраты на инструмент и обладающие рядом других недостатков. МИД же, в свое время, подразумевает технологии со значительным сокращением числа переходов (до 50%), что позволяет устранить эти недостатки и применять профилирование в мелкосерийном и разовом производстве. Интенсифика-

ция процесса профилирования позволила сократить количество клетей в станах, как следствие количество инструмента, что уже требует значительно меньших капитальных затрат на подготовку производства, не говоря о других положительных моментах.

В то же время, как и все современные технологии, МИД имеет свои особенности в процессе разработки технологий конкретных типоразмеров профилей. Для профилей, не принадлежащих к типовой номенклатуре, например, с несимметричным сечением, использование классических приемов не всегда является достаточным. Требуются специальные схемы формообразования, а также приемы предотвращения дефектообразования, что особенно актуально в связи с интенсификацией процессов деформирования.

В работе рассмотрены особенности разработки технологии профиля несимметричного сечения, конструкция которого к тому же осложнена элементами двойной толщины и жесткости. Размерные параметры и элементы профиля представлены на рис. 1.

Представленное позиционирование элементов обосновано выбором схемы формообразования, который обусловлен такими особенностями как расположение окончательного сечения в роликах, расположением оси и базового элемента профилирования, числом переходов.

Выбор оси профилирования и расположение окончательного сечения профиля в роликах. Определение данных параметров связано с рядом особенностей производства несимметричного профиля. Ось профилирования следует выбрать так, чтобы, в первую очередь, во избежание скрутки, были сбалансированы деформации левой и правой части профиля[2]. Цель правильного расположения заготовки в инструменте в том, чтобы обеспечить благоприятные условия для протекания деформаций. Рассмотрев некоторые варианты расположения окончательного сечения профиля в роликах, был выбран оптимальный, где за базовый элемент принято место сгиба максимально приближенное к центру тяжести профиля, а элементы профиля располагаются так, чтобы вести формовку по открытой схеме на первых переходах, а на последующих переходах – минимизировать суммарные углы подгибки элементов. Кроме того выполняется требование, где для получения приемлемого качества профиля углы подгибки должны быть обратно пропорциональны размерам подгибаемых полок.

Предварительный выбор числа переходов зачастую основывается на основании предшествующего опыта разработчиков. В данном случае, подсчет числа переходов основывался на анализе эмпирических данных о числе пере-

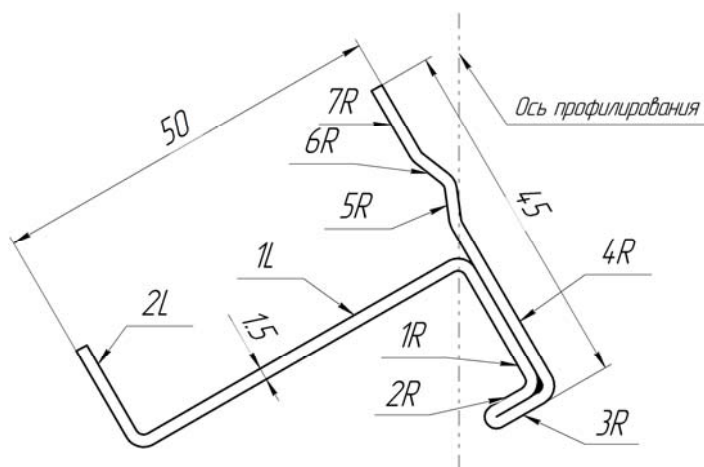


Рис. 1. Конфигурация сечения исследуемого профиля и обозначение подгибаемых элементов.

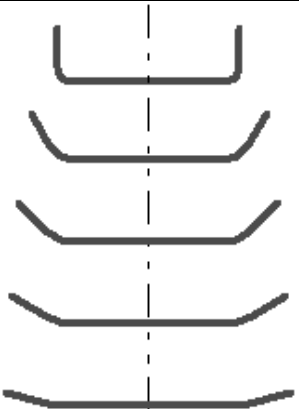
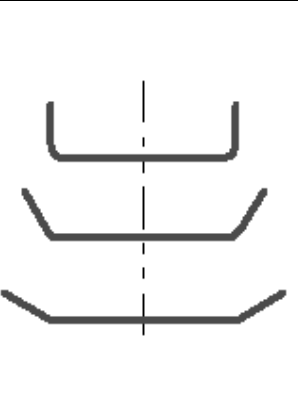
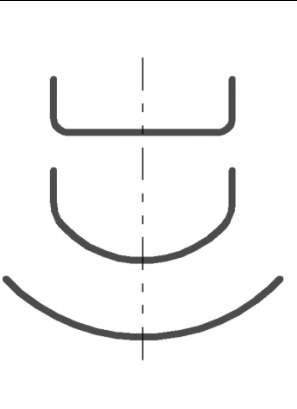
ходов поэлементно для каждой выделенной особенности конструкции профиля. Так для образования сравнительно неглубокого элемента жесткости достаточно 1 перехода, на начальном этапе образования формы профиля. Для образования же элемента двойной толщины, необходимо как минимум 6 переходов. Потребуется также заключительный переход для окончательного образования заданной формы профиля. Следует отметить, что для подобного несимметричного профиля (высота около 40 мм, толщина 1, 8 мм) с элементом двойной толщины и краевым элементом жесткости в зарубежных источниках количество переходов варьируется от 15 до 17[3].

Принцип формовки в МИД значительно отличается от традиционного профилирования или способа формовки профиля при стесненном изгибе, разработанного Г.В. Проскураковым.[4].

В методе интенсивного деформирования принимается принцип параллельной формовки элементов профиля в отличие от традиционного профилирования, где весьма часто применяется принцип последовательной формовки, приводящий к завышенному числу переходов (табл. 1). Определение радиусов гибки на первых переходах, является принципиальным отличием МИД. Лишь в редких случаях (например, при формовке рифтов в донной части профиля) окончательное задание радиусов зон изгиба откладывается на последующие переходы. То есть, зоны изгиба профиля формируются с первого перехода, а на последующих переходах лишь изменяются углы подгибки элементов.

Таблица 1

Особенности методов формообразования

	Традиционное профилирование	МИД	Стесненный изгиб:
Число переходов	n	$(0,5 \dots 0,7) n$	$(0,4 \dots 0,7) n$
Режим формовки радиуса	Плавный по переходам	На первых переходах (за редким исключением)	На последних переходах
Принцип формовки	Последовательный	Параллельный	Последовательная осадка
Пример			

Разработка схемы формообразования.

Таким образом, этот принцип формовки, характеризуется гибкой по кривой постоянного радиуса, равного радиусу внутреннего закругления готового профиля. При этом приращение криволинейного участка происходит равномерно за счет уменьшения длин элементов профиля, прилегающих к данной угловой зоне.

Основываясь на вышеизложенном разработана схема формообразования профиля, состоящая из 8 переходов. Данная схема гарантирует примерное равенство продольных деформаций подгибаемых полок и обеспечивает двусторонний доступ инструмента к заготовке на возможно большем числе переходов. Лишь на последних переходах формовка осуществляется в полузакрытых калибрах, что связано с формообразованием элемента двойной толщины. В то же время элемент жесткости предотвращает потерю устойчивости крайнего элемента профиля. Схема максимально приближена к схеме открытой формовки, а углы подгибки определены с тем расчётом, чтобы обеспечивалась достаточная жесткость подгибаемых полок во избежание их излома из-за «набегания» продольных деформаций. Расчеты углов подгибки проведены на основе метода локальных жесткостей, а их распределение по переходам представлено на рис. 3.

Ширина заготовки. Теоретическая длина развёртки поперечного сечения готового профиля по средней линии определяется из выражения

$$B_T = \sum_{i=1}^{n+1} B_i^R + \sum_{j=1}^n B_j^C, \quad (1)$$

где B_i^R , B_j^C – длина прямолинейного и криволинейного участков соответственно, мм; n – число зон изгиба профиля.

Длина j -го криволинейного участка определяется зависимостью

$$B_j^C = \frac{\pi \cdot \alpha}{180^\circ} \cdot (r_j + s/2). \quad (2)$$

С использованием формул (1) – (2) ширину заготовки для профилирования определяют по формуле

$$B_B = B_T + \Delta B, \quad (3)$$

где ΔB – приращение заготовки, которое подсчитывается алгебраически в зависимости от схемы формообразования.

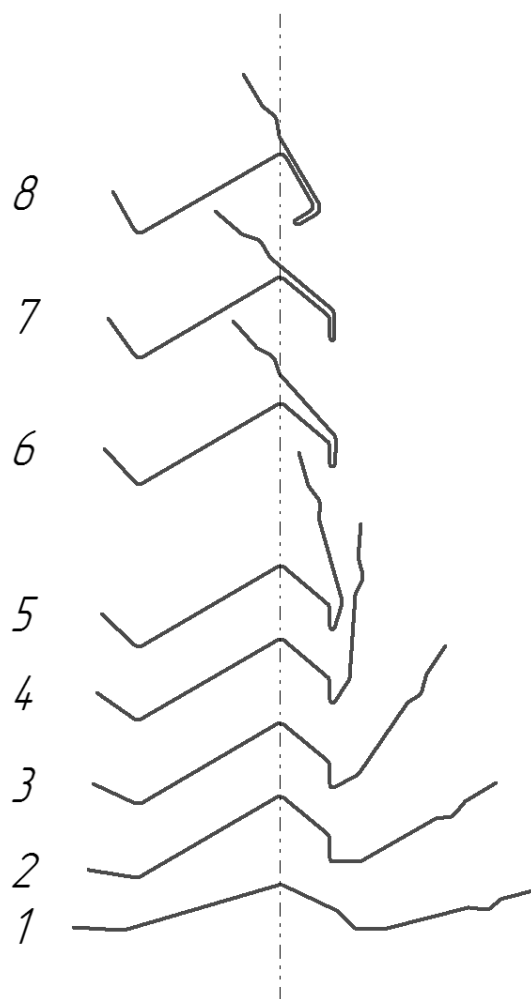


Рис. 2. Линейная схема формообразования профиля

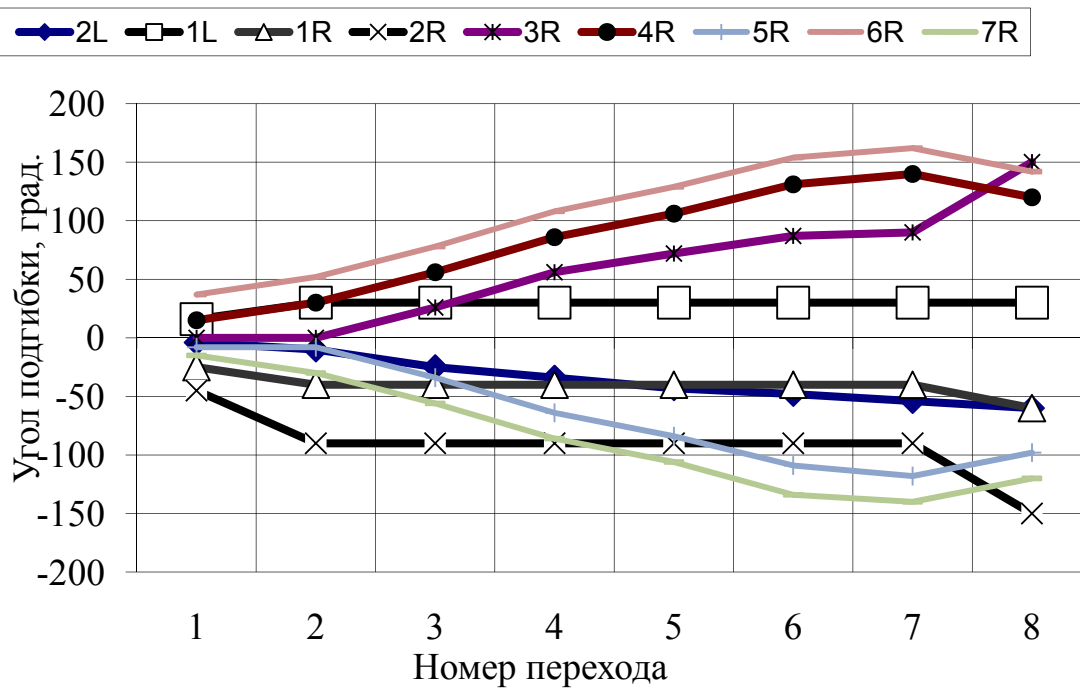


Рис. 3. Углы подгибки элементов в выбранной схеме формообразования.

Если на ряде переходов применяется подсадка заготовки (торцевое сжатие), то слагаемые, входящие в расчётную формулу для определения ΔB , берут со знаком «плюс». Если же формообразование осуществляется в условиях растяжения, то соответствующие слагаемые берутся со знаком «минус». В рассматриваемой схеме формообразования доминирует схема с растяжением, а расчёт указанного приращения основывается на зависимости

$$\Delta B = -\frac{S}{\pi \cdot \sqrt{2}} \cdot \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_B} \right)^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\alpha_i \cdot \frac{r_i + 1/2}{\sqrt{2 \cdot r_i^2 + 2 \cdot r_i + 1}} \right), \quad (4)$$

где σ_T , σ_B – предел текучести и предел прочности материала заготовки соответственно; α_i – суммарный угол подгибки i -й угловой зоны; r_i – относительный радиус изгиба i -й угловой зоны.

Расчёт по формуле (4) даёт значение приращения ширины заготовки 1,37 мм при теоретической развёртке 138 мм.

Расчёт протяжённости зоны плавного перехода выполнен для периферийных подгибаемых элементов каждого из переходов в соответствии с моделью зоны плавного перехода работы с применением метода локальных жёсткостей [5]. Полученный результат для каждого из переходов так же сравнивался с межклетьевым расстоянием профилировочного оборудования. Протяжённость зоны плавного перехода не должна превышать значение межклетьевого расстояния станка во избежание переформовки элементов профиля.

Меры предотвращения потери устойчивости элементов профиля. Что касается профилей несимметричного сечения, на данный момент отсутствуют полноценные специальные критерии потери устойчивости элементов профиля. Создание технологии производства профиля несимметричного сечения ослож-

няется из-за обусловленных спецификой конструкции профиля и применяемой схемы формообразования дефектов: искажения радиусных зон, кромковой волнистости или излома полок, скрутки.

В процессе изучения исследуемого профиля, выяснилось, что жесткость подгибаемых многоэлементных полок оказывается достаточной для обеспечения устойчивости деформирования. В правой части на периферийном участке заготовки имеется элемент жесткости в виде рифта, гарантирующего в этой части отсутствие кромковой волнистости. В левой части для оценки потери устойчивости использовалась модель, в которой потеря устойчивости прогнозируется индикаторной функцией:

$$I(\xi) = \begin{cases} 0, & \text{при } \xi < 1 \\ 1, & \text{при } \xi \geq 1 \end{cases} \quad (5)$$

где $I(\xi)$ – индикаторная функция; ξ – отношение остаточной деформации полки к критической деформации, приводящей к локальной потере устойчивости полки по выходу профиля из роликового калибра.

Уточнение числа переходов. Иногда разработка схемы формообразования вызывает необходимость увеличения или сокращения первоначально определенного числа переходов. Это может возникать как из-за погрешностей модели и процедуры приведения сечения профиля к типовой конфигурации, так и вследствие издержек на уровне определения положения сечения профиля в роликах, разработки схемы формообразования и предварительного определения режимов формообразования. В этой связи перед выбором профилировочного оборудования уточняют число переходов, а при разработке схемы формообразования под наличное оборудование с ограниченными возможностями предусматривают ряд дополнительных мер по предотвращению дефектообразования.

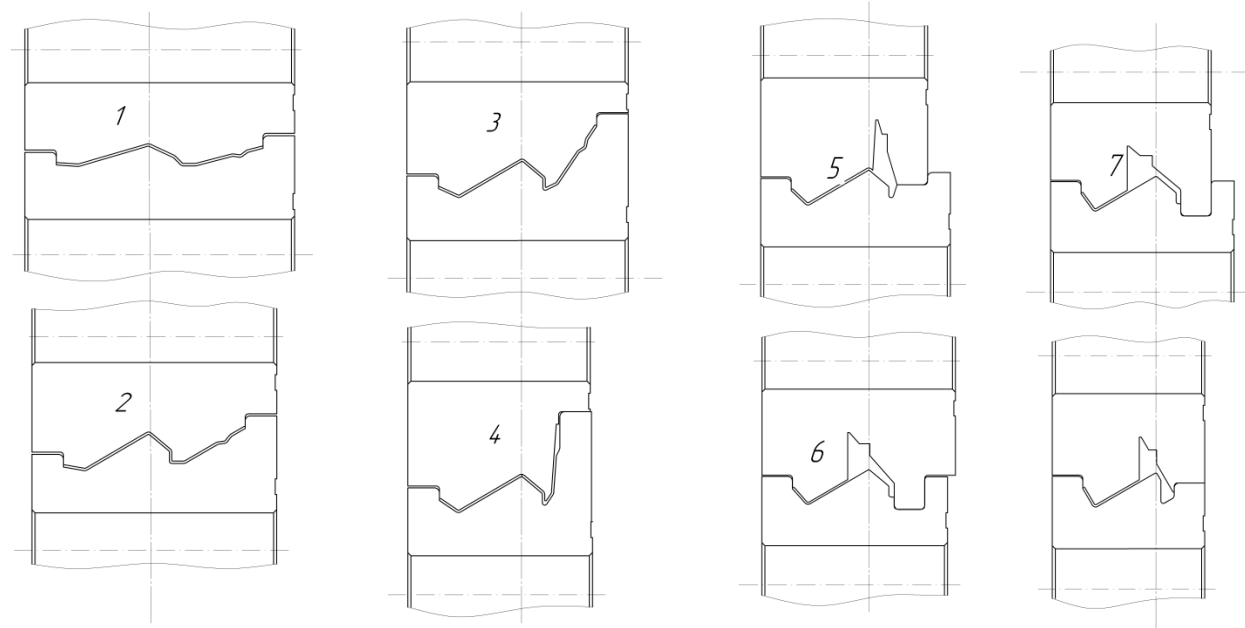


Рис. 4. Конструкция формирующих роликов для реализации разработанной технологии:
1 – 8 переходы

Проектирование и изготовление технологического оснащения базируется на выбранной схеме формообразования в нисходящем порядке номеров

переходов с учетом требований функциональности, эргономичности (удобства монтажа и настройки), экономичности (сборная оснастка, возможность переточки) и технологичности изготовления.

Основную технологическую оснастку представляют формующие ролики, при установке на станок образующие роликовые пары с рабочими калибрами, соответствующими формам технологических переходов. Диаметры формирующих роликов на каждом переходе выбирались конструктивно, исходя из глубины формовки (глубины «вреза») и других факторов. Для данного случая диаметры роликов были выбраны в диапазоне от 90 до 200 мм.

Для рассматриваемого профиля сборная конструкция роликов не требуется [6]. Замыкание калибров [5] для данного профиля осуществляется по вертикальным линиям разъёма с односторонним врезанием (рис. 4) и геометрическим замыканием валов.

В результате реализации технологии на базе автоматизированной линии профилирования, включающей рулонницу, профилировочный 8 клетьевой стан, отрезное устройство и систему управления, геометрические характеристики сечения были выдержаны в пределах заданных допусков, отклонения углов не нарушали требований чертежа.

Библиографический список

1. Марковцев, В. А. Ресурсосберегающие технологии и оборудование для производства профилей и гофрированных панелей / В. А. Марковцев, В. И. Филимонов // Формообразование гнутых профилей: теория и практика. (2011 г.): сборник научных трудов / под науч. ред. д-ра техн. наук, профессора В. И. Филимонова. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 166 с.; с. 146.
2. Илюшкин М.В., Марковцев В.А., Баранов А.С., Волков А.А. // Современные технологии в машиностроении. Сб. матер. 12-ой Международной научно-практич. конф.- Пенза: Изд-во ПДЗ, 2008.- с.86-89.
3. Roll Forming Handbook / Edited by J.T. Halmos. Boca Raton: CRC Group, 2006. – 219 p.
4. Марковцев, В. А. Формообразование стесненным изгибом в роликах и правка гнутых тонкостенных профилей / В. А. Марковцев, В. И. Филимонов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006. – 246 с.; с 5.
5. Филимонов В.И., Филимонов С.В. Условия замыкания калибров при интенсивном формообразовании открытых профилей в роликах // Производство проката, 2004, № 11. С. 23 – 28.
6. Филимонов А.В. Совершенствование технологии производства полужакрытых профилей в роликах методом интенсивного деформирования. Дисс. канд. техн. наук: 05.03.05. – Ульяновск: УлГТУ, 2008; с. 170.



- Карпов Сергей Александрович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Филимонов Сергей Вячеславович, к.т.н.,
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)



5. ОБЗОРЫ И ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

УДК 621.981

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОРЕСУРСНЫХ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Марковцев В.А.

Высокий уровень конкуренции на рынке авиационной техники требует от разработчиков и производителей создания изделий с максимальными летно-техническими характеристиками при минимальных затратах на производство. Это достигается использованием современных конструкторских разработок, применением новых материалов, оборудования и технологий, позволяющих существенно повысить качество продукции при снижении трудоемкости изготовления.

Одним из путей, позволяющим повысить эксплуатационные характеристики летательных аппаратов, является широкое применение в конструкциях панелей и оболочек, подкрепляющих элементов (профилей и гофров), изготовленных из листовых заготовок различных высокопрочных коррозионностойких сплавов и композиционных материалов. Во многих случаях исходный высокопрочный лист имеет дополнительную алюминиевую плакировку поверхности, значительно повышающую характеристики коррозионной стойкости и ресурса.

Использование в качестве исходной заготовки катаного листа высокопрочного сплава толщиной от 0,6 до 3 мм позволяет получать профили с размерами толщины полок и стенок, соответствующие нагрузкам в каждом конкретном элементе конструкции.

Получение тонкостенных профилей из листовых заготовок высокопрочных сплавов и композиционных материалов наиболее технологично производить гибкой, в том числе методом стесненного изгиба, так как широко применяемое прессование профилей из труднодеформируемых сплавов затруднено, а получаемые детали не имеют плакировки поверхности, что приводит к снижению коррозионной стойкости и ресурса изделий. Кроме того, прессованные профили имеют плюсовой допуск по толщине стенок и полок и, как следствие, повышенный вес.

Обычная гибка высокопрочных листовых заготовок возможна лишь с достаточно большими радиусами зон сгиба, в 3-10 раз превосходящих толщину исходного листа, вследствие чего прочность и жесткость сечения профиля существенно уступают характеристикам аналогичного прессованного.

В последние годы в современных изделиях авиационной техники применяются профили, изготовленные по методу стесненного изгиба, предложенному Г.В. Проскуряковым в 1960-х годах (табл. 1). При этом внутренний радиус зон сгиба профилей составляет не более 2-3 толщин исходного материала, а сами зоны сгиба имеют утолщение 3-10 %.

Номенклатура профилей, внедрённых в авиастроении

№ п/п	Чертеж сечения	Материал	Применение в изделии
1		В95пчАТ2 1163АТ(Д16чАТ) 1441Т В95пчАМ 1163АМВ 1163пчАМ	ИЛ-114 ИЛ-103 ИЛ-112 АН-148 АН-70 АН-140 Бе-200ЧС
2		В95	
3		1469 В95 1163	МС-21
4		12Х18Н10Т	АН-148
5		30ХГСА	АН-148

Высокое качество профильной продукции, изготавливаемой по технологии стесненного изгиба, решение вопросов по технологическим маршрутам изготовления деталей из гнутых профилей, выполнению операций гибки, подсечки, разработке отраслевой нормативно-технической документации (РТМ 1.4-2005-91) позволило внедрить эту технологию (1987-2010 годы) в производство силовых элементов и других профилей самолетов ИЛ-114, ИЛ-103, ТУ-334, БЕ-200, АН-70, АН-140, АН-148, ИЛ-112 [1].

В настоящее время ведется отработка технологии изготовления листовых профилей с уменьшенными радиусами зон сгиба и заданной продольной кривизной для перспективных изделий авиационной техники, в том числе самолета МС-21.

Применяемые материалы: листовые плакированные заготовки авиационных сплавов 1163, В95, 1441 – для стрингеров и шпангоутов фюзеляжа; АМг6; Д16 – отделка интерьера; 12Х18 Н10Т, 30ХГСА – элементы конструкции оборудования и бортового оснащения.

Профили изготавливаются из предварительно нарезанных из листа заготовок на гибочно-прокатных станках типа ГПС-350М6 производства ОАО «Ульяновский НИАТ», сертификат № РОСС RU.ТЧ02.В02683, общий вид станка представлен на рисунке (рис. 1).

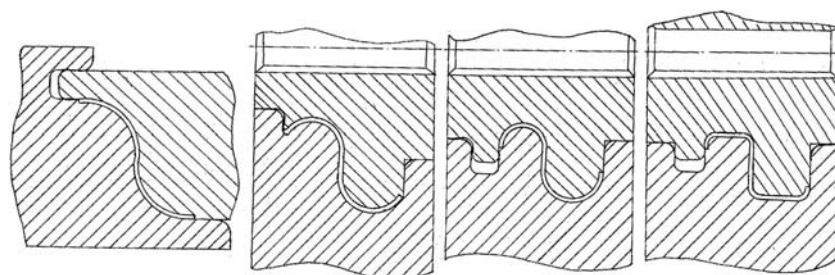
Станок ГПС-350 имеет ряд конструктивных особенностей, позволяющих успешно реализовывать технологию стесненного изгиба. Повышенная жесткость станины и корпусов клеток, усиленные подшипниковые узлы, специальные конструкции валов и оснастки обеспечивают стабильность зазоров в формующих клетях при нагружении и качество получаемого профиля. Возможность значительного перемещения в вертикальной плоскости верхнего и нижнего валов в клетях при сохранении привода на каждый позволяет оптимально расположить профиль в формующих роликах, обеспечить максимально выгодные условия формообразования и расположения оси профилирования, что особенно важно при получении относительно высоких профилей (до 80 мм). Наличие частотно-регулируемого привода позволяет выбрать оптимальный скоростной режим профилирования, исключить проскальзывание и задиры плакирующего слоя заготовки.

Основной особенностью оснащения (формующих роликов) является наличие в их конструкции установочных вертикальных и горизонтальных баз (рис. 2), что обеспечивает при смыкании нижнего и верхнего роликов гарантированный зазор в калибре, расположение оси профилирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях (Патент № 2190490). Такая конструкция оснастки позволяет исключить ошибки или неточности при переналадке станка с



Рис. 1. Станок ГПС-350М6, пат. № 2254193

одного профиля на другой, сократить время переналадки до 30 минут, допускает возможность обслуживания оборудования минимально подготовленным персоналом.



I переход II переход III переход IV переход

Рис. 2. Рабочие калибры роликовых пар

Необходимо отметить наличие специальных направляющего и правильного устройств. Направляющее устройство обеспечивает подачу заготовки (полоса или лента) под любым углом от 0 до 90 градусов, что позволяет направить заготовку в первую пару формирующих роликов в полном соответствии с формой и расположением ее калибра, что исключает избыточную деформацию на входе, а также появление задиров и следов инструмента на поверхности листовой плакированной заготовки. Правильное устройство имеет оригинальную конструкцию, позволяющую получать как прямолинейные профили, так и с заданной продольной кривизной. Для получения прямолинейных профилей правильная

обойма состоит из двух фильер соединенных коромыслом, что обеспечивает самоустановку правильного блока в положение прямолинейного выхода профиля, обеспечивая стабилизацию процесса стесненного изгиба в роликах (рис. 3). Получение профиля заданной продольной кривизны обеспечивается настройкой оси профилирования, конструкцией оснащения, выбором диаметров роликов, настройкой правильного устройства.

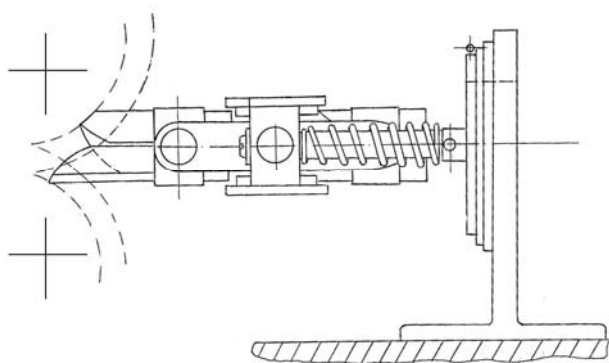


Рис. 3. Правильное устройство



• **Марковцев Владимир Анатольевич, к.т.н.,
генеральный директор ОАО «Ульяновский НИИТ»**



О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ПРОИЗВОДСТВА ПРОФИЛЕГИБОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РОССИИ

Лисин И.О., Лисина А.А., Филимонов В.И.

Глобализация мировой экономики – давно уже свершившийся факт, несущий с собой как большие преимущества, так и серьезные недостатки. Это в полной мере относится к машиностроению, в частности, к станкостроению, и отражается на всех странах–производителях и потребителях станочной продукции, в том числе и в России. Происходивший с начала 90-х годов и вызванный целом рядом политических (в первую очередь, распад Советского Союза) и экономических причин обвал национального станкостроения привел к наплыву в страну большого числа зарубежных фирм–производителей станков, инструментов и комплектующих. Здесь сыграли свою роль два важнейших фактора: практическое отсутствие обновления станочного парка России в течение последних лет и относительно быстрый рост ряда отраслей промышленности, начиная с 1999 г., вызванный дефолтом и ростом цен на нефть и другое сырье. В числе таких отраслей можно назвать автомобилестроение, топливно-энергетический комплекс, авиационную (ее военная составляющая) и оборонную промышленность.

Российское станкостроение, подорванное в результате длительного спада, не могло выдерживать конкуренции с высококласной продукцией таких стран, как Германия, Швейцария, Япония, Италия и ряда других. Значительную часть требуемого оборудования оно не производило и раньше, а фактическое прекращение выпуска комплектующих (в значительной мере из-за отсутствия стабильного спроса на них со стороны российских потребителей, не говоря об иностранных), привело к тому, что даже станки, изготавливаемые российскими фирмами, из-за необходимости сбыта в своей стране и за рубежом чаще всего оснащались немецкими, отчасти японскими, швейцарскими и итальянскими комплектующими.

Общий спад производства не обошёл стороной и отрасль обработки металлов давлением, в частности обработки изделий из листового материала. Как видно из диаграммы (рис. 1), отражающей импорт и экспорт за последние три

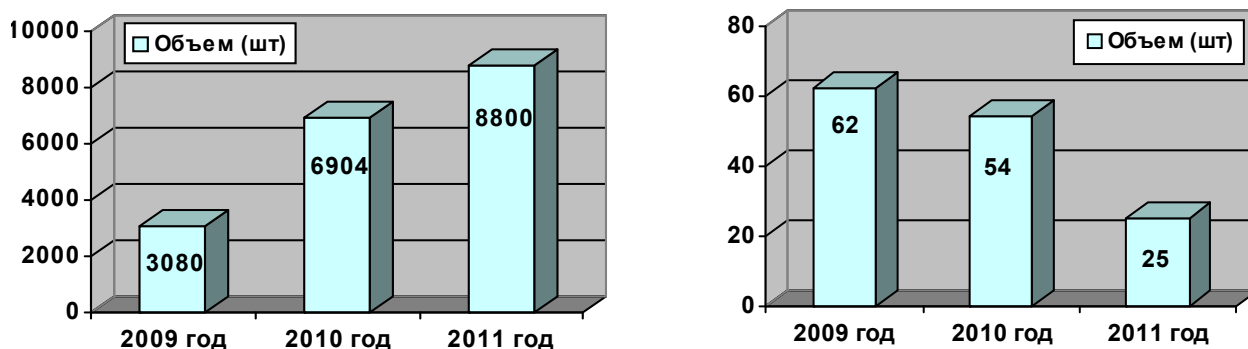


Рис. 1. Импорт и экспорт оборудования

года «Машин гибочных, кромкогибочных, правильных (включая прессы) для обработки изделий из листового материала», объем импортного оборудования в РФ неуклонно растет, а экспорт практически достиг нулевого уровня. Основными причинами сложившейся ситуации являются: во-первых, отсутствие у отечественных производителей возможности поставлять на рынок необходимое количество оборудования, ввиду отсутствия требуемых для этого производственных мощностей; во-вторых, низкая конкурентоспособность отечественного оборудования по отношению к импортным аналогам (цена, качество получаемых изделий, производительность и т.п.).

В результате анализа внешнеэкономической деятельности последних трёх лет, в отношении указанных ранее товаров, выделены основные страны-поставщики импортного оборудования и страны-потребители отечественной продукции. Полученные данные отражены на диаграмме рис. 2.

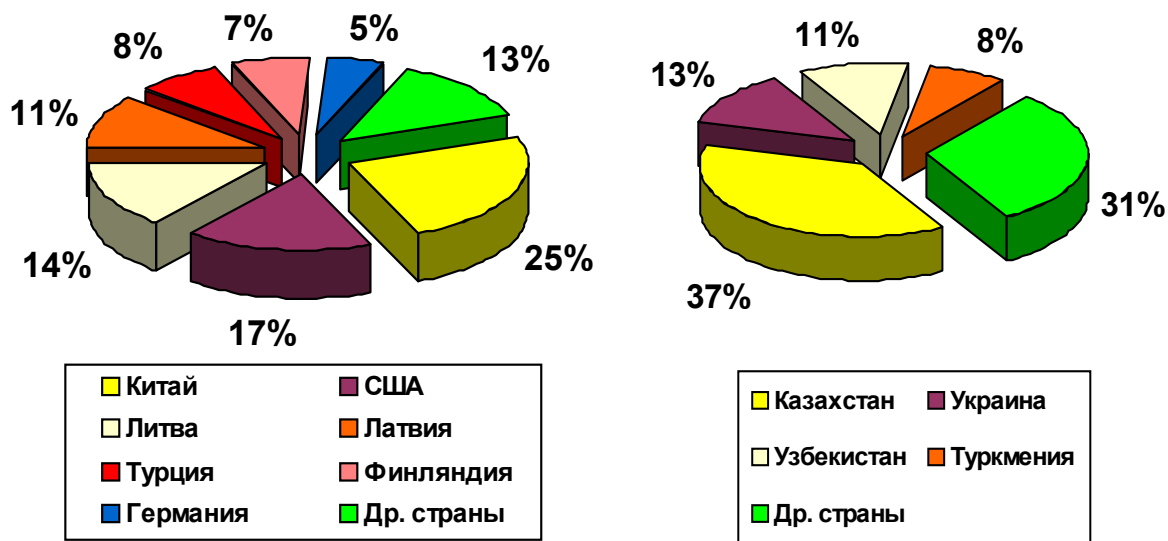


Рис. 2. Поставщики и потребители оборудования

Как видно из диаграммы, основным поставщиком профилегибочного оборудования в Россию является Китай (четверть всего импорта). Это обусловлено, в основном, относительно низкой ценой на предлагаемую продукцию.

Потребителями продукции отечественного производства по большей части являются страны-участницы СНГ. Однако данные поставки носят разовый характер и не приносят стабильного дохода российским производителям.

В сложившейся ситуации приоритетной задачей для отечественных производителей профилегибочного оборудования является разработка продукции, способной создать конкуренцию не только на внутреннем рынке России, но и за рубежом. Одним из возможных путей реализации этой задачи является применение новых методов формообразования, позволяющих снизить себестоимость оборудования за счёт уменьшения его габаритных размеров (без потери производительности), а также повысить качество получаемых на профилегибочных станках изделий.

Методы изготовления гнутых профилей подразделяются на пять основных групп: 1) в кромкогибочных машинах; 2) в штампах; 3) в инструменталь-

ных фильерах; 4) в роликах; 5) комбинированным методом. Указанные методы имеют свои области применения и различную экономическую и технологическую эффективность [1], зависящую в совокупности не только от типа профиля и применяемого метода, но и от организационных мер, конъюнктуры рынка и ряда других факторов.

Изготовление гнутых профилей различной конфигурации в роликах профилировочных станков обладает определенными преимуществами перед процессами прессования, гибки в штампах, кромкогибочных машинах, среди которых относительно высокая производительность, безотходность, возможность получения длинномерных многоэлементных заготовок с покрытием и т.д.

В сравнении с упомянутыми выше альтернативными методами производства гнутых профилей, их формообразование в роликах является более универсальным методом, имеющим следующие преимущества: 1) возможность изготовления профилей с минимальной толщиной стенок и весьма разнообразной номенклатуры; 2) возможность замены сочетания нескольких стандартных профилей в конструкциях одним, имеющим сложную конфигурацию; 3) незначительные отходы металла, не превышающие обычно 1 – 2 %; 4) высокое качество поверхности профиля, с шероховатостью, не превышающей 0,63 мкм; 5) возможность изготовления профилей из заготовок с покрытием; 6) высокая точность размеров профилей, не ниже 8 – 10 квалитетов; 7) сравнительно высокая производительность труда и адаптируемость технологии к масштабам производства; 8) возможность совмещения профилирования с другими производственными процессами (правка, отрезка, гибка по контуру); возможность механизации и автоматизации производства и др. [2]

Формообразование гнутых профилей в роликах может быть условно разделено на традиционное профилирование (ТП), интенсивное деформирование (МИД) и стесненный изгиб (СИ).

Рассмотрим их по характерным показателям, начиная со сферы применения методов. Традиционное профилирование рассчитано на массовое производство и предусматривает использование многоклетевых профилегибочных машин с числом клетей от 10 до 52 [1], причем, «катающие диаметры» роликов, обычно более 200 мм [3]. Скорость профилирования находится в диапазоне от 12 до 60 м/мин и более. Длина производственных линий традиционного профилирования достигает нескольких десятков метров. Это требует значительных производственных площадей и складских территорий для хранения технологической оснастки, что связано с высокими затратами на содержание производственных помещений.

Метод интенсивного деформирования наиболее эффективен в средне- и мелкосерийном производстве вследствие меньшего числа переходов, чем в ТП. При этом применяемое профилегибочное оборудование является сравнительно компактным и дешевым, что способствует его востребованности на сегменте рынка малого бизнеса.

Область применения стеснённого изгиба (СИ) – преимущественно самолетостроение. В СИ, как и в МИД, изготовление профилей осуществляется за малое число переходов, однако изготавливать можно только открытые профили

небольших поперечных сечений (примерно 100x50x0,5...1,5 мм). Отсюда видно, что МИД обладает рядом преимуществ перед ТП (в сфере мелкосерийного производства) и имеет более широкие технологические возможности в части изготовления многоэлементных полузакрытых и закрытых профилей по сравнению со стеснённым изгибом.

Кроме того, при СИ профили имеют весьма высокий уровень остаточных напряжений (0,5...0,8) σ_s , в случае неблагоприятных схем формообразования.

Что касается технологических возможностей, то в сравнении с традиционным профилированием технологии интенсивного формообразования (СИ и МИД) обладают рядом преимуществ: возможность производства открытых профилей повышенной жесткости: с утолщением зоны сгиба до (20 – 30) % и минимальным радиусомгиба в 2 – 3 меньшим радиусагиба, допускаемого при традиционных методах гибки; возможность деформирования высокопрочных материалов, обладающих низкими пластическими свойствами (СИ), или производства многоэлементных профилей с радиусамигиба не превосходящими допустимых при обычной гибке в отсутствие утонения материала в зоне сгиба (МИД); возможность использования компактного оборудования, имеющего малые габариты и невысокую стоимость при относительно небольшом энергопотреблении; использование малого количества средств технологического оснащения, что позволяет сократить затраты на технологическую подготовку производства и уменьшить время и трудоемкость переналадок оборудования.

Развитие новых технологий профилирования вызывает необходимость разработки и производства соответствующего технологического оборудования. В некотором смысле данное оборудование представляет собой определённую альтернативу наплыву зарубежного оборудования для профилирования заготовок, хотя сферы приложения указанных видов оборудования различны: высокопроизводительное зарубежное оборудование предназначено для массового производства, а компактное отечественное оборудование – для мелкосерийного производства профилей. Применение компактного оборудования даёт экономический эффект, обусловленный в ряде случаев существенными издержками транспортировки профилей массового производства на расстояния, превышающие 250 – 300 км от места их производства.

Библиографический список

1. Филимонов, С.В. Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры / С.В. Филимонов, В.И. Филимонов – Ульяновск: Изд-во УлГТУ «Венец», 2004. – 246 с.
2. Филимонов С.В. Современные технологии производства гнутых профилей в роликах / С.В. Филимонов, В.И. Лапшин, А.В. Филимонов, В.И. Филимонов // Производство проката, 2008, № 12. – С. 16 –24.
3. Филимонов С.В. Разработка технологии интенсивного формообразования гнутых тонкостенных профилей в роликах: Дис. канд. техн. наук: 05.03.05/ Нижегородский гос. Технический ун-т. – Нижний Новгород, 2003. 223 с.



- Лисин Игорь Олегович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Лисина Анна Александровна,
инженер-технолог УГТ ОАО «Ульяновский механический завод»
- Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор,
профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СКРУЧИВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОГО ПРОФИЛЯ, ФОРМУЕМОГО В РОЛИКАХ МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Карпов С.А.

Ввиду широко распространения в настоящее время металлоконструкций, полученных способом профилирования на прокатных станах, появляется потребность в профилях все более сложных и нестандартных типоразмеров. Таким образом, пристального внимания заслуживают конструирование инструментальной оснастки и разработка технологий получения профилей несимметричного сечения.

Конструктивно, не останавливаясь на отдельных элементах жесткости, профили несимметричного сечения можно классифицировать по признаку принадлежности их элементов стандартным типам профилей: уголкового, швеллерного, корытообразного, зетового профили и профили с элементами двойной толщины. Отправной точкой в решения таких задач, как определение числа переходов, определение принципа формовки, разработка схемы формообразования, следует считать корреляцию исследуемых профилей сложного сечения с уже известными, более простой формы.

Вместе с тем, разработка технологии производства таких профилей требует специальной схемы формообразования для минимизации числа переходов и предотвращения дефектообразования профиля в процессе его формообразования.

Наряду с другими дефектами, скрутка является тем из дефектов, допуск по которому составляет постоянную величину для всех типоразмеров профилей (табл. 1); и в том же время одним из распространенных в случае несимметричных профилей, в силу их особенностей строения.

Несимметричные уголкового профили можно формовать по схемам, предусматривающим подгибку меньшей полки в роликах основных переходов или в промежуточных вертикальных клетях. Более предпочтительна схема с одновременной подгибкой полок на углы, обратно пропорциональные соотношению ширин подгибаемых полок [2].

Снижение угла скрутки уголкового профиля может обеспечиваться перегибом полок и их последующей разгибкой. При наличии элементов жесткости на одной из полок уголкового профиля можно изготавливать с применением

специальных схем [3], например, с устранимым технологическим рифтом на другой полке [4].

Таблица 1

Требования к гнутым профилям в машиностроении [1]

Параметры	Размеры	Допуск
Габариты сечения	До 50 мм	$\pm 1,0$ мм
	50 – 100 мм	$\pm 1,5$ мм
	101 – 200 мм	$\pm 2,0$ мм
	более 200 мм	$\pm 3,0$ мм
Толщина	1,0 мм	$\pm 0,11$ мм
	1,5 мм	$\pm 0,14$ мм
	2,0 мм	$+ 0,17/-0,21$ мм
Волнистость кромки	Любой	До 2 мм
Продольный прогиб	Любой	До 1 мм/м
Скрутка	Любой	До 1 град/м

Формообразование неравнополочных швеллеров сопровождается продольным прогибом и винтообразным скручиванием профиля, связанным с различием приобретаемых деформаций полок. Существуют несколько схем формообразования, предотвращающих скручивание (рис. 1).

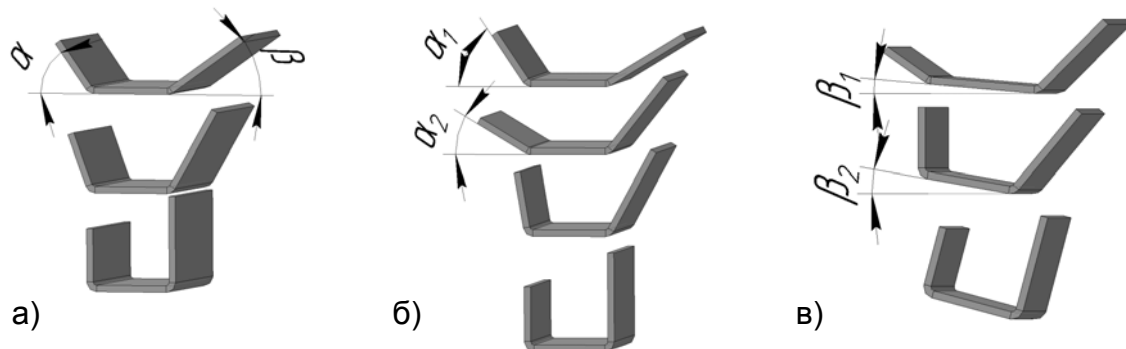


Рис. 1. Схемы формообразования, предотвращающие скрутку несимметричных профилей: а) подгибкой на различные углы; б) комбинацией подгибки и разгибки; в) поворотом сечения профиля относительно оси профилирования.

Некоторой модификацией рассмотренной схемы является схема, по которой, в каждом переходе профиль размещают с заданной ориентацией одной из главных центральных осей инерции. Продольное скручивание неравнополочного профиля также устраняют поворотом его сечения в предчистовом переходе в сторону большей полки на угол:

$$g = j \times (3 - 4)^\circ,$$

где j - угол продольного скручивания.

При этом дно профиля в остальных переходах располагают горизонтально.

Уменьшения винтообразного скручивания можно добиться применением схемы формообразования с уравниванием изгибающих моментов, прикладываемых к обеим полкам, с приложением поперечного сжимающего усилия к полке большей длины перпендикулярно плоскости ее торца.

Изготовление несимметричных корытообразных профилей так же связано с предотвращением скручивания, помимо кромковой волнистости и продольного прогиба, путем назначения различных углов подгибки полок и применения межклетьевых проводок (рис. 2), обеспечивая тем самым равенство активных зон для обеих полок [5].

Производство профилей с углами более 90° можно осуществлять путем изменения направления скрутки на различных переходах, однако при широких периферийных элементах этот прием может вызвать появление кромковой волнистости. Скрутка является одной из основных проблем, возникающих при формообразовании зетовых профилей в роликах.

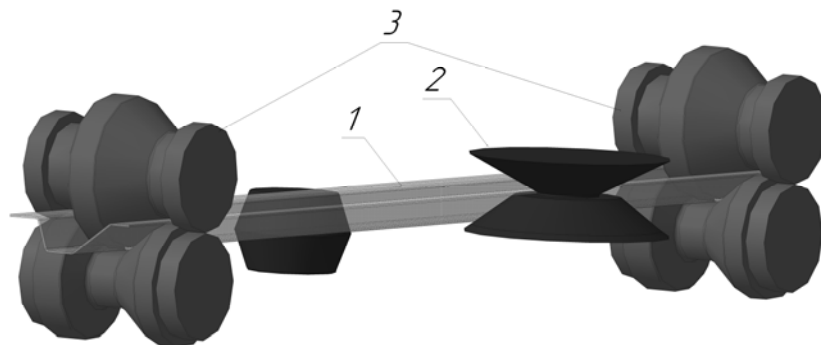


Рис. 2. Изготовление профиля: 1 – профиль; 2 – проводки; 3 – ролики

Для уменьшения винтообразного скручивания предназначен способ изготовления зетовых профилей, в котором подгибку полок осуществляют на разные конечные углы до достижения каждой полкой угла, равного сумме меньшего угла подгибки и полуразности между заданными углами подгибки обеих полок, после чего производят подгибку одной полки и разгибку другой.

Отдельным пунктом заявлено расположение центров тяжести сечения профиля по переходам в одной плоскости. Данный прием хорошо известен из классических источников [2], однако он требует относительно большого числа переходов. Здесь также предлагается удерживать место изгиба у основания полки с большим углом подгибки и торец другой полки на одной горизонтали во всех переходах. Это уменьшает скручивание и продольное искривление.

В целях предотвращения скрутки изобретен способ [6], предназначенный для производства зетовых профилей с элементом двойной толщины на одной полке и отбортовкой на другой, где на предварительных переходах одновременно формуют окончательно элемент двойной толщины и отбортовку.

В последних переходах формуют полку с элементом двойной толщины одновременно с полкой, несущей отбортовку, причем, угол подгибки полки с элементом двойной толщины относительно горизонтали принимают равным углу подгибки стенки и другой полки, прилегающей к отбортовке.

Установлено, что угол скручивания увеличивается с увеличением ширины полок, предела текучести и уменьшается с увеличением толщины металла. Для предотвращения скручивания в процессе профилирования необходимо, чтобы сумма скручивающих моментов равнялась нулю. Предотвращение пружинения в данном способе достигается перегибкой элементов.

В другом способе [7] изготовления несимметричных гнутых профилей с элементами двойной толщины на периферийных участках первоначально формируют элементы двойной толщины, а затем, с целью предупреждения нарушения покрытия, винтообразного скручивания и продольного прогиба профиля, поперечному сечению заготовки придают конфигурацию, у которой центры тяжести масс частей сечений, расположенных по обе стороны от вертикальной оси, проходящей через центр сечения, размещены на одной прямой, лежащей в плоскости профилирования.

Схемы переходов с 8-го по 14-й дают идею об "уравновешивании" локальных жесткостей, хотя в данном случае речь идет лишь об уравновешивании масс сечения. Задача уравновешивания частей сечения профиля по критериям локальных жесткостей далека от тривиальной и требует специального изучения, в первую очередь экспериментального.

В работе [4] были приведены частные случаи разработки технологии изготовления гнутого профиля несимметричного сечения в роликах, которые могут быть полезны разработчиками технологий метода интенсивного деформирования для использования и в других подобных случаях.

Библиографический список

1. Филимонов С. В. Метод, расчеты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры / С. В. Филимонов, В. И. Филимонов. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 246 с.
2. Тришевский И. С. Исследование процесса и разработка режима профилирования несимметричных гнутых профилей / И. С. Тришевский, В. И. Мирошниченко // Теория и технология производства экономичных гнутых профилей проката. - Харьков: УкрНИИмет, 1970. - № 15. - С. 155 - 173.
3. А. с. 1625544 СССР, МКИ В 21 D 5/06. Способ производства несимметричного уголкового профиля / В. Г. Антипанов, В. И. Гридневский, Н. Т. Пахомов, А. А. Ушаков. - Оpubл. 07.02.91, Бюл. № 5.
4. Филимонов С.В. Интенсивное формообразование гнутых профилей /С.В. Филимонов, В.И. Филимонов – Ульяновск: УлГТУ, 2008. 444 с.
5. А. с. 1172626 СССР, МКИ В 21 D 5/06. Способ изготовления несимметричных гнутых листовых профилей проката / И. С. Тришевский, В. Г. Антипанов, В. И. Мирошниченко и др. – Оpubл. 15.08.85, Бюл. № 30.
6. А. с. 1148667 СССР, МПК7 В 21 D 5/06. Способ изготовления гнутых зетобразных профилей / А. И. Гулько, В. Ф. Светличный, А. К. Антонюк и др. – Оpubл. 07.04.1985, Бюл. № 12.
7. А. с. 1278059 СССР, МПК 4 В21 Д5/06. Способ изготовления несимметричных гнутых профилей / Ю. Н. Головня, Н. Л. Волковой, В. Н. Илюшко. – Оpubл. 23.12.86, Бюл. №47.



- Карпов Сергей Александрович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ТЕРМИЧЕСКАЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ РЕЗКА ЗАГОТОВОК И ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Земскова А.Н., Кокорин В.Н., Филимонов В.И.

Гнутые профили во многих случаях являются законченными деталями, не требующими дополнительной обработки [1]. При отрезке профилей различного сечения важнейшим требованием является обеспечение необходимого качества получаемых изделий. Качество изделий, получаемых отрезкой, является комплексным понятием и включает геометрическую точность изделия, состояние поверхности разделения, состояние металла в областях, примыкающих к поверхности разделения [2].

Разделительные операции по способам обработки материалов подразделяются на две основные группы:

- с механическим воздействием – разрезание ножницами, распиливание, сверление, фрезерование, штамповка и др.;
- с воздействием струи или термическим воздействием.

Первая группа разделительных операций является традиционной для обработки материалов давлением. Поэтому рассмотрим лишь вторую группу процессов в приложении к процессам профилирования. Здесь можно выделить следующие способы резки:

1. Газовая резка (кислородная; кислородно-флюсовая; резка кислородным копьем);
2. Плазменная резка (плазменно-дуговая; резка плазменной струей);
3. Лазерная или газолазерная резка;
4. Гидро- и гидроабразивная резка.

Первые три способа также называют термическими способами резки.

В способах газовой резки источником нагрева металла является газовое (кислородное) пламя, а источники электрической энергии не используются [3]. В табл. 1 даны характеристики газовой резки, а на рис. 1 представлена схема реализации способа кислородной резки.

Таблица 1

Разновидности газовой резки и их описание

Кислородная резка	Кислородно-флюсовая	Кислородно-копьевая
Металл удаляется из зоны реза в результате его сгорания в струе чистого кислорода и выдувания этой струей образовавшихся оксидов	В область реза подается специальный порошок-флюс, облегчающий процесс резки за счет термического, химического и абразивного воздействия	Необходимая температура при резке создается в результате сгорания металлического копья (трубы), через которое продувается струя кислорода

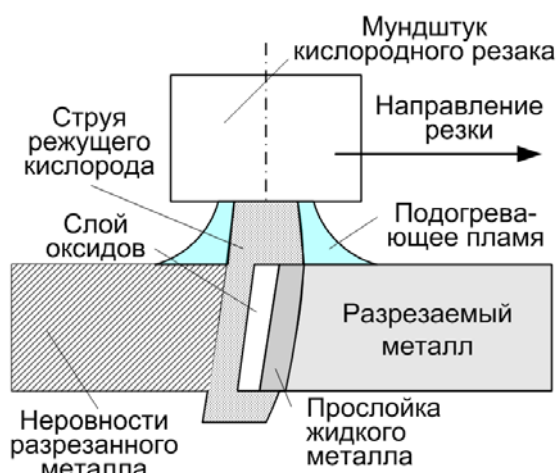


Рис.1 Схема кислородной резки

Плазменная резка заключается в проплавлении разрезаемого металла за счет теплоты, генерируемой сжатой плазменной дугой, и интенсивном удалении расплава плазменной струей. В табл. 2 представлено описание разновидностей плазменной резки, а схема плазменной резки изображена на рис. 2.

Для получения чистого разреза важно правильно подобрать скорость резки и силу тока. Для этого можно выполнить несколько пробных разрезов на более высоком токе, уменьшая его при необходимости в зависимости от скорости движения. При более высоком токе или малой скорости резки происходит перегрев разрезаемого металла, что может привести к образованию окалины. На рис. 3 представлены зависимости оптимальных скоростей резания от толщины разрезаемого металла и мощности тока в сравнении с газокислородной резкой.

Таблица 2

Описание разновидностей плазменной резки

Плазменно-дуговая	Резка плазменной струей
Электропроводный материал плавится за счет теплоты плазменной дуги и струи, и выносится последней из области реза	Дуга имеет косвенное действие, и материал может быть неэлектропроводным. Его плавление и удаление из зоны реза осуществляется высокоскоростной плазменной струей.

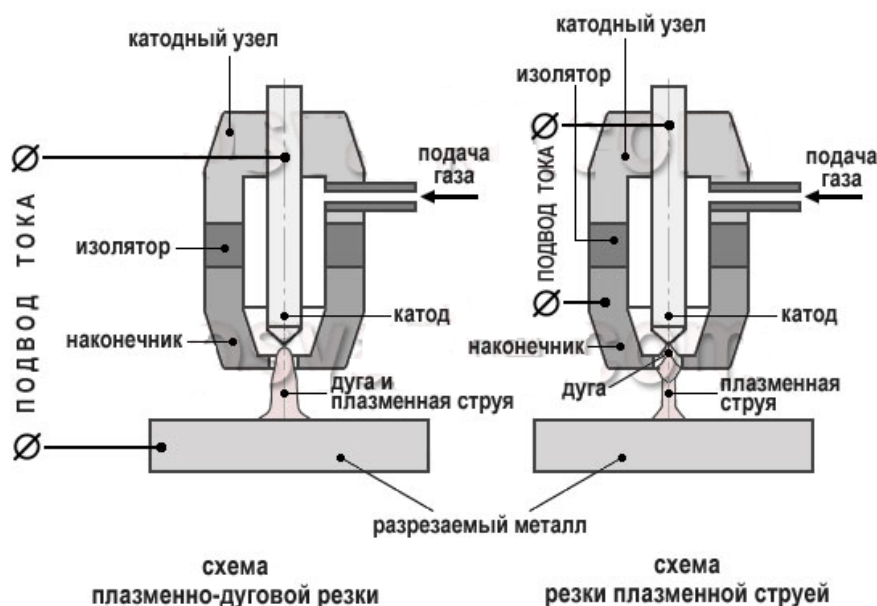


Рис. 2 Схема плазменной резки

Газолазерная резка (рис. 4) заключается в нагреве и разрушении материала лазерным лучом с удалением расплава струей вспомогательного газа [4]. Для ряда материалов в качестве вспомогательного газа применяется кислород, поддерживающий горение материала.

В результате реакции окисления выделяется дополнительная теплота, усиливающая действие лазерного луча.

Лазерный луч может использоваться только для нагрева участка поверхности металла до температуры примерно 1000°C , при которой начинается процесс окисления металла, а затем на участок поверхности подается сверхзвуковая струя чистого кислорода. Такой способ получил название кислородной резки с поддержкой лазерным лучом.

Обработка малых толщин может выполняться в импульсном режиме работы лазера, что позволяет уменьшить зону термического воздействия, а больших толщин – в микроплазменном режиме. Плазмообразующими являются пары легко ионизируемых металлов – магния, цинка и др. Под действием лазерного луча в области реза образуется плазма, нагревающая металл до температуры плавления и плавящая его.

Основными технологическими параметрами процесса лазерной резки являются: мощность излучения; скорость резки; давление вспомогательного газа; диаметр сфокусированного пятна. При импульсном режиме к этим параметрам добавляются: частота повторения импульсов; длительность импульсов; средняя мощность излучения. На рис. 5 представлена зависимость скорости резания от мощности излучения для различных материалов небольшой толщины.

Указанные параметры влияют на ширину реза, качество резки, зону термического влияния и другие характеристики резки. На рис. 6 показано влияние скорости резки на ширину удаляемого металла для различных сплавов. Отсюда видно, что уменьшение ширины реза можно достичь за счёт увеличения скорости реза. При отрезке профиля следует предусматривать движение лазерной головки не только в сопутствующем направлении, но и в круговом направлении относительно оси профилирования, причём дуга обхода должна располагаться сверху во избежание попадания расплавленных частиц металла на оптическую систему.

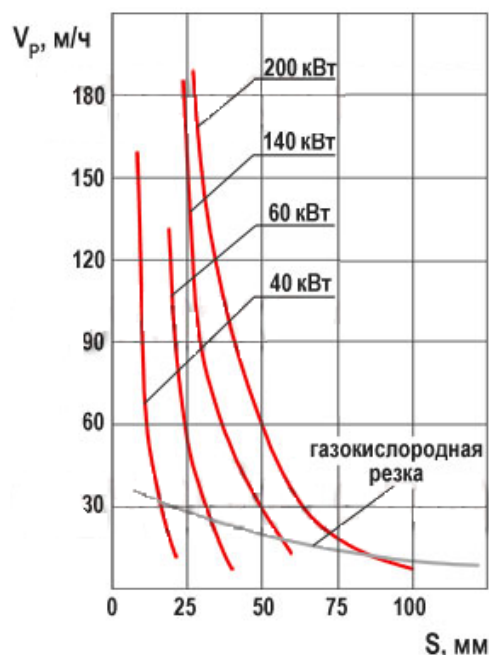


Рис.3 Скорость воздушно-плазменной резки углеродистой стали в зависимости от ее толщины и мощности дуги

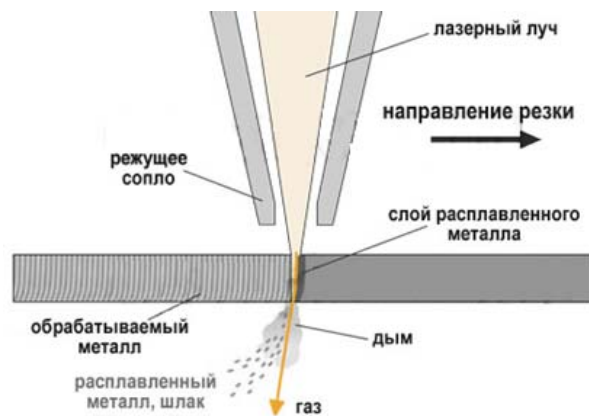


Рис. 4. Схема лазерной резки

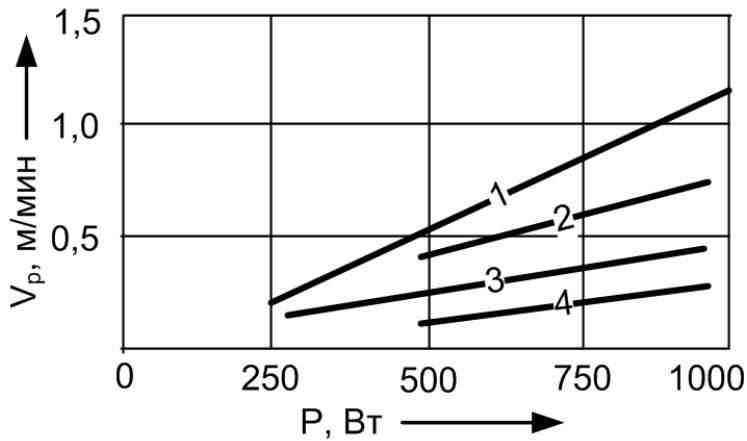


Рис.5. Влияние мощности излучения на скорость резки: 1 – нержавеющая сталь ($s = 3,2$ мм); 2 – алюминий ($s = 0,8$ мм); 3 – низкоуглеродистая сталь ($s = 2,3$ мм); 4 – титан ($s = 1,5$ мм)

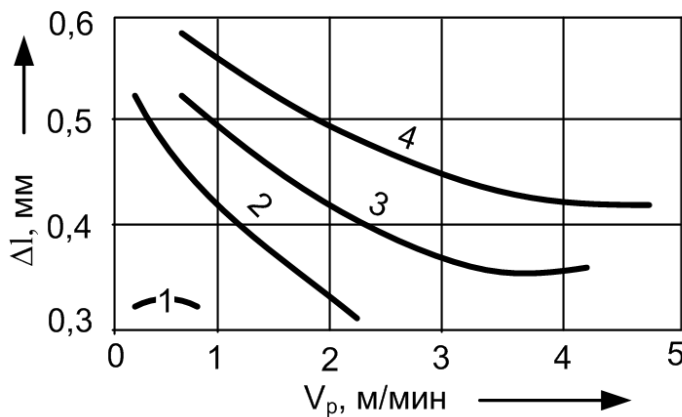


Рис.6. Влияние скорости резки на ширину реза в металлах: 1 – алюминий; 2 – титан; 3 – нержавеющая сталь; 4 – углеродистая сталь

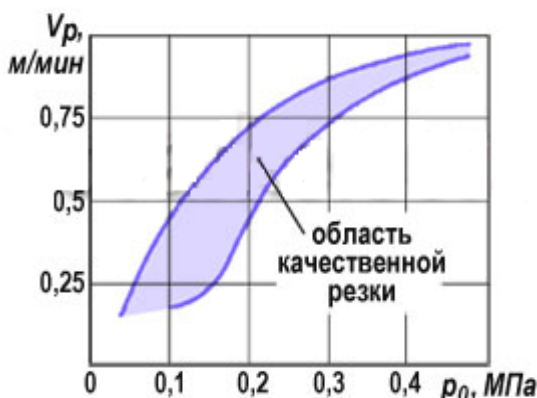


Рис. 7. Влияние скорости резки и избыточного давления кислорода на размеры области качественной резки углеродистых сталей толщиной 3 мм при мощности излучения 0,45 кВт

При этом следует иметь в виду, что качество реза различно для различных зон по толщине металла: наилучшее качество характерно для верхних слоев разрезанного металла, а наихудшее – для нижних. В целом же качество реза определяется шероховатостью его поверхности [3]. На рис. 7 показана область качественной резки для углеродистых сталей в зависимости от скорости резания и избыточного давления наддува.

Более детальное представление о влиянии избыточного давления и скорости резания на шероховатость поверхности реза даёт рис. 8, показывающий, что высокая скорость резания даже при небольшом избыточном давлении кислорода может обеспечить высокое качество поверхности.

При рассмотрении возможности использования лазерной резки в процессах непрерывного профилирования следует рассмотреть вопросы согласования скорости резки и скорости движения готового профиля.

При минимальной производительности профилировочного станка 10 м/мин, на котором изготавливается профиль (например, с максимальным размером поперечного сечения 100 мм), скорость резания должна составлять около 2 м/мин. Такое значение получается из ограничения хода каретки с лазерной головкой, который не должен превышать 0,5 м.

В противном случае технологические возможности отрезного блока существенно ограничиваются; увеличиваются его габаритные размеры, что ведёт к повышению стоимости конструкции в целом. Однако малый пробег каретки

вызывает необходимость больших ускорений в начальный и конечный моменты очередного такта резки, что приближает ситуацию к ударным воздействиям. Поэтому лазерные головки должны быть весьма устойчивы к ударным воздействиям в процессе их работы.

Особым способом резки является гидравлическая резка, которая обладает, возможно, меньшей пригодностью для резки движущегося профиля, хотя и обладает некоторыми преимуществами, например, лучшей возможностью согласования скорости движения профиля со скоростью реза. В то же время конструктивная реализация таких устройств ставит под сомнение их эффективную применимость в процессах непрерывного профилирования. Возможной областью применения таких устройств может быть резка в стационарных условиях широких панелей под металлические гофрированные трубы, которая может осуществляться в режиме резки одиночной панели или в пакетном режиме.

При гидравлической (водоструйной) резке разрушение материала происходит под действием тонкой высокоскоростной струи воды. Ее скорость может превышать скорость звука в несколько раз. При гидроабразивной резке в струю воды добавляются частицы абразива (высокопрочного материала, применяющегося для обработки изделий), что увеличивает ее разрушающую силу (рис. 9).

Каждая из рассмотренных выше технологий резки имеет свои преимущества, недостатки и оптимальную область применения. В табл. 3 приведены сравнительные характеристики лазерной резки по отношению к другим рассматриваемым способам резки материалов в отношении технико-экономических показателей и целесообразной сферы их использования. Даже качественное соотношение показателей даёт представление о целесообразности их использования в профилировании.

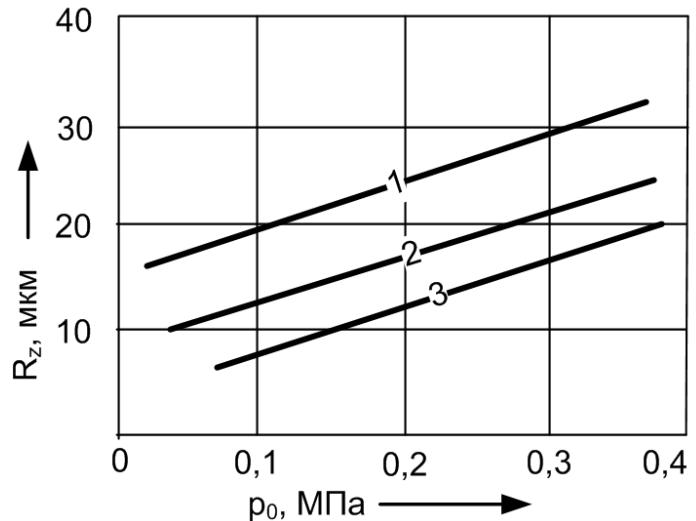


Рис. 8. Зависимость шероховатости поверхности реза углеродистой стали от избыточного давления кислорода при различных скоростях газолазерной резки: 1, 2, 3 – 1; 2 и 3 м/мин соответственно

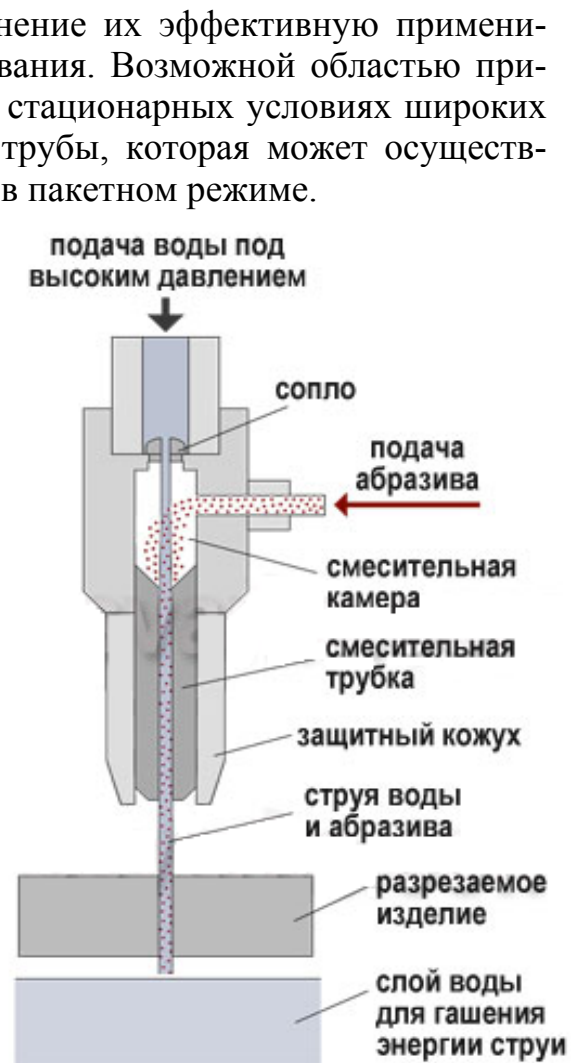


Рис. 9 Схема водоструйной резки

Таблица 3

Сравнительные характеристики лазерной резки с кислородной, плазменной и гидроабразивной резкой

Наименование	Характеристика лазерной резки по отношению к		
	<i>кислородной</i>	<i>плазменной</i>	<i>гидроабразивной</i>
Типичная ширина реза (мм)	существенно меньше (иногда на порядок)		
Качество	сильно превосходит	превосходит	уступает
Зона термического влияния	меньше	меньше	больше
Ограничение по максимальной толщине металла	очень сильно уступает	значительно уступает по цветным металлам, уступает по остальным металлам	значительно уступает
Производительность резки тонкой стали (до 6 мм, без пакетной резки)	превосходит	сопоставимая	сильно превосходит
Стоимость оборудования	гораздо выше	выше	сопоставимая
Стоимость обслуживания	выше	сопоставимая	сопоставимая

Обобщающие характеристики различных видов резки и области их применения указаны в табл.4.

Таблица 4

Область применения и характеристики различных видов резки

Параметр	Вид резки			
	кислородная	плазменная	лазерная	гидроабразивная
Типичная область применения	металлы и их сплавы, кроме нержавеющей стали, алюминия, меди, латуни; бетон и железобетон, цветные металлы (кислородно-флюсовая резка)	металлы и другие электропроводные материалы (плазменно-дуговая резка); различные неэлектропроводные материалы (резка плазменной струей)	почти любые материалы	почти любые материалы
Характерная толщина металла (мм)	до 1500–2000 и больше	до 100–150 обычно до 50–100	до 40 обычно до 6–20	до 300

Типичная ширина реза (мм)	до 10	2–7	0,1–1	от 0,5–1
Производительность резки металла (без пакетной резки)	предварительный подогрев; медленная скорость с постепенным снижением на средних и больших толщинах	быстрый прожиг; очень высокая скорость при малых и средних толщинах обычно с резким снижением при увеличении толщины	очень высокая скорость при малых толщинах с заметным снижением при увеличении толщины	очень медленная скорость с постепенным снижением на больших толщинах
Зона термического влияния	большая	большая	средняя	минимальная
Стоимость оборудования	низкая	средняя	высокая	высокая
Стоимость обслуживания	низкая	высокая	высокая	высокая

Табл. 4 показывает, что применительно к профилированию только последние два способа резки могут считаться приемлемыми, а с точки зрения скорости резки и условий эксплуатации оборудования лазерная резка обладает рядом преимуществ. Поэтому дальнейшая задача состоит в определении условий и выборе подходящего лазерного оборудования для гибридизации систем профилирования заготовок и систем лазерной резки.

Библиографический список

1. Диомидов Б.Б., Литовченко Н.В. Технология прокатного производства. – М.: Металлургия, 1979. – 488 с.
2. Соловцов С.С. Безотходная резка сортового проката в штампах. – М.: Машиностроение, 1985. – 175с.
3. Глизмаченко Д.Л. Сварка и резка металлов. – М.: Металлургия, 1969. – 440 с.
4. Килов А.С., Килов К.А. Производство заготовок. Листовая штамповка. Книга 2. Получение заготовок из листового материала и гнутые профили. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 182с.



- Земскова Анастасия Николаевна, аспирантка кафедры «МиОМД» УлГТУ
- Кокорин Валерий Николаевич, д.т.н., проф., зав. каф. «МиОМД» УлГТУ
- Филимонов Вячеслав Иванович, д.т.н., профессор кафедры «МиОМД» УлГТУ



УДК 621.981

ПРОФИЛИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ**Филимонов С.В., Дементьев К.С., Айнуллов А.И., Филимонов А.В.**

Различают поштучное и непрерывное профилирование заготовок в роликах, превращающее плоскую ленту в гнутый профиль заданной формы. Наибольшее распространение получило непрерывное профилирование со скоростью движения заготовки от 10 м/мин до (теоретически) 200 м/мин, позволяющее получать длинномерные профили с малыми допусками сечений и хорошим качеством поверхности [1].

Преимущества процесса профилирования и производимой профильной продукции состоят в следующем: 1) стабильность процесса, ориентированного на серийное производство; 2) возможность формовки тонкостенных, полузакрытых и закрытых профилей; 3) энергосбережение и отсутствие необходимости нагрева; 4) высокая степень совмещения основных и вспомогательных процессов (перфорации, отрезки и др.), автоматизации производства; 5) возможность применения одного и того же технологического оснащения для обработки различных материалов; 6) незначительная зависимость от вида материала, возможность обработки биметаллов и одновременной обработки двух заготовок из одного и того же или различных материалов; 7) возможность изготовления деталей с заданной кривизной, саблевидностью и скруткой; 8) малые допуски форм и размеров поперечного сечения; 9) высокое качество поверхности деталей; 10) наличие упрочнения при формовке повышает несущую способность изготавливаемых деталей [2].

Применение гнутых профилей. Развитие профилировочного оборудования прошло путь от первых волочильных станков до современных профилировочных станков. Изначально заготовки протягивали через неподвижные фильеры, которые впоследствии стали заменять на холостые ролики. Первые профилировочные станки появились лишь в 1921 году и были ориентированы на изготовление профилей из штрипса, отрезаемого от листов металла. Лишь в 30-х – 40-х годах прошлого века они стали применяться для непрерывного профилирования ленты, получаемой в результате раскроя рулонного материала. В 40-х годах прошлого века профили применяли в качестве окантовок дверей автомобилей, радиаторных трубок, отделочных элементов, кровельного материала. В настоящее время гнутые профили широко применяются в различных отраслях (табл. 1)

Таблица 1

Применение гнутых профилей в народном хозяйстве [3]

Авиационная промышленность	Автомобилестроение	Водный/железнодорожный транспорт
Стрингеры, лонжероны, шпангоуты, стойки пола, рамные кон-	Элементы рам, кузовов, сидений, багажников, стеклоподъемников,	Ограждения палубных надстроек, трапы, поручни, несущие и декоратив-

струкции иллюмина- торов, раскосы креп- ления двигателя, об- рамление сотовых па- нелей, экраны, коль- цевые элементы, пе- редние кромки компо- зитных винтов верто- лётов, элементы от- делки салона	бамперы, пороги, мол- динги, силовые элемен- ты прицепов, декоратив- ные и несущие элементы внутренней отделки са- лона	ные элементы кают и кубриков, стойки и пане- ли железнодорожных ва- гонов, поручни, обрамле- ние полок, окон, дверей, направляющие дверей купе
Сельское хозяйство Днища контейнеров для хранения зерна, клетки для птицы, на- сесты, силовые и де- коративные элементы тракторов и фермер- ского инвентаря и оборудования, стойки и штaketник для огра- ждений, подпорки для виноградников	Дорожное строительство Дорожные знаки, ограж- дения дорог, металличе- ские гофрированные трубы больших диамет- ров для транспортных переходов, панели на- стила мостов и огражде- ния, элементы оборудо- вания подземных и над- земных переходов	Бытовые приборы Панели холодильников, газовых, электрических и микроволновых печей, стиральных машин и тор- говых автоматов, полки, лестницы, уплотнители дверей, ручки приборов и устройств, облицовка па- нелей приборов, направ- ляющие выдвижных ящиков и мусоросборни- ков
Строительство элементы кровли — гофролист, металлоче- репица, сайдинги, элементы мансардных конструкций, водосто- ков, факхверхов, об- рамлений дверей, ар- мирующих элементов оконных рам, перил, направляющие раз- движных дверей и окон, элементы эска- латоров, перегородок, элементов систем кон- диционирования воз- духа и воздуховодов	Отопление и вентиляция Кожухи обогревателей, декоративные решётки батарей, корпуса конди- ционеров, воздуховоды, корпуса воздушных фильтров, жалюзи, не- сущие элементы солнеч- ных батарей	Мебель и оборудование Домашняя мебель и вы- носная мебель, модуль- ные и раздвижные пере- городки, усиленные па- нели столов и верстаков, полки, передние панели и направляющие выдвиж- ных ящиков, элементы конструкции кухонных и книжных шкафов, осве- тительная арматура, об- рамления и декоративные элементы, витринные полки магазинов, элемен- ты холодильного обору- дования и устройств, складские системы су- пермаркетов

Используемые материалы. Для обработки в роликах профилировочных станков оказываются пригодными различные материалы [4]. Классы материалов, которые могут формоваться в роликах, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Классы материалов для формовки в роликах

Класс	Описание	Примечание
1.	Деформационные сплавы на основе алюминия	
2.	Латуни и бронзы	
3.	Би-металлы (Би-материалы)	
4.	Одновременная формовка двух материалов	Например, закатка толстостенной трубы из углеродистой стали в тонкостенную трубу из нержавеющей стали (сочетание прочности и привлекательного внешнего вида)
5.	Металлы с покрытием (плакированный, с гальваническим покрытием, чернением, металлизацией, окрашенный, ламинированный, лужёный)	
6.	Сплавы с покрытием	Для аэрокосмической, нефтехимической и оборонной промышленности
7.	Композиционные материалы	
8.	Меди и медные сплавы	
9.	Жаростойкие сплавы (Hastelloy, Inconel) и жаропрочные сплавы на основе никеля	
10.	Свинцово-магниево-цинковые сплавы	
11.	Никелевые сплавы и сплавы благородных металлов	
12.	Углеродистые и нержавеющие стали (горячей или холодной прокатки), высококачественные стали, алитированные стали	
13.	Сплавы на основе олова, титаново-цинковые сплавы	
14.	Экзотичные сплавы	Ниобий, тантал, цирконий

Следует отметить, что обработка высокопрочных, композиционных и экзотичных материалов часто требует включения дополнительных средств технологического воздействия на заготовку: нагрева, межклетевых проводок, особых схем формовки и т.д.

Допуски на гнутые профили. Размерные параметры гнутых профилей, выпускаемых конкретной компанией, в значительной степени зависят от назначения профиля, используемого материала и оборудования. В то же время до-

пуски на гнутые профили существенно зависят от свойств металла и размеров заготовки, качества инструмента, настройки станка и в некоторой степени от квалификации профилировщика. Назначение допусков зависит от условий сборки и работы профиля в конструкции, а сами допуски указывают на чертеже, который обычно является частью контрактной документации на поставку профильного полуфабриката или конечной детали. Поскольку назначение жёстких допусков связано обычно с повышением цены профиля, то в конструкциях, не требующих особых условий сборки, профили могут иметь допуски, принятые для коммерческой профильной продукции обычного качества. В особых случаях изготовителю следует предварительно обсудить вопросы допусков и применяемых материалов с заказчиком с целью выработки приемлемых контрактных условий в отношении цены профилей. Ниже приводятся примерные допуски на коммерческие профили, доступные на торговых базах и в магазинах США [5]:

Таблица 3

Допуски на коммерческие профили в США

Параметр	Единица измерения допуска	Значение допуска
Поперечное сечение		
Линейные размеры	мм (дюйм)	$\pm 0,2 (\pm 0,010)$
Угловые размеры	градус	± 1
Прямолинейность		$\pm 0,015$
Прогиб / саблевидность	дюйм/фут	
Скрутка	градус/фут	0,5
Длина (L)		
($L < 1$ м)	мм (дюйм)	$\pm 0,4 (\pm 0,015)$
($1 \text{ м} < L < 2,5$ м)	мм (дюйм)	$\pm 0,8 (\pm 0,030)$
($2,5 \text{ м} < L < 3,6$ м)	мм (дюйм)	$\pm 1,5 (\pm 0,060)$
($L > 3,6$ м)	мм (дюйм)	$\pm 6,0 (\pm 0,250)$

Тенденции в развитии технологий профилирования. Развитие технологий профилирования осуществляется по ряду направлений, включая интенсификацию формообразования за счёт применения методов стеснённого изгиба и интенсивного деформирования [6].

Автоматизированное проектирование роликовой оснастки призвано для построения так называемой «розеточной» диаграммы, показывающей на раннем этапе проектирования движение материала [7]. На основе розеточной диаграммы дальнейшее проектирование идёт по пути проектирования роликовых калибров и самих роликов. Существующие системы проектирования позволяют выполнять полный цикл проектирования оснастки лишь для достаточно простых конфигураций профилей. Как только число переходов и розеточная диаграмма для данного профиля установлены, переход к изготовлению оснастки на станках с ЧПУ не представляет значительной трудности [8, 9].

Контроллеры с программируемой логикой и микропроцессоры в настоящее время широко применяются для управления автоматическими линиями

профилирования. Это обеспечивает более высокую точность позиционирования отверстий при перфорации и отрезку профиля. Контроллер или система текущего контроля процесса профилирования может отслеживать критические условия формообразования на нескольких линиях [10].

Успехи в развитии **технологий сварки** существенно расширили технологические возможности профилирования. Ранее для профилей закрытого типа применялось фальцевое соединение, существенно осложнявшее технологию. Контактная или индукционная сварка успешно применяется в настоящее время для соединения кромок профиля. Много лет уже применяется лазерная сварка, однако из-за ограниченных технологических возможностей и высокой стоимости она используется преимущественно для сварки лёгких алюминиевых профилей. Применение более мощных и дешёвых лазеров нового поколения позволяет выполнять сварку алюминия, нержавеющей стали, высокопрочных и оцинкованных сталей до 3,0 мм толщиной в зависимости от допускаемой глубины проникновения сварки и скорости профилирования. Лазеры имеют преимущества перед дуговой, высокочастотной и другими видами сварки. В каждом случае требуется глубокий технологический анализ для обеспечения оптимальных технико-экономических показателей процесса [11].

Совершенствование технологической оснастки осуществляется путём: 1) снижения степени сродства материала роликов и заготовки; 2) применения высокопрочных и износостойких материалов; 3) использования различных упрочняющих технологий; 4) совершенствования конструкции роликов (со сменными износостойкими элементами, вращающимися холостыми элементами и т.п.) [12].

Новые подходы к **сокращению сроков переналадки** дают возможность периодической поставки профилей малыми партиями в рамках ЛП-технологии. Эти задачи решаются дублированием формирующих клеток (для автономного монтажа и настройки роликов в клетки) или применением номенклатурно-ориентированных профилегибочных линий с автоматической (с помощью сервомоторов) или ручной переналадкой путём аксиального смещения рабочих элементов клетки и перестройкой её дополнительных устройств и межклетевых проводок [13, 14].

Перфорированные профили получают профилированием перфорированной ленты или же пробивкой уже готового цельного профиля [15]. Обычно в линию профилирования встраиваются пробивные прессы и перфорирующие (преимущественно пневматические) устройства. В ряде случаев применяется перфорация в роликах. Отверстия на открытых плоских участках профиля обычно выполняют после его формовки. Это позволяет осуществлять безотходное производство профиля за счёт точного расположения мест отрезки по отношению к отверстиям.

Вообще, перфорация и отрезка в настоящее время являются операциями, которые осуществляются в качестве стандартных на автоматических линиях производства гнутых профилей. По спецификации заказчика могут выполняться и **дополнительные операции**: сварка концов ленты, продольная сварка кромок профиля, зачистка кромок или сварочных швов, отделочные операции,

протирка и очистка, полирование. В ряде случаев на стенки профиля могут наноситься углубления или выступы, надрезы или надрезы с частичной вытяжкой, а также выполняться термическая обработка профилей [16].

Наблюдается тенденция к совершенствованию технологий производства профилей с *заданной продольной кривизной*, а также соответствующего оборудования, встраиваемого в автоматические и автоматизированные линии производства профильной продукции [17 – 19].

Совершенствуется *основное и вспомогательное оборудование* для производства гнутых профилей, а также расширяется его номенклатура. При производстве профилей из ленты толщиной более 2 мм автоматические линии могут включать кромкообрезные машины, наматыватели боковых отходов, отгибатели и крошители кромок, лентоправильные машины, системы накопителей ленты, петлеобразователи с контроллерами, сварочное оборудование и т.д. [20].

Таким образом, развитие оборудования и технологий профилирования является перманентным процессом, повышающим долю профильной продукции в мировом потреблении листового металла.

Библиографический список

1. Филимонов А.В., Филимонов С.В. Изготовление полузакрытых гнутых профилей в роликах методом интенсивного деформирования. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 206 с.
2. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Метод, расчёты и технология интенсивного деформирования в роликах гнутых профилей типовой номенклатуры. - Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 246 с.
3. Сортамент холодногнуемых профилей из оцинкованной стали для строительства. – М.: НАПСГП, 2002. – 150 с.
4. Niebel, B. W. Modern manufacturing process engineering / B. W. Niebel, A. B. Draper, R. A. Wysk. – New York: McGraw–Hill Publishing Company, 1989. – P. 986.
5. Gupta T., Ghosh B.K. A survey of expert systems in manufacturing and process planting // Computers in industry, 1988, v. 11. – P. 195 – 204.
6. Филимонов С.В., Филимонов В.И. Интенсивное формообразование гнутых профилей. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 444 с.
7. Yang, S. Concurrent design of sheet metal forming product and process / S. Yang, K. Nezu // Trans. ASME: J. Manuf. Sci. And Eng., 1999. – 121, № 2. – P. 189 –194.
8. Nitin Duggal Process simulation of roll forming and roll pass design / DMS thesis. – Ohio State University, 1995. – 139 p.
9. Hellborg S. Finite element simulation of roll forming / Master thesis. – Linköping: Linköping university, 2007. – 81 p.
10. Moller, V. Den Umformprozess am PC effizient simulieren / Verner Moller // Industrie Anzeiger, 1996. – v. 118, № 46. – S. 26.
11. Chatty S. Production of profiles for lightweight structures. – Michigan: McGraw-Hill Books, 1989. – 268 p.

12. Серавкин, А. COPRA Rollform – проектирование роликовой оснастки и оптимизация холодного проката профилей, труб и профнастилов. Часть 1. Открытие и асимметричные сечения / А. Серавкин. – САПР и графика, 2004. - № 1. С. 33 – 37.
13. Roll forming handbook / Ed. By G.T. Halmos. – Boca Raton: CRC Press, 2006. – 583 p.
14. Cubberly W.H., Bakerjian R. Tool and manufacturing engineers handbook. – Michigan: SME desk edition, 1989. – 1250 p.
15. Гудков И.Н., Филимонов В.И. Формообразование перфорированных профилей в роликах. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 117 с.
16. Trichett A. In for the long-haul / A. Trichett // Metal Bulletin Monthly. – 2000. – January. – P. 26 – 27.
17. Schroder Servo Power Bend: Catalogue. – Wessobrunn-Forst: HS Maschinenbau GmbH, 2004. – 8 S.
18. Электронный ресурс 2012 года: Section bending machines. Режим доступа: www.haeusler.ch. – 12 p.
19. Электронный ресурс 2012 года: Section bending machines. Режим доступа: www.roundo.com. – 12 p.
20. Лапин В.В., Филимонов В.И. Конструкции и изготовление профилегибочного оборудования. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 239 с.



- **Филимонов Сергей Вячеславович, к.т.н.,**
генеральный директор ООО «Спецтехнология» (г. Ульяновск)
- **Дементьев Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ**
- **Айнуллов Альберт Ирфанович, аспирант кафедры «МиОМД» УлГТУ**
- **Филимонов Андрей Вячеславович, к.т.н.,**
главный инженер ОАО «Новые промышленные технологии» (г. Нижний Новгород)



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в сборнике статьи дают представление об уровне исследований и их направленности. Следует отметить, что в последнее десятилетие выполнен цикл исследований и разработок в рамках метода интенсивного деформирования:

- классификация гнутых профилей и их дефектов в пределах определённых типов профилей (угловых, зетовых, корытных, С-образных, полузакрытых, закрытых и других);
- исследование условий потери устойчивости элементов профиля;
- исследование схем формообразования, выбора базового элемента и оси профилирования и числа переходов;
- применение межклетевых проводок;
- исследование процессов перфорации и формообразование перфорированных заготовок;
- исследование формовки многоэлементных полузакрытых и закрытых профилей;
- исследование формовки профилей с продольной кривизной, в том числе для авиационных конструкций;
- разработка основного профилировочного и вспомогательного оборудования.

С некоторыми результатами работ по указанным направлениям читатель мог ознакомиться в настоящем сборнике и сборнике 2011 г.

В 2010 году научной школе «Интенсивное формообразование гнутых профилей методом интенсивного формообразования», объединяющей сотрудников Ульяновского государственного технического университета, ОАО «Ульяновский НИАТ», ООО «Спецтехнология», НПО «ИДМ», был присвоен статус ведущей научной школы Ульяновской области по результатам областного конкурса в области технических наук.

В рамках научной школы защищены 2 докторских и 8 кандидатских диссертаций. Исследования ведут 9 аспирантов и соискателей степени к.т.н. и 3 соискателя степени д.т.н.

Оборудование и технологии интенсивного формообразования внедрены на сотнях промышленных предприятий Российской Федерации. Ежегодно на отечественный рынок поставляется до 300 технологий и более сотни единиц оборудования.

Научное электронное издание

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ:
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. (2012 г.)**

Сборник научных трудов

Технический редактор В.Н. Кокорин

Редактор М.В. Теленкова

Усл. печ. л. 9,33.

Объем данных 10,7 Мб. ЭИ № 47.

Печатное издание

ЛР №020640 от 22.10.97

Подписано в печать 26.12.2012. Формат 60 × 84/16.

Усл. печ. л. 9,33. Тираж 50 экз. Заказ 89.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32

Ульяновский государственный технический университет

432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, 32.

Тел.: (8422) 778-113.

Е-mail: venec@ulstu.ru

<http://www.venec.ulstu.ru>