

УДК 621.774.37

Данченко В.Н., Бояркин В.В., Дыя Х.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ТРУБ ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Обоснованы и предложены усовершенствованная технология прокатки и методики расчета параметров профилирования холодной прокаткой в четырехвалковых калибрах, что обеспечивает повышение точности профильных труб и ресурсосбережение.

Обґрунтовано та запропоновано удосконалену технологію прокатки і методики розрахунку параметрів профілювання холодною прокаткою в чотирьохвалкових калібрах, що забезпечує підвищення точності профільних труб і ресурсозбереження.

Improvement of the technology and methods of calculation of parameters of shaping in four-roll calibres have been offered and is proved. It provides increase of accuracy of shaped pipes and resources saving.

### Введение

В настоящее время возрастает потребность в профильных трубах высокой точности прямоугольного сечения с соотношением сторон преимущественно от 1 до 1,5 из углеродистых сталей и алюминиевых сплавов. Такие трубы изготавливают преимущественно холодным профилированием, в том числе в линии трубоэлектросварочных агрегатов (ТЭСА). Предварительный анализ показал, что в мировой практике для получения таких труб используются ТЭСА с многоклетевыми профилирующими группами (4–5 клетей) с четырехвалковыми калибрами (ЧВК), где вертикальные валки являются неприводными.

**Проблема.** Однако в Украине часть действующих ТЭСА оснащены многоклетевыми профилирующими группами с двухвалковым калибром. Практика показывает, что на таких станах невозможно получать профили с высокой точностью размеров поперечного сечения. На станах, оснащенных клетями с ЧВК, технология продолжает оставаться недостаточно рациональной. В частности, число проходов, размеры и форма калибров при прокатке конкретного профиля определяются с помощью многочисленных опытных прокаток.

**Анализ исследований.** Несмотря на проведенные исследования [1], для уменьшения прогиба сторон профиля стараются использовать завышенное число проходов, что негативно влияет на технико-экономические показатели процесса. В работе [2] представлена однопроходная схема получения прямоугольных труб проталкиванием через неприводную клетку с ЧВК. Недостатками такой схемы являются:

необходимость достаточного подпора со стороны формирующей группы ТЭСА, что делает невозможным широкое распространение такого способа (например, для получения труб малых сечений); использование дополнительных операций при получении труб с малыми радиусами закруглений углов; опасность продольного искривления готовой трубы, что вызывает необходимость дополнительной правки.

**Неисследованные вопросы.** Современные решения в области холодного профилирования описаны в работе [3] и др. Видно, что при производстве квадратных и близких к квадратным труб с применением клетей с ЧВК используют минимум три прохода, причем, в большинстве случаев, в первых двух используют фасонные однорадиусные калибры. Такой подход представляется оптимальным с точки зрения предупреждения чрезмерной вогнутости граней выходящего профиля. Достаточное теоретическое обоснование формы, размеров калибров и других технологических факторов при этом отсутствует.

**Цель.** Исходя из вышесказанного, для удовлетворения отечественной и экспортной потребности в прямоугольных (с отношением сторон от 1 до 1,5) профильных трубах с высокой точностью размеров поперечного сечения, соответствующей мировым стандартам и ГОСТ 13663–86 повышенной точности, а также минимальной продольной кривизной необходима разработка теоретически обоснованной схемы производства. Схема может быть реализована в линии ТЭСА и в линии специализированных профильных станов.

**Результаты исследований.** Предлагаемая схема профилирования (рис.1) предполагает использование минимального числа клетей с ЧВК (двух), причем валки чистовой клетки имеют гладкую бочку. В случае реализации такой схемы на отдельно стоящем стане рекомендуется установка задающей клетки дуо для обеспечения гарантированного захвата. Уменьшение числа проходов позволяет использовать освободившиеся клетки для обеспечения прямолинейности готовой трубы без дополнительной правки. Снижается, а в ряде случаев исключается, необходимость применения турголовков.

Как видно из рис. 1, валками с фасонными однорадиусными ручьями оснащена только одна клеть. Такой подход, в случае рациональных размеров калибра, не отразится на качестве готовой трубы [1]. Для разработки калибровки инструмента применялся пакет конечноэлементных программ FORGE2 компании Transvalor [4]. Расчет течения металла и полей напряжений, степени деформации, деформаций и температур проводится на основе вязкопластической модели деформируемого тела. Деформация по клетям распределялась в процентном соотношении 75/25. Целью было получение готовой прямо-

угольной трубы с соотношением сторон 1 и 1,3 и с минимально возможными радиусами закругления в углах [5]. Для определения параметров фасонного калибра проведена серия численных расчетов. При этом в качестве базовых принимались следующие технологические параметры: материал заготовки – Сталь 20 и сплав AlMgSi0,6, который по химическому составу и свойствам близок к сплаву АД31, широко используемому при производстве труб и профилей; начальная температура материала, инструмента и окружающей среды – 20°C; коэффициент трения – 0,2; скорость инструмента – 20 мм/с, что соответствует скорости прокатки 5 м/с. Значением отношения диаметра  $D$  к толщине стенки  $S$  заготовки варьировали от 18 до 45. Задача решалась при следующих допущениях: деформированное состояние – плоское, процесс неизотермический, инструмент является недеформируемым. Напряжение текучести является функцией степени и скорости деформации, а также температуры. Из-за симметрии профиля производился расчет по четверти поперечного сечения.

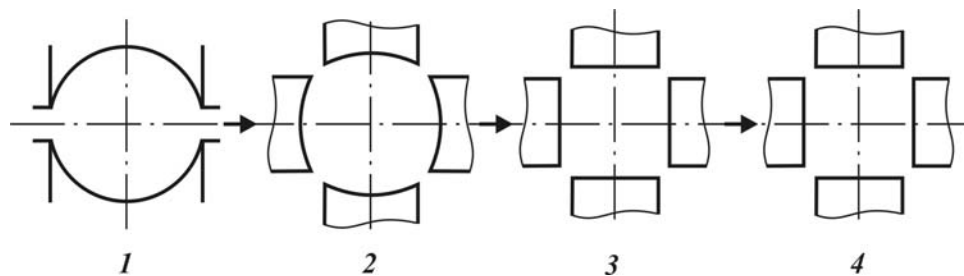


Рисунок 1 – Предлагаемая схема профилирования труб: 1 – задающая клеть дуо (используется в случае отдельностоящего стана); 2 – клеть с четырехвалковым калибром с валками, имеющими фасонные ручки; 3 – клеть с четырехвалковым калибром с валками, имеющими гладкую бочку; 4 – отделочная неприводная клеть с четырехвалковым калибром

По полученным данным были построены зависимости параметров калибра и заготовки. После обработки программой Microsoft Excel97 полученных данных были определены следующие зависимости:

$$\text{для алюминиевых сплавов} \quad H_1 = A \times (0,012 \times D/S + 1,0368), \quad R^2 = 0,9911, \\ R_1 = R_3 / (0,0083 \times D/S + 0,1692), \quad R^2 = 0,9836;$$

$$\text{для углеродистых сталей} \quad H_1 = A \times (0,011 \times D/S + 1,0377), \quad R^2 = 0,9904, \\ R_1 = R_3 / (0,0082 \times D/S + 0,1125), \quad R^2 = 0,9753;$$

где  $H_1$  – высота калибра клетки №2 по дну ручья,  $A$  – сторона готовой профильной трубы,  $D$  – наружный диаметр заготовки,  $S$  – толщина стенки заготовки,  $R_1$  – радиус ручья валка клетки №2,  $R_3$  – радиус заготовки,  $R^2$  – величина достоверности аппроксимации.

По приведенным соотношениям возможно определение параметров калибра при производстве квадратных труб (высота и ширина калибра равны). Анализ результатов моделирования показал, что по предлагаемой схеме возможно устойчивое обеспечение качества труб в диапазоне отношений сторон от 1 до 1,3.

Расчет параметров калибра для прямоугольных труб с отношением сторон  $A/B=1,3$  рекомендуется производить по следующим зависимостям:

для алюминиевых сплавов	$H_1 = B \times (0,012 \times D/S + 1,0368),$
	$B_1 = A \times (0,012 \times D/S + 1,0368),$
	$R_{1Г} = R_3 / (0,0083 \times D/S + 0,1692),$
	$R_{1В} = 0,94 \times R_3 / (0,0083 \times D/S + 0,1692),$
для углеродистых сталей	$H_1 = B \times (0,011 \times D/S + 1,0377),$
	$B_1 = A \times (0,011 \times D/S + 1,0377),$
	$R_{1Г} = R_3 / (0,0082 \times D/S + 0,1125),$
	$R_{1В} = 0,94 \times R_3 / (0,0082 \times D/S + 0,1125),$

где  $H_1$  – высота калибра клетки №2,  $B_1$  – ширина калибра клетки №2,  $R_{1Г}$  – радиус ручья горизонтального приводного вала клетки №2,  $R_{1В}$  – радиус ручья вертикального неприводного вала клетки №2.

Следует отметить, что при производстве прямоугольного профиля большая сторона  $A$  расположена в калибре горизонтально.

Размер  $D$  заготовки определяется при минимально возможном радиусе закругления в углах, из следующих полученных соотношений:

для алюминиевых сплавов	$D/A = 0,0017 \times D/S + 1,2009,$
для углеродистых сталей	$D/A = 0,0012 \times D/S + 1,2064.$

Для получения этих зависимостей проводилась отдельная серия численных расчетов, в которых заготовка обжималась до момента появления складок на внутренней поверхности угловых участков труб [6]. При исследованиях использовалось допущение, что все изменения периметра идет в утолщение стенки в углах труб. Для того, чтобы иметь возможность получать квадратные и прямоугольные трубы с радиусом закругления углов более минимального допустимого, предполагается уменьшать диаметр заготовки, как это показано в работе [6]. Ширина ручья и диаметры валков рассчитываются по методике, приведенной в работе [7], используя полученные величины радиусов ручьев, высоты и ширины калибра.

Разработанная схема использована в условиях Государственного предприятия “Научно-производственный центр “Электротермия” Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины на трубоэлектросварочном стане типа 20-76 при производстве профильных труб с размерами сторон  $25 \times 25$  мм и  $30 \times 25$  мм в диапазоне толщин стенок от 1 до 1,5 мм из углеродистой стали при  $R_n/S=1$  ( $R_n$  – наружный

радиус закругления углов профиля). Использование разработанной схемы профилирования позволяет получать трубы согласно DIN 2395/2 и трубы повышенной точности по ГОСТ 13663–86, уменьшить в 2–2,5 раза расход валков и сократить время на перевалку и настройку клетей.

### Выводы

1. Применение современных методов математического моделирования, в частности метода конечных элементов, позволяет разрабатывать методики расчета технологических параметров процесса холодного профилирования.

2. Разработана и опробована в промышленных условиях новая схема производства квадратных и прямоугольных труб холодной прокаткой в клетях с четырехвалковым калибром, позволяющая получать профильные трубы высокой точности на уровне мировых стандартов.

3. Данная схема производства может быть использована как при разработке нового оборудования, так и при модернизации существующих ТЭСА и специализированных профильных станов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пинчук В.М. Исследование формоизменения и разработка эффективных технологических схем изготовления прямошовных профильных труб высокой точности в линии трубоэлектросварочного агрегата: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.16.05 / ДМетИ. - Днепропетровск, 1987. - 17 с.
2. Новая технология производства профильных труб высокой точности в линии трубоэлектросварочного агрегата / Калинушкин П.Н., Фурманов В.Б., Пинчук В.М., Шлосберг Л.М. // Прогрессивные технологии и оборудование для трубного производства: Сб. науч. тр. ВНИТИ. - М.: Металлургия, 1987. - С. 66-69.
3. Нехаев Н.Е., Илюкович Б.М., Алексеев А.Ю., Нехаев К.Н. Технологии производства профильных труб. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. зб. наук. пр. ДДМА. - Краматорськ. - 2003. - С. 87-92.
4. Бояркин В.В., Дья Х., Данченко В.Н. Применение математического моделирования для анализа процесса холодного профилирования квадратных и прямоугольных труб в четырехвалковых калибрах // Теория и практика металлургии. - 2004. - №5. - С. 46-48.
5. Бояркин В.В., Данченко В.Н., Стефаник А. Определение минимального допустимого радиуса закругления в углах квадратных и прямоугольных труб // Металл и литье Украины. - 2004. - №6. - С. 36-38.
6. Бояркин В.В., Никулин Э.В. Влияние диаметра заготовки на параметры профилирования квадратных и прямоугольных труб // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. зб. наук. пр. ДДМА.- Краматорськ. - 2003. - С. 207-209.
7. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. - М.: Интернет Инжиниринг, 2003. - 222 с.