

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ

Классическими способами холодной деформации являются волочение через стационарные волокни и холодная валковая и роликовая прокатка. Комбинацией этих способов обеспечивается довольно широкий сортамент холоднодеформированных труб и высокое их качество. Однако классические способы имеют ряд общеизвестных недостатков: при волочении велика вероятность образования рисок, а холодная прокатка отличается высокой энергоемкостью, малой производительностью, сложностью настройки станов и изготовления инструмента. Поэтому актуальной является задача разработки и исследования новых или комбинированных способов холодной деформации.

Методом конечных элементов исследовано исправление исходной эксцентричной разностенности в процессе роликового волочения труб через две последовательно установленные волокни [1] (рис. 1). Так как поперечная разностенность на 70–80 % определяется эксцентричной составляющей [2], для теоретического анализа исходную разностенность представляли в виде

$$S_{\theta} = S_{cp} - E \cos \theta, (1)$$

где $S_{cp} = (R_0 - r_0)$ – средняя толщина стенки; R_0 и r_0 – соответственно, наружный и внутренний радиусы поперечного сечения заготовки, причем r_0 смещен на величину эксцентриситета E ; $\theta = 0-2\pi$ (нулевое значение соответствует минимальной толщине стенки).

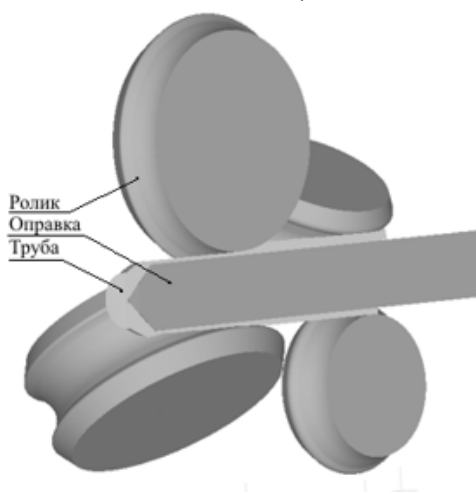


Рис. 1. Расчетная схема роликового волочения труб

В результате обработки данных вычислительного эксперимента получена регрессионная зависимость конечной разностности:

$$\delta_K = 2,36 + 3,13\mu - 501,07K_p + 13260,44K_p^2 + 5,44K_p\delta_0 - 2125,90K_p\psi + 23,84\mu\psi + 39,16\psi, \quad (2)$$

где μ – коэффициент вытяжки; K_p – коэффициент развалки калибра; δ_0 – исходная эксцентричная разностность; ψ – коэффициент трения по Зибелю.

Оптимальный коэффициент развалки, обеспечивающий минимальную разностность, найден из (2) по условию $\partial\delta_K/\partial K_p = 0$:

$$K_p = \frac{2125,90\psi - 5,44\delta_0 + 501,07}{26520,88}. \quad (3)$$

Анализ показал, что для исправления исходной разностности δ_0 в процессе роликового волочения трубы должны подбираться условия, обеспечивающие минимальные коэффициент трения $\psi = 0,1$ и коэффициент вытяжки $\mu = 2$. На основе известных коэффициента трения ψ и исходной разностности δ_0 делается выбор оптимального коэффициента развалки калибра по формуле (3). Результатом является возможность получения труб с разностностью от 9 до 12 % при исходной разностности до 30 %. По результатам исследования подготовлены технологические рекомендации для изготовления тонкостенных нержавеющей труб.

Одним из новых способов получения тонкостенных трубок из труднодеформируемых сплавов является периодическое волочение [3], для которого характерна порционная деформация трубы за счет возвратно-поступательного движения оправки. Методом конечных элементов получено условие для волочения труб без продольной разностности:

$$v * \frac{v\ell_k}{\mu_\Sigma \left(1 - \frac{1}{2\pi} \arccos \left(1 - 2 \frac{\ell_k}{\ell_0} \right) \right)}, \quad (4)$$

где v – частота возвратно-поступательного движения оправки, 1/с; ℓ_k – путь оправки при калибровке стенки (длина калибрующего пояса волюки); $\ell_0 = 2R$ – полный ход оправки (амплитуда); μ_Σ – коэффициент вытяжки.

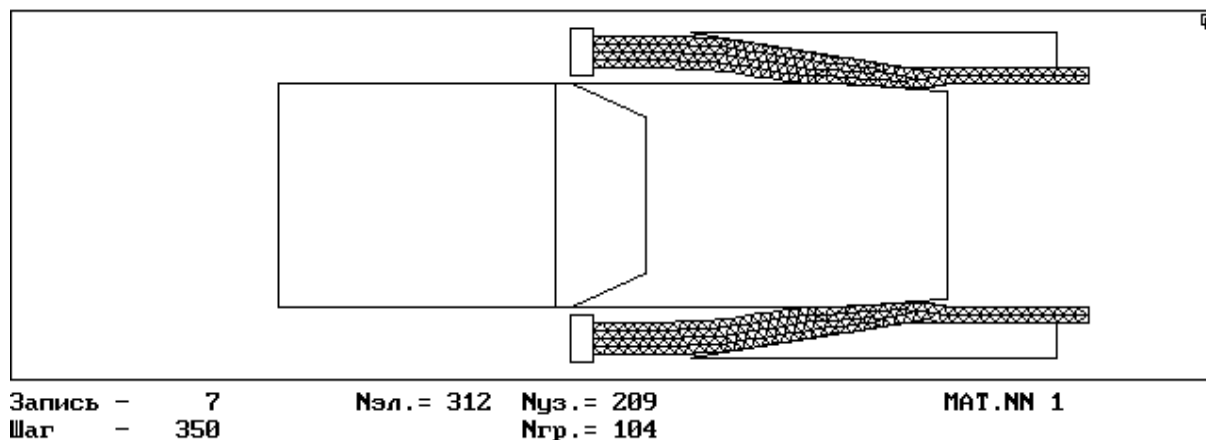


Рис 2. Расчетная схема периодического волочения

Предложенный способ опробован при получении опытно-промышленных партий труб размерами 16–20 x 0,25–1,0 мм из медных сплавов, а также молибденовых труб размерами 12–18 x 0,5–1,5 мм из горячепрессованной заготовки 26 x 2,5 мм.

Для исправления разностенности вида (1) в традиционных способах прокатки и волочения необходимо обеспечить неравномерную схему обжатий в поперечном сечении, которая может быть представлена в виде:

$$v^* = a_1 + a_2 \sin(\theta/2 + \theta_0), \quad (5)$$

где константы a_1 , a_2 и θ_0 , соответственно, характеризуют минимальную и максимальную скорость обжатия и угол ориентировки эпюры обжатий относительно главной оси разностенности, соединяющей максимальную и минимальную толщину стенки.

Неизвестные параметры функции (5) находили из решения вариационных задач теории ОМД с использованием принципа виртуальных скоростей. Показано, что неравномерная схема обжатий может быть реализована путем применения инструмента некруглого поперечного сечения с последующим деформированием в круглом калибре. Параметры профилировки находятся из выражения

$$\zeta = \frac{0,343}{N_{gp}} \delta_0^{0,978} \delta_k^{-0,866}, \quad (6)$$

где ζ – отношение площади внутренних утолщений к площади сечения исходной заготовки; δ_0 , δ_k – соответственно, исходная и конечная (требуемая) относительная разностенность в долях единицы; N_{gp} – количество граней профиля.

По формуле (6) определяют оптимальные параметры профилировки для обеспечения требуемого уровня разностенности δ_k . Промежуточное профилирование реализовано путем применения профильных оправок при прокатке на станах ХПТ и ХПТР [4], прессовании и волочении медных и латунных труб. Для профилирования на стадии прессования использовали трехгранную иглу, а на стадии волочения – профильную самоустанавливающуюся оправку [5].

При прокатке на станах ХПТ предложена усовершенствованная калибровка для уменьшения продольной разностенности, образующейся в конце обжимного участка. Математически задача расчета калибровки сводится к построению кривых (уравнений) образующих калибра $D(x)$ и оправки $d(x)$ на обжимном участке длиной l , удовлетворяющих граничным условиям и некоторым критериям. При этом сечение трубы считается идеально круглым, не зависящим от угловой координаты. Граничные условия обеспечивают прокатку труб нужного размера: $D(0) = D_0$; $D(l) = d(l) + 2S_0 + \Delta$; $D(l) = D_T$; $d(l) = D_T - 2S_T$, где D_0 , S_0 , D_T , S_T – исходные и конечные размеры трубы; Δ – зазор для ввода оправки. Кривые образующих калибра и оправки согласованы следующим образом: $D(x) = d(x) + 2S(x)$; $D'(l) = d'(l)$, где штрихом обозначена производная функции. Последнее условие обеспечивает уменьшение продольной разностенности труб.

Исходной посылкой для определения функции $S(x)$ и расчета профиля ручья калибров является задание режима истинных относительных обжатий $f(x) = \Delta S_i / S_i$. Для предотвращения образования продольной разностенности эта функция должна удовлетворять условию

$$l_x^{**} f(x) = 0.$$

Анализ известных методик расчета калибровок показал, что последнее условие часто не выполняется (рис. 3), поэтому предложено

режим обжатий задавать в виде $f(x) = B \times \left(\frac{x}{l} - 1 \right) \times e^{\frac{Ax}{l}}$, где коэффициенты A и B определяются из граничного условия.

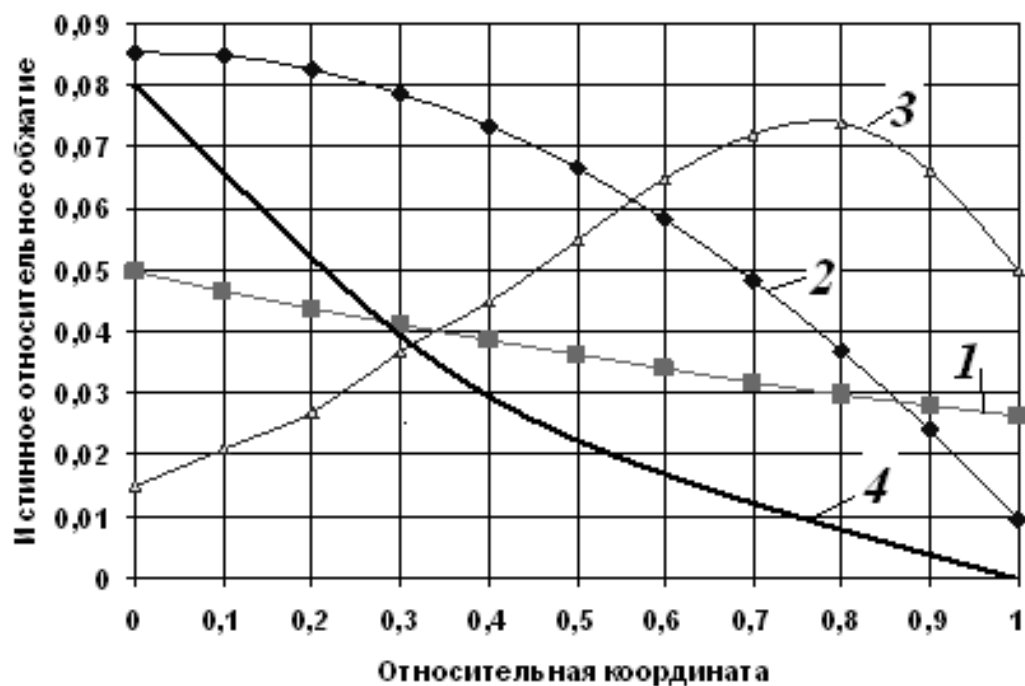


Рис. 3. Распределение истинных относительных обжатий для различных методик: 1 – МИСиС; 2 – НИТИ-НТЗ; 3 – УралНИТИ; 4 – по формуле

Коэффициент A варьировали и нашли из условия минимальной нагрузки на предкалибрующем участке для обеспечения минимальной продольной разностенности труб.

Список использованных источников

1. Орлов Г.А., Ваганов Е.Н. Моделирование изменения разностенности труб при проталкивании через неприводные ролики // Производство проката. 2011. № 3. С. 15–19.
2. Столетний М.Ф., Клемперт Е.Д. Точность труб. М.: Металлургия, 1975. 240 с.
3. Богатов А.А., Орлов Г.А., Пуньшев А.А. Исследование периодического волочения труб методом конечных элементов // Известия вузов «Цветная металлургия». 2005. № 3. С. 49–55.
4. Орлов Г.А. Уменьшение разностенности при прокатке на профильных оправках станов ХПТ и ХПТР / Г.А. Орлов, В.Ф. Игошин, О.И. Мижирицкий [и др.] // Сталь. 1993. № 10. С. 59–61.
5. Мижирицкий О.И. Снижение поперечной разностенности медных и латунных труб / О.И. Мижирицкий, Г.А. Орлов, А.М. Кузнецов [и др.] // Цветные металлы. 1992. № 5. С. 57–60.