

Рис. 7. Форма отверстия после обработки

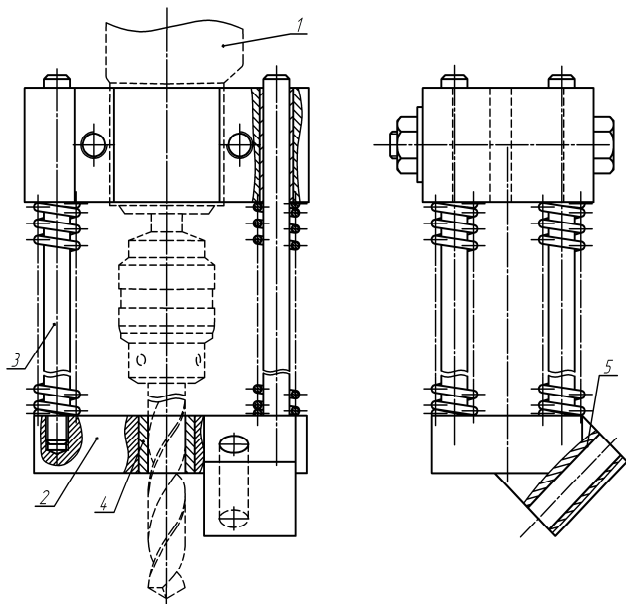


Рис. 8. Приспособление для обработки штифтовых отверстий

В статье намеренно не рассматриваются вопросы дальнейшего зенкерования и развертывания отверстий, применения конических штифтов и обработки отверстий коническими развертками. Отметим, что при зенкеровании и развертывании отверстий в раз-

нородных материалах также будет возникать неодинаковая разбивка, усугубляющаяся погрешностями предшествующего перехода – сверления. Подбор параметров обработки на эти переходы можно производить аналогично сверлению. Это же касается и обработки конических отверстий. Во всех случаях первым переходом является обработка цилиндрического отверстия, как правило, спиральным сверлом. Поэтому в первую очередь необходимо снизить погрешности именно на этом переходе.

Выводы

Обработка отверстий под штифты в разнородных материалах связана с образованием различной величины разбивки, что приводит к погрешностям сборки узла. Для устранения этих погрешностей необходимо определить параметры обработки отверстий, обеспечивающих одинаковую разбивку в разнородных материалах. Такими параметрами являются: угол при вершине сверла (главный угол в плане режущих лезвий), подача инструмента. При этом необходимо обеспечить диссимметрию геометрии режущих лезвий по величине главного угла в плане не менее 6° (допуск на заточку $\pm 3^\circ$). Наиболее эффективным методом определения оптимального сочетания параметров является компьютерное моделирование.

Список литературы

1. Дерябин, И.П. Прогнозирование параметров точности при обработке отверстий / И.П. Дерябин, В.И. Гузев // Технология машиностроения. 2006. № 4 (46). С. 9–14.
2. Дерябин, И.П. Проектирование, отладка и диагностика технологических процессов в АСТПП / И.П. Дерябин // Вестник машиностроения. 2008. № 1. С. 43–45.

Bibliography

1. Deryabin, I.P. Prediction accuracy in the processing of the hole / I.P. Deryabin, V.I. Guzev // Mechanical Engineering Technology. 2006. № 4 (46). S. 9–14.
2. Deryabin, I.P. Designing, debugging and diagnostics of technological processes in the CAM / I.P. Deryabin // Journal of Mechanical Engineering. 2008. № 1. S. 43-45.

УДК 621.774

Козлов А.В., Бобылев А.В., Шеркунов В.Г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАТЯГОВ И ПОДАЧ, ДОПУСТИМЫХ ПРИ ХОЛОДНОЙ ГИБКЕ ТРУБ С РАСКАТЫВАНИЕМ

Рассмотрены основные ограничения диапазона натягов и подач при гибке труб с раскатыванием. Даны рекомендации по их выбору для конкретного оборудования.

Ключевые слова: гибка труб, раскатывание, пластическая кольцевая зона, диапазон натягов и подач.

Main restrictions of tightness and approach range were explored for a cold pipe bending by flaring. Some advises for of tightness and approach options according to specific equipment were given.

Key words: pipe bend, flaring, yielded cycle region, tightness and approach range.

Разработанный в ЮУрГУ новый метод холодной гибки труб с раскатыванием (рис. 1) [1] и оборудование для его реализации успешно применяются для холодной гибки тонкостенных труб различного диаметра.

Изложенная в [2] методика расчета натягов позволяет определить лишь предельные их значения, в

частности минимальный натяг (H_{min}), при котором начинается образование «пластических шарниров», и максимальный натяг (H_{max}), при котором начинается разрушение трубы. Так, для трубы $\varnothing 57 \times 4$, раскатываемой трехшариковым раскатником $H_{min} = 0,17$ мм, что меньше, чем допуск на внутренний диаметр трубы.

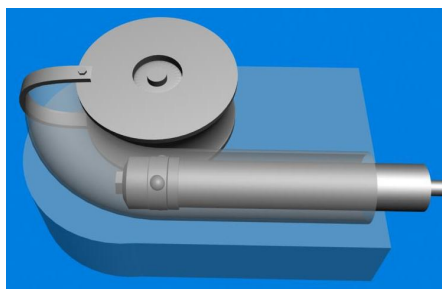


Рис. 1. Схема гибки труб с раскатыванием

Однако существует еще целый ряд ограничений, существенно влияющих на этот диапазон. Рассмотрим более подробно влияние на натяг этих ограничений.

1) Форма и размеры деформирующих элементов.

Создание кольцевой пластической зоны сопровождается вдавливанием деформирующих элементов в поверхность стенки трубы. Чем больше глубина вдавливания, тем шире кольцевая пластическая зона. Однако размеры этой зоны ограничены. Это связано с законами распространения напряжений внутри металла и размером деформирующего элемента. Очевидно, что ширина пластической зоны не может превышать размера деформирующего элемента в направлении осевой подачи инструмента, то есть $b_{max} = D_{шар}$ (рис. 2). Значит, следует ограничить H_{max} величиной $D_{шар}$.

2) Предельное удлинение материала.

При гибке с раскатыванием труба испытывает растягивающие пластические деформации, что приводит к удлинению стенок трубы в поперечном сечении. Предельная величина удлинения достигается при натяге

$$H_{\Delta l} = \frac{(1 + \Delta l) \cdot \pi \cdot D_{тр}^{нар} - 2\pi \cdot R_{шар} + R_{шар} - D_{тр}^{нар}}{3 \cdot \cos \frac{\pi}{2n}}$$

где $D_{тр}^{нар}$ – наружный диаметр трубы (мм), Δl – относительное удлинение материала трубы (%), $R_{шар}$ – диаметр и радиус шарика соответственно (мм), n – количество шариков в раскатнике.

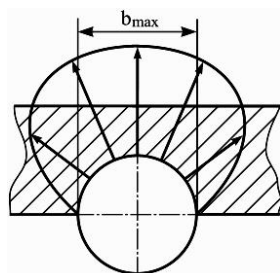


Рис. 2. Схема определения наибольшей ширины пластической зоны при вдавливании шарика

3) Параметры точности получаемых изделий.

При больших натягах может произойти раздача наружного диаметра трубы, что скажется на качестве наружной поверхности изделий (рис. 3). Поэтому натяг следует

ограничить исходя из условий предельного смятия материала.

$$H_{max}^{качеств} = \frac{2 \cdot \Delta l \cdot h}{100}$$

где h – толщина стенки трубы (мм).

При производстве бесшовных труб из-за неравномерного нагрева заготовки, неправильной настройки стана, недостаточного обжатия перед носком оправки при прошивке образуется разностенность. Предельные отклонения по толщине регламентируются ГОСТ 8734–75.

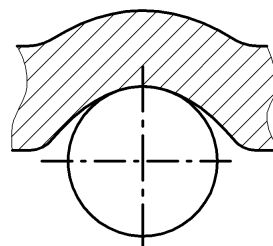


Рис. 3. Влияние вдавливания деформирующего элемента на качество наружной поверхности

С учетом колебания допуска на внутренний диаметр и допустимой разностенности он может составить 51,6 мм. Расчетный натяг при этом должен быть увеличен на величину

$$H_{разностолц}^{min} = H_{min} + 2 \cdot 0,1 \cdot h = H_{min} + 0,2 \cdot h$$

С учетом всех перечисленных ограничений диапазон применимых натягов, в частности для трубы $\varnothing 57 \times 4$ мм, изгибаемой с использованием трехшарикового раскатника, получаем $H_{min} = 0,8$ мм, $H_{max} = 2,08$ мм. Фактически это означает, что реальный диапазон применимых натягов сужается в несколько раз, а выбор натяга из этого диапазона гарантирует отсутствие брака при производстве изделий.

Результаты расчетов предельных значений натягов для труб разных диаметров представлены в виде графика (рис. 4), на котором наглядно отражено влияние вышеперечисленных факторов, ограничивающих диапазон применимых натягов.

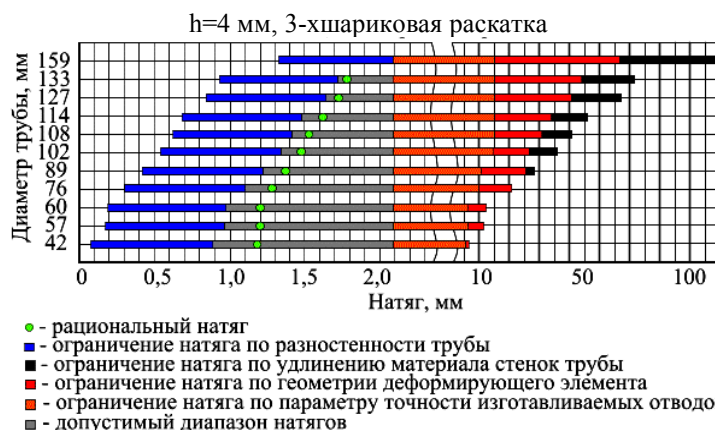


Рис. 4. Диапазоны предельных натягов для труб с $h=4$ мм

В целом же из рассчитанного диапазона натягов следует выбирать натяги, обеспечивающие наилучшее качество поперечного сечения трубы.

Зная диапазоны предельных натягов, можно определить допустимые подачи. Пусть в раскатнике установлено n шариков. При подаче на один оборот раскатника S (мм/об) подача на один шарик составит S/n (мм/об). Тогда схема деформации материала на внутренней поверхности трубы под действием одного шарика радиусом $R_{ш}$ примет вид, представленный на рис. 5. Как было показано в [2], даже при минимальном натяге в месте контакта напряжения достигают предела текучести и материал стенки трубы становится пластичным настолько, что практически не оказывает сопротивления изгибу. Это значит, что ширина кольцевой пластической зоны будет равна b (см. рис. 5).

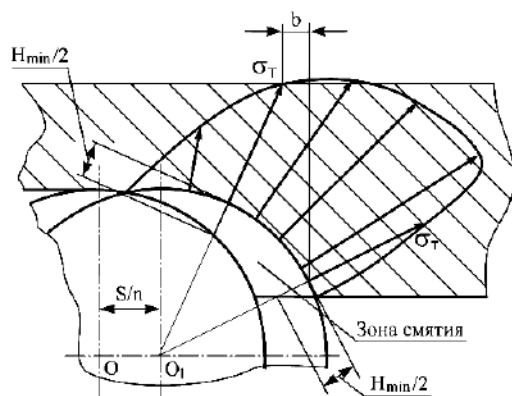


Рис. 5. Реальная схема взаимодействия деформирующего элемента со стенкой трубы

Определим толщину сминаемого слоя в радиальном направлении (рис. 6) и рассчитаем ширину пластической зоны.

Пусть центр координат O расположен в центре последнего шарика предыдущего оборота (см. рис. 6). Тогда координата начала пластической зоны, создаваемой первым шариком, будет $X_{Н1}$, а конец этой зоны будет иметь координату $X_{К1}$. В системе уравнений, описывающих положение линии контакта последнего шарика предыдущего оборота, помечаем координаты индексом 0, положение линии контакта первого шарика следующего оборота индексом 1:

$$\begin{cases} x_0^2 + y_0^2 = R_{шар}^2; \\ x_1^2 + y_1^2 = R_{шар}^2. \end{cases} \quad (1)$$

В искомой координате $X_0 = X_{Н1}$ соблюдаются условия

$$x_1 = \left(x_0 - \frac{S}{n} \right), \quad y_1 = y_0 + \frac{H_{min}}{2},$$

что позволяет получить

$$x_0 = y_0 \cdot \frac{nH_{min}}{2S} + \frac{n}{2S} \cdot \left(\frac{H_{min}^2}{4} + \frac{S^2}{n^2} \right).$$

$$\text{Пусть } a = \frac{nH_{min}}{2S}; \quad e = \frac{n}{2S} \cdot \left(\frac{H_{min}^2}{4} + \frac{S^2}{n^2} \right),$$

$$\text{тогда } x_0 = ay_0 + e. \quad (2)$$

Подставив полученное значение X_0 в (1), получаем

$$(ay_0 + e)^2 + y_0^2 = R_{шар}^2 \quad \text{или} \\ y_0^2(a^2 + 1) + 2ae \cdot y_0 + (e^2 - R_{шар}^2) = 0.$$

При $a^2 + 1 = c$; $2ae = d$; $e^2 - R_{шар}^2 = e$, получим $cy_0^2 + dy_0 + e = 0$.

$$\text{Решая это уравнение, получаем } y_0 = \frac{-d \pm \sqrt{d^2 - 4ce}}{2c},$$

что после подстановки в (2) дает нам координату $X_0 = X_{Н1}$, то есть координату начала пластической зоны

$$x_0 = a \cdot \frac{-d \pm \sqrt{d^2 - 4ce}}{2c} + e.$$

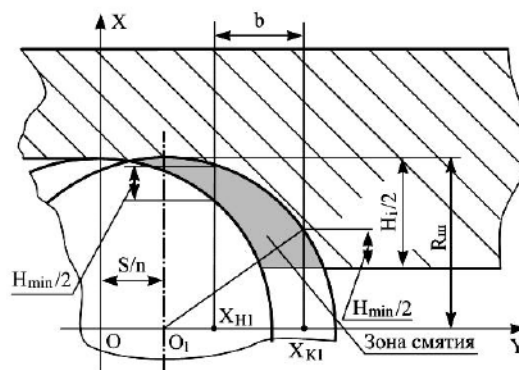


Рис. 6. Определение толщины сминаемого слоя в радиальном направлении

С учетом принятой схемы (см. рис. 6) получаем координату конца пластической зоны $X_{К1}$ относительно центра координат O_0

$$x_{К1} = \frac{S}{n} \cdot \sqrt{R_{шар}^2 + R_{шар}^2 \cdot \frac{H_i}{2} \cdot \frac{H_{min}}{2}}.$$

Опираясь на проведенные расчеты, можно определить ширину пластической зоны в месте контакта деформирующего элемента (шарика):

$$e_1 = x_{К1} - x_{Н1}.$$

Сложив участки смятия от действия всех деформирующих элементов за один оборот раскатника, получим суммарную ширину пластической зоны. Так, для трехшарикового раскатника получаем схему, изображенную на рис. 7. Из нее следует, что при выборе подачи должно быть обеспечено перекрытие пластических зон первого и последнего шариков.

Начало суммарной зоны пластичности $\vartheta_{общ}$ соответствует координате X_{Hn} – координате начала зоны пластичности последнего шарика

$$x_{Hn} = x_{H1} + S - \frac{S}{n},$$

а конец суммарной зоны пластичности $\vartheta_{общ}$ будет соответствовать координате X_{K1} , и тогда ширина суммарной зоны пластичности

$$\vartheta_{общ} = x_{Hn} - x_{K1}.$$

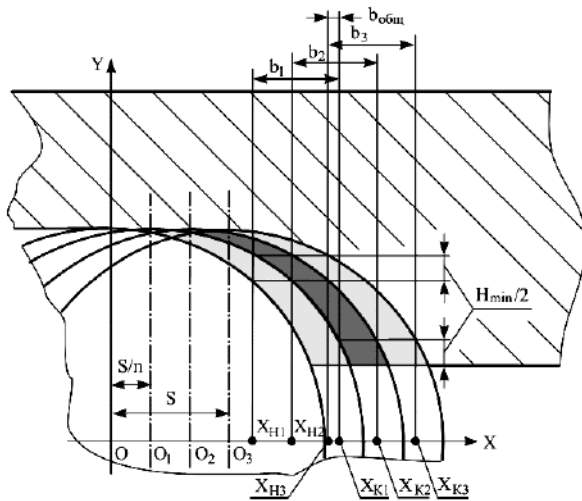
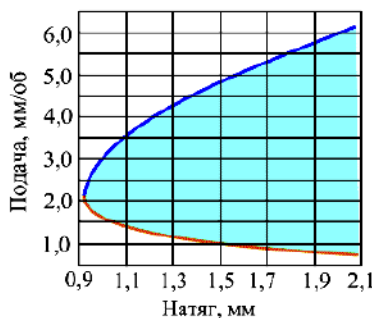


Рис. 7. Перекрывание пластических зон 1-го и 3-го деформирующих элементов

Изменяя величины подач и натягов, можно построить графики, описывающие их влияние на ширину суммарной зоны пластичности, а также область применимых натягов и подач. Для примера реальная область натягов-подач при гибке трубы $\varnothing 57 \times 4$ показана на рис. 8.



— ограничение по разностенности трубы
— ограничение по параметру точности изготавливаемых изделий

Рис. 8. Область натягов-подач для трубы $\varnothing 57 \times 4$

Соотнеся полученные подачи с частотой вращения раскатника, можно определить частоты вращения гибочного ролика. Однако при этом следует принимать частоту раскатывания деформирующими элементами

равной частоте вращения сепаратора раскатника

$$n_{сеп} \cdot n_{кон} \cdot \frac{R_{ш} \cdot H_i / 2 \cdot R_{внут.тр} \cdot R_{шар} \cdot (1 \cdot \cos \mu) \cdot H_i / 2}{R_{внут.тр} \cdot R_{шар} \cdot \cos \mu}.$$

Тогда для трубы $\varnothing 57 \times 3$, $H_i = 1,2$ мм, $R_{шар} = 7,05$ мм, используя конус с углом $\mu = 45^\circ$, вместо частоты вращения $n = 500$ об/мин на опорных конусах получаем $n_{сеп} = 327,4$ об/мин, что значительно снижает допустимую частоту вращения гибочного ролика.

Расчет по предложенной методике частоты вращения гибочного ролика для станка холодной гибки труб (СХГТ-5) диаметром от 42 до 159 мм с относительной тонкостенностью от 10 до 40, при радиусахгиба от 1,5 до $2,5D_{трубы}$ показывает, что потребуется ввести механизм регулирования частоты вращения гибочного ролика от 0,05 до 3,5 об/мин (рис. 9).

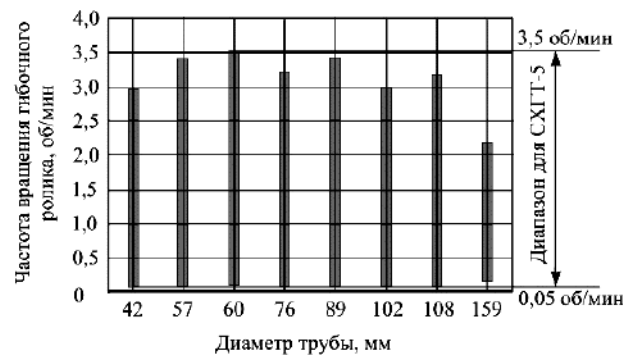


Рис. 9. Предельные частоты вращения гибочного ролика для СХГТ-5

Таким образом, удалось определить применимые диапазоны величин главных технологических параметров холодной гибки труб с раскатыванием – подачи и натяга и дать рекомендации для конструирования трубогибочных станков новых моделей.

Список литературы

1. Пат. 818707 Российская Федерация, МКИ В 21 D 9/14. Способ гибки труб / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич. № 2713945/25; заявл. 17.06.79; опубл. 07.04.81, Бюл. № 13. 3 с.
2. Козлов, А.В. Гибка труб, раскатываемых с большими натягами: учеб. пособие / А.В. Козлов, А.В. Бобылев. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. 129 с.
3. Козлов, А.В. Оценка натягов и усилий при гибке труб с раскатыванием / А.В. Козлов, Я.М. Хилькевич // Вестник ЮУрГУ. 2004. № 5 (34). С. 125–132.
4. Козлов, А.В. Напряженное состояние в трубе при ее гибке с раскатыванием n парами близко расположенных деформирующих элементов / А.В. Козлов, В.Г. Шеркунов, Я.М. Хилькевич // Вестник машиностроения. 2009. № 8. С. 67–70.

Bibliography

1. Pat. 818707 RF, MCI B 21 D 9/14. The method of tube folding / Lakirev S.G., Khilkevich Y.M. № 2713945/25; 17.06.79; published 07.04.81, Bul. № 13. 3 p.
2. Kozlov A. V., Bobilev A.V. The pipe bending by flaring with extreme tightness: textbook // Chelyabinsk: Publishing house of SuSU. 1999. 129 p.
3. Kozlov A.V., Sherkunov V.G., Khilkevich Ya.M. Tightness and efforts estimation during pipe bending with flaring // Vestnik of SuSU. 2004. № 5 (34). P. 125–132.
4. Kozlov A.V., Sherkunov V.G., Khilkevich Ya.M. Stress condition in a tube at its rolling by N pairs of nearby deforming elements // Vestnik mashinostroeniya. 2009. № 8. P. 67–70.