

РАСЧЕТ ОСЕВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ НА ОПРАВКЕ ПРИ ОБЖАТИИ С ПРОТАЛКИВАНИЕМ

В статье рассмотрен процесс изготовления длинномерных трубчатых изделий с сложным внутренним профилем методами пластического деформирования, предложена математическая модель продольной устойчивости при осевом сжатии составного бруса, состоящего из цилиндрической оправки, вставленной внутрь цилиндрической трубчатой заготовки, в области упругих и пластических деформаций для различных схем деформирования

Ключевые слова: трубчатые изделия, продольная устойчивость, деформирование, обжатие

Ю.Г. РОЗОВ

Херсонський національний технічний університет

РОЗРАХУНОК ОСЬОВОЇ СТІЙКОСТІ ТРУБЧАТОЇ ЗАГОТОВКИ НА ОПРАВЦІ ПРИ ОБТИСКАННІ З ПРОШТОВХУВАННЯМ

У статті розглянуто процес виготовлення довгомірних трубчастих виробів з складним внутрішнім профілем методами пластичного деформування, запропонована математична модель поздовжньої стійкості при осьовому стисненні складеного бруса, що складається з циліндричної оправки, вставленої всередину циліндричної трубчастої заготовки, в області пружних і пластичних деформацій для різних схем деформування

Ключові слова: трубчасті вироби, поздовжня стійкість, деформування, обтиснення

Y. ROZOV

Kherson National Technical University

CALCULATION OF AXIAL STABILITY TUBULAR BLANK ON A MANDREL AT A REDUCTION A PUSH

The article describes the process of manufacturing of long tubular products with complex internal profiles by plastic deformation, a mathematical model of longitudinal stability in axial compression of the composite timber, consisting of a cylindrical mandrel inserted inside the cylindrical tubular blank, in the field of elastic and plastic deformations for various schemes of deformation

Keywords: tubular products, longitudinal stability, deformation, compression

Постановка проблемы

Толстостенные трубчатые изделия с прецизионными элементами внутреннего профиля (6...8 квалитет, при шероховатости 0.16...0.64 мкм) достаточно широко применяются в машиностроении, приборостроении и изделиях специального назначения.

Получение фасонных отверстий в указанных изделиях методами, основанными на пластической деформации металлов, достигается, как правило, при использовании внутреннего копира – оправки, форма и размеры наружной поверхности которой, идентичны форме и размерам внутренней поверхности канала заготовки. При этом возможны две схемы деформирования: радиальное обжатие (применяется при радиальной ковке, волочении, прессовании, обжатии роликами); продавливание дорна вдоль канала заготовки (дорнование). С нашей точки зрения, первая схема более предпочтительна, т.к. при ее использовании нет остаточных напряжений, резко снижающих точность окончательных формы и размеров изделия.

Анализ последних исследований и публикаций

В этой связи, заслуживают внимания новые процессы изготовления трубчатых изделий с профилированной внутренней поверхностью методами холодной пластической деформации, основанные на радиальном обжатии заготовки на профильной оправке, например, в гладкой конической матрице или роликовой волоке [1,2].

Обжатие может осуществляться по двум схемам: методом проталкивания (прессование) и с помощью тянущего усилия, т.е. методом волочения. Процесс проталкивания имеет то преимущество, что отпадает необходимость в подготовке переднего конца оправки под захватное устройство для волочения. А недостаток заключается в том, что при длине трубчатой заготовки, превышающей некоторое критическое значение, возможна потеря устойчивости заготовки вместе с оправкой. Поэтому возможность применения

указанного метода требует предварительного расчёта на продольный изгиб составного стержня "заготовка-оправка".

Формулирование цели исследования

В современной научной литературе много внимания уделено расчётам на продольную устойчивость различных нагруженных стержней. Однако расчёты на устойчивость составных брусков, например, цилиндрической толстостенной оболочки с внутренним стержнем, отсутствуют.

Изложение основного материала исследования

Рассмотрена продольная устойчивость при осевом сжатии составного бруса, состоящего из цилиндрического стержня (оправки), вставленного внутрь цилиндрической трубы (заготовки), в области упругих и пластических деформаций для различных схем деформирования [3].

Рассматривая продольно-поперечный изгиб составного стержня «заготовка-оправка», получена формула для определения силы P_{Σ}^{kp} , при которой происходит потеря продольной устойчивости бруса, состоящего из цилиндрического стержня, вставленного внутрь цилиндрической трубы, в области упругих деформаций:

$$P_{\Sigma}^{kp} = \frac{\pi^3 E}{64(\nu_1 l)^2} \left[D^4 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} (D^4 - d^4) \right], \quad (1)$$

где: E – модуль Юнга (принимая $E_1 = E_2 = E$, т.е. материал заготовки и оправки – сталь);

$$\sigma_{\text{пл}}^{cp} = \frac{d^2}{D^2} (\sigma_{\text{пл}(1)} - \sigma_{\text{пл}(2)}) + \sigma_{\text{пл}(2)},$$

$\sigma_{\text{пл}(1)}; \sigma_{\text{пл}(2)}$ – пределы пропорциональности материалов внутреннего стержня и наружной трубы, соответственно;

l - длина составного стержня;

ν_1 - коэффициент приведения длины стержней;

d - диаметр оправки (внутренний диаметр трубчатой заготовки);

D - наружный диаметр трубчатой заготовки

Полученная формула отвечает граничным условиям (при $d=0$; $d=D$ совпадает с формулой Эйлера для определения критической силы для сплошного бруса).

Величину предельной гибкости предлагается определять по формуле:

$$\lambda_{\text{пред}} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\text{пл}}^{cp} = \frac{\sigma_{\text{пл}(1)} F_1 + \sigma_{\text{пл}(2)} F_2}{F} = \frac{d^2}{D^2} (\sigma_{\text{пл}(1)} - \sigma_{\text{пл}(2)}) + \sigma_{\text{пл}(2)},$$

Выражение (1) позволяет вывести формулу для определения гибкости составного бруса. Учитывая аналогию со стержнем сплошного сечения диаметром D , запишем выражение для определения радиуса инерции сечения составного бруса:

$$i = \frac{D}{4} \sqrt{1 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}.$$

Тогда гибкость составного бруса может быть определена по формуле:

$$\lambda = \frac{4\nu_1 l}{D \sqrt{1 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)}}. \quad (3)$$

Формула (3) позволяет определить гибкость бруса, состоящего из цилиндрического стержня, вставленного внутрь цилиндрической трубы, например, с целью сравнения с предельной гибкостью.

По аналогии определена величина критической силы при напряжениях, превышающих предел пропорциональности, т.е. когда в стержнях возникают пластические деформации (гибкость составного бруса меньше предельной), т.е. в области пластических деформаций:

$$P_{\Sigma(ni)}^{kp} = \frac{\pi^2 E}{4(\nu_1 l)^2} \left[D^4 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{пл}(1)}}{\sigma_{\text{пл}}^{cp}} (D^4 - d^4) \right] \frac{\left[\frac{D^2}{16} (\alpha - \sin \alpha \cos \alpha) - e^2 (\alpha - \sin \alpha) \right]}{D(D - 2e)}, \quad (4)$$

$$\text{где: } e = \frac{1}{2} \left[D - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{III}(1)}}{\sigma_{\text{III}}^{\text{cp}}} \left(D - d \frac{d^3}{D^3} \right) \right]; \alpha = 2 \arccos \left[1 - \frac{d^3}{D^3} \frac{\sigma_{\text{III}(1)}}{\sigma_{\text{III}}^{\text{cp}}} \left(1 - \frac{d^4}{D^4} \right) \right]; \alpha^0 = \pi \frac{\alpha^0}{180^0}.$$

Построены предельные кривые, выражающие граничные значения осевого усилия деформирования P и длины трубчатой заготовки на оправке l для сталей 30ХН2МФА (рис. 1), 50РА и 30ХРА (аналогичные графики, выражающие общую тенденцию), для соотношений диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру заготовки: 1 – $d/D = 0,5$ ($d = 9$ мм; $D = 18$ мм); 2 – $d/D = 0,6$ ($d = 9$ мм; $D = 15$ мм); 3 – $d/D = 0,75$ ($d = 9$ мм; $D = 12$ мм).

Алгоритм построения и практического использования семейства предельных кривых заключается в следующем.

1. Исходя из материалов и размеров поперечных сечений оправки (диаметра) и заготовки (внутреннего и наружного диаметров), по формуле (2) определяем величину предельной гибкости $\lambda_{\text{пред}}$ составного стержня «заготовка-оправка».

2. По формуле (3) определяем величины гибкости λ составного стержня «заготовка-оправка» для различных длин (например, $l_i = 100$ мм, 120 мм, 140 мм ...) и сравниваем с предельной гибкостью $\lambda_{\text{пред}}$. Для определения величины осевой критической силы, при выполнении неравенства $\lambda \leq \lambda_{\text{пред}}$, используем формулу (1), при выполнении неравенства $\lambda > \lambda_{\text{пред}}$, используем формулу (4).

3. По найденным значениям точек (l_i, P_i) строим предельные кривые для различных соотношений диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру заготовки d/D .

4. При проектировании процессов деформирования трубчатой заготовки на оправке, при величинах осевого усилия меньше критических значений (на графиках – ниже соответствующей кривой) рекомендуемая схема – прессование (проталкивание). При величинах осевого усилия больше критических значений (на графиках – выше соответствующей кривой) рекомендуемая схема – волочение.

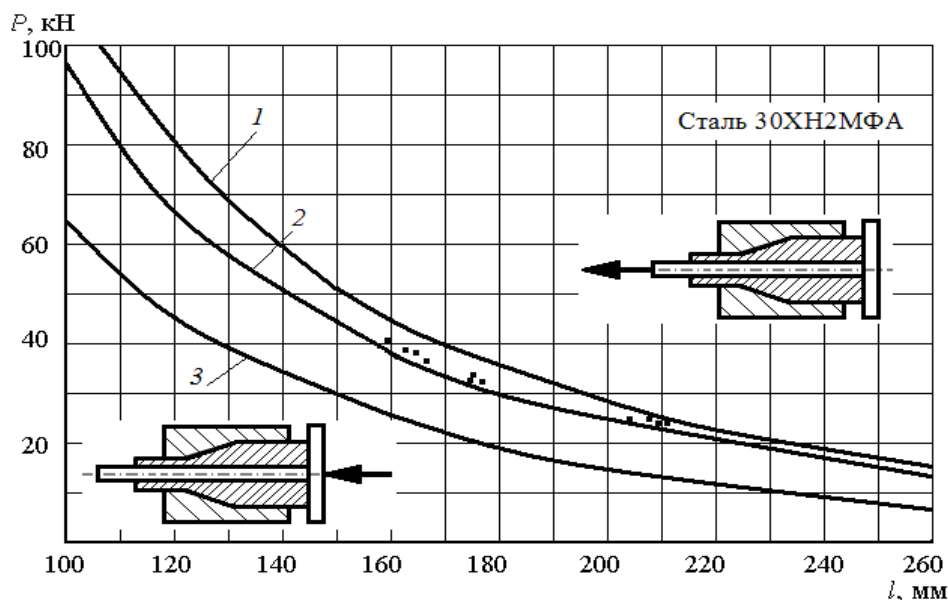


Рис. 1. Экспериментальные точки (для $d/D = 0,6$) и кривые, выражающие зависимость предельной длины трубчатой заготовки (сталь 30ХН2МФА) на оправке (сталь Х12М) от осевого усилия деформирования при обжатии проталкиванием

Предельные кривые позволяют определить границы использования радиального обжатия трубчатой заготовки на оправке по схеме прессования (методом проталкивания) при условии потери продольной (осевой) устойчивости в процессе деформации для рассмотренных размеров и материалов заготовки и инструмента (оправки). Подобные кривые могут быть построены для разных материалов и размеров трубчатой заготовки и оправки с использованием полученных в работе формул (2), (3), (4). При проектировании процессов деформации трубчатой заготовки на оправке, при величинах осевого усилия меньше критических значений (на графике – ниже соответствующей кривой) рекомендуемая схема – прессование. При величинах осевого усилия больше критических значений (на графике – выше соответствующей кривой) рекомендуемая схема – волочение.

Результаты анализа, проведенные расчёты и натурные эксперименты подтвердили тот факт, что при обжатии в конической матрице и неприводными роликами с проталкиванием, при длине заготовки, превышающей некоторое критическое значение, возможна потеря продольной устойчивости трубчатой заготовки вместе с оправкой в области, как упругих, так и пластических деформаций. При этом с ростом отношения диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру толстостенной

заготовки d/D (при $d/D \leq 0,8$ и постоянстве остальных параметров), величина критической силы уменьшается с нарастающей интенсивностью (рис. 2), т.е. вероятность потери продольной устойчивости возрастает.

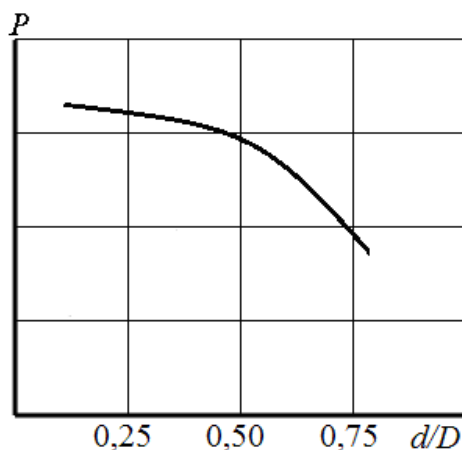


Рис. 2. Зависимость величины критической силы от отношения диаметра оправки (внутреннего диаметра заготовки) к наружному диаметру заготовки d/D (график тенденции)

Наиболее благоприятным, с точки зрения предотвращения потери осевой (продольной) устойчивости, может быть принято обжатие в роликовой волоке и в конической матрице по схеме волочения.

Выводы

1. Впервые получены формулы для определения радиуса инерции, гибкости составного бруса и критической силы, которая приводит к потере продольной устойчивости бруса, состоящего из цилиндрического стержня, вставленного внутрь цилиндрической трубы в области упругих и пластических деформаций для различных схем деформирования.

2. Построены предельные кривые в координатах «осевое усилие деформирования – длина заготовки на оправке», позволяющие определить границы применения схем прессования или волочения, при проектировании процессов деформирования трубчатых заготовок на оправке в операциях холодной обработки металлов давлением.

Список использованной литературы

1. Розов Ю. Г. Конечно-элементная модель волочения трубчатой заготовки на профильной оправке в конической матрице / Ю. Г. Розов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, Россия, 2013. – № 3. – С. 47–50.
2. Розов Ю. Г. Технология изготовления прецизионных трубчатых изделий методом обжатия на профильной оправке прокаткой-волочением неприводными роликами / Ю. Г. Розов // Современные технологии обработки материалов давлением: моделирование, проектирование, производство : сб. науч. тр. – № 1 (44) – Москва : Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2013. – С. 24–29.
3. Розов Ю. Г. Потеря продольной устойчивости трубчатой заготовки на оправке при прессовании / Ю. Г. Розов // Прогресивні техніка, технологія та інженерна освіта: сб. труд. учасників XIV Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченій 115-літтю механіко-машинобудівельного інституту НТУУ «КПІ», 25–28 червня 2013 г., Київ–Севастополь, Україна. – С. 60–62.