

УДК621.735.34.001.24

Я.Б.Немировский, канд. техн. наук

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г.Киев

Особенности деформирующего протягивания разнотолщинных заготовок

В статье представлены результаты исследований по деформирующему протягиванию разнотолщинных заготовок
деформирующее протягивание, модель, разнотолщинность

Я.Б. Неміровський

Институт надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України, м.Київ

Особливості деформуючого протягування різнотолщинних деталей

В статті представлені результати досліджень по деформуючому протягуванні різнотолщинних деталей.

деформуюче протягування, модель, різнотолщинність

Высокопроизводительный и экономичный процесс деформирующего протягивания (ДПР) используется для обработки отверстий в осесимметричных заготовках. Если ДПР является финишной операцией, то она ответственна за размер отверстия и погрешности готовой детали. В том случае, когда она является черновой, формообразующей операцией точность обработанного отверстия определяет припуск под последующую мехобработку. В этом случае необходимо уточнить существующие модели [1] по определению предельных деформаций при ДПР. Они не учитывают величину предельно допустимых по ГОСТу отклонений размеров толщины стенок обрабатываемых разнотолщинных заготовок. При раздаче такой трубы вначале деформируется тонкостенный участок, а толстостенный может оставаться жестким (недеформируемым). Это, естественно, снижает ресурс практичности заготовки и может привести к локальному разрушению заготовки или потере устойчивости деформирования материала, т.е. образования шейки. В свою очередь недостаточная степень деформации может привести к появлению недопустимых погрешностей.

Целью работы является построение теоретической модели деформированного состояния при раздаче разнотолщинных заготовок, позволяющей учесть влияние разнотолщинности на выбор минимально необходимой деформации, обеспечивающей деформирование всего объема заготовки.

Рассмотрим случай (рис.1), когда заготовка является разнотолщинной в окружном направлении и начальная толщина стенки заготовки изменяется по некоторому монотонному закону

$$t_0=t_0(\varphi), \text{ где } 0 \leq \varphi \leq \pi$$

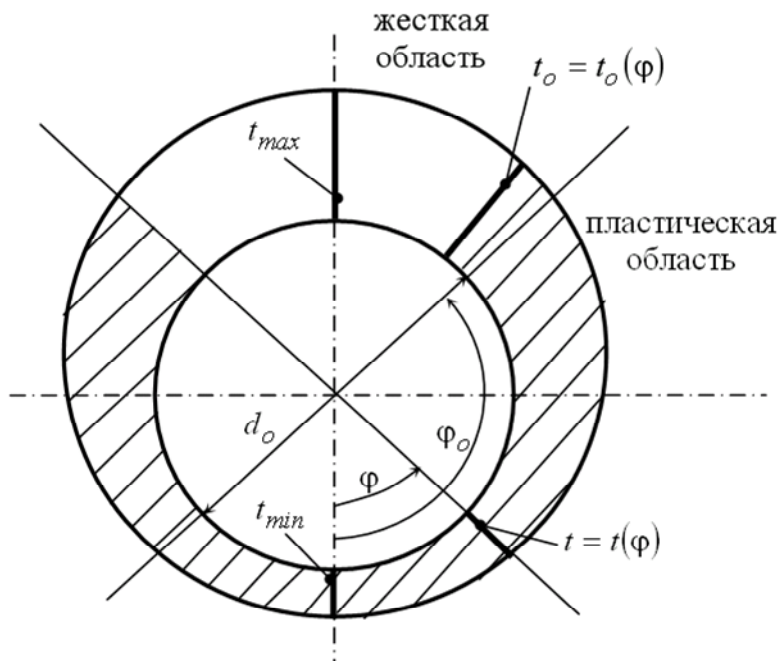


Рисунок 1 – Расчетная схема раздачи заготовки с переменной толщиной стенки

В области $-\varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0$ (рис.1), материал деформируется пластически, что обеспечивается равномерной раздачей заготовки с натягом a и степенью раздачи a/d_0 .

При малых натягах пластическая деформация заготовки возникает в самом тонком месте, соответствующем t_{0min} , а $\varphi=0$. Затем по мере роста натяга угол охвата пластической области увеличивается за счет деформационного упрочнения материала заготовки.

Рассмотрим возможные случаи при деформировании разнотолщинных заготовок с малыми степенями деформации. Полагая процесс деформации в каждой точке сечения рассматриваемой заготовки достаточно монотонным, расчеты и анализ будем вести используя деформационную теорию пластичности [2].

Для случая раздачи заготовок из упрочняющегося материала связь между величиной пластической зоны, определяемой φ_0 и степенью раздачи ε

$$\varphi_0 = \varphi_0(\varepsilon). \quad (1)$$

При определенной степени разнотолщинности $\Delta = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_{cp}}; t_{cp} = \frac{t_{max} - t_{min}}{2}$

деформации ε и способности материала к упрочнению пластическая область может охватить весь объем заготовки, т.е. угол φ_0 монотонно возрастает от 0 (начало раздачи) до $\varphi=\pi$.

Если же функция (1) имеет в диапазоне $0 \leq \varphi \leq \pi$ промежуточный максимум, то в точке соответствующей этому максимуму, произошла «остановка» в развитии пластической зоны, то есть началась ее локализация, что предшествует разрушению обрабатываемого материала. Поэтому сам факт остановки в развитии пластической зоны является явным технологическим браковочным признаком, который необходимо использовать, как ограничивающее условие при выполнении технологических расчетов. Кроме того, для конкретного материала заготовки в зависимости от его способности к деформационному упрочнению, а также от предельно допустимой деформации, ограниченной пластическими свойствами материала и видом напряженного состояния, существует минимально допустимая степень разнотолщинности, при которой нельзя пластически деформировать весь объем

заготовки. Это указываем на то, что заготовки необходимо проверять в состоянии поставки по их разнотолщинности, и отбраковывать при условии превышения минимально допустимой разнотолщинности.

Для решения вышеперечисленных проблем используем модель равномерной раздачи которая успешно использовалась авторами [3] для исследования изменения конечных размеров отверстия при ДПР инструментом с малым углом конусности.

Рассмотрим раздачу заготовки с небольшой толщиной стенки, когда вдоль нее напряженно-деформированное состояние можно считать однородным и соответствующим одноосному растяжению с окружной деформацией e_φ и соответствующего напряжению σ_φ . Средняя деформация при натяге $\forall \leq 0,15 d_0$

$$\varepsilon = a/d_0. \quad (2)$$

Иследуем зависимость между степенью деформации ε и размером пластической области – φ_0 . Исходная длина окружности отверстия $C_0 = \pi d_0$; после раздачи она равна

$$C = \pi(d_0 + a). \quad (3)$$

С другой стороны длину C после раздачи можно рассчитать как сумму длин двух дуг: дуги недеформируемой части $C_1 = (\pi - \varphi_0)d_0$ и дуги окружности пластической области с углом охвата $2\varphi_0$.

Очевидно, что

$$dC_2 = dC_0(1 + l_\varphi), \quad (4)$$

где dC_2 , dC_0 – дифференциалы длины пути деформированной и недеформированной дуги соответственно.

Полная длина деформированного участка

$$C_2 = 2 \int_0^{\varphi_0} dC_2 = d_0 \int_0^{\varphi_0} (1 + e_\varphi) d\varphi. \quad (5)$$

Тогда полная длина окружности обработанного отверстия

$$C = C_1 + C_2 = (\pi - \varphi_0)d_0 + d_0 \int_0^{\varphi_0} (1 + e_\varphi) d\varphi. \quad (6)$$

Приравнивая выражения (3) и (6)

$$\pi(d_0 + a) = (\pi - \varphi_0)d_0 + d_0 \int_0^{\varphi_0} (1 + e_\varphi) d\varphi. \quad (7)$$

И выполнив небольшое преобразование, получим

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi} \int_0^{\varphi_0} e_\varphi d\varphi. \quad (8)$$

Учтем влияние обрабатываемого материала на связь степени раздачи с угловым размером пластической области. В случае $\varphi = \varphi_0$ материал заготовки не деформирован, а следовательно не получил деформационного упрочнения. То есть интенсивность напряжений σ_0 равна исходному пределу текучести $\sigma_0 = \sigma_T$.

Рассмотрим случай раздачи заготовки, когда $\varepsilon_z = 0$, то есть осевые деформации отсутствуют. Для тонкостенной трубы радиальные напряжения $\sigma_r \ll \sigma_\varphi$.

Тогда интенсивность напряжений

$$\sigma_0 = \frac{\sqrt{3}}{2} \sigma_\varphi, \quad (9)$$

а интенсивность деформаций

$$e_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} e_\varphi \quad (10)$$

$$\text{или } e_{\varphi} = \frac{\sqrt{3}}{2} e_0 \quad (11)$$

Пусть кривая упрочнения материала заготовки описывается известным уравнением:

$$\sigma_{\varphi} = \sigma_T B e_0^n. \quad (12)$$

Из выражения (12) получаем

$$e_0 = \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_T} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (13)$$

Установим связь σ_0 с толщиной стенки заготовки. Из условия безмоментного состояния равновесия $\sigma_{\varphi} t = \text{const}$ для сечения с φ и сечения φ_0

$$\sigma_T t_0(\varphi_0) = \sigma_{\varphi} t_0(\varphi). \quad (14)$$

Из выражения (14)

$$\sigma_{\varphi}(\varphi) = \sigma_T \frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)}. \quad (15)$$

С учетом выражения (9)

$$\sigma_0 = \sigma_T \frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)}. \quad (16)$$

Подставляя (16) в (13) находим

$$e_0 = \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (17)$$

Из выражения (11)

$$e_{\varphi} = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)} - 1 \right)^{\frac{1}{n}}. \quad (18)$$

Окончательное интегральное уравнение (8)

$$\varepsilon = \frac{1}{\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} \left(\frac{\sigma_T}{B} \right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{t_0(\varphi_0)}{t_0(\varphi)} - 1 \right)^{\frac{1}{n}} d\varphi. \quad (19)$$

Выражение (19) есть искомое соотношение между степенью раздачи ε и угловым размером пластической области φ_0 . Задавая различные значения φ_0 , используя известные для различных материалов законы упрочнения (B , σ_T , n), а также законы изменения толщины стенки $t_0(\varphi)$, можно получить требуемые зависимости $\varepsilon(\varphi_0)$ для различных разнотолщинностей.

Для примера рассмотрим простейший случай переменности толщины стенки с одним периодом ее изменения (рис. 1).

Наружная поверхность заготовки представлена в виде окружности, эксцентрично смещенной относительно отверстия.

В результате численных расчетов по зависимости (19) для стали 45 с $\sigma_T=350$ МПа, $B=788$ МПа, и $n=0,48$ получены зависимости ε от φ_0 (рис. 2).

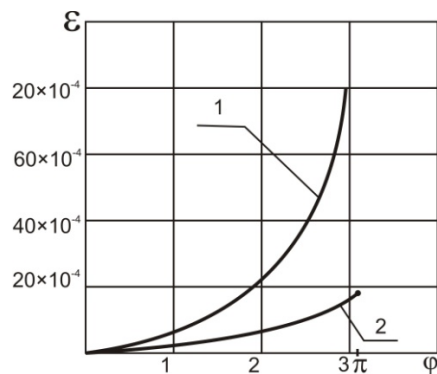


Рисунок 2 – Зависимость деформации сечения от угла φ_0 материал заготовки сталь 45 с параметрами кривой течения $\sigma_T=350$ мПа, $V=790$, $n=0,48$. Разнотолщинность Δ : 1 – 0,1; 2 – 0,05

Из него следует, что с увеличением разнотолщинности возрастает степень деформации, необходимая для пластического деформирования всего объема заготовки, т.е. при $\varphi=\pi$.

Также расчеты по разработанной модели, приведенные на рис. 3, показали, что предельная разнотолщинность, при которой сечение заготовки полностью переходит в пластическое состояние, $\Delta=0,25$ (звездочкой отмечена точка, соответствующая началу потери устойчивости течения материала (образованию шейки) в самом тонком месте сечения). То есть при $\Delta>0,25$ пластически деформировать все сечение заготовки из стали 45 нельзя. Это приводит к часто встречающемуся браковочному признаку – наличию необработанного участка поверхности отверстия.

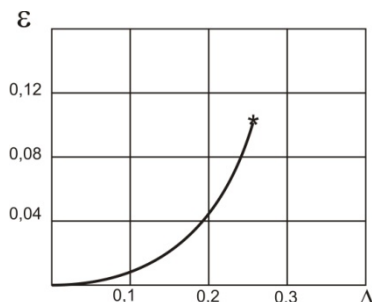


Рисунок 3 – Зависимость суммарной деформации, при которой пластическая зона охватывает весь объем заготовки от разнотолщинности заготовки для стали 45 с параметрами кривой течения $\sigma_T=350$ мПа, $V=790$, $n=0,48$

По результатам проведенных исследований разработан алгоритм определения минимально необходимой деформации для деформирования всего объема заготовки (рис. 4).

Вначале производится подготовка исходных данных, к которым относятся: материал заготовки, размеры, исходная разнотолщинность, определяемая допуском на толщину стенки.

Далее определяем экспериментально или по справочным данным уравнение кривой течения обрабатываемого материала, а также данные для расчета пластичности при коэффициенте жесткости напряженного состояния $\eta=2$. Последнее осуществляется либо по стандартным характеристикам материала – относительному удлинению после разрыва δ_p в %, либо по испытаниям на двухосное растяжения [4]. В первом случае по данным [4]

$$e_{np}=C\delta_p,$$

где $C=0,0065$ – коэффициент, учитывающий влияние схемы напряженного состояния.

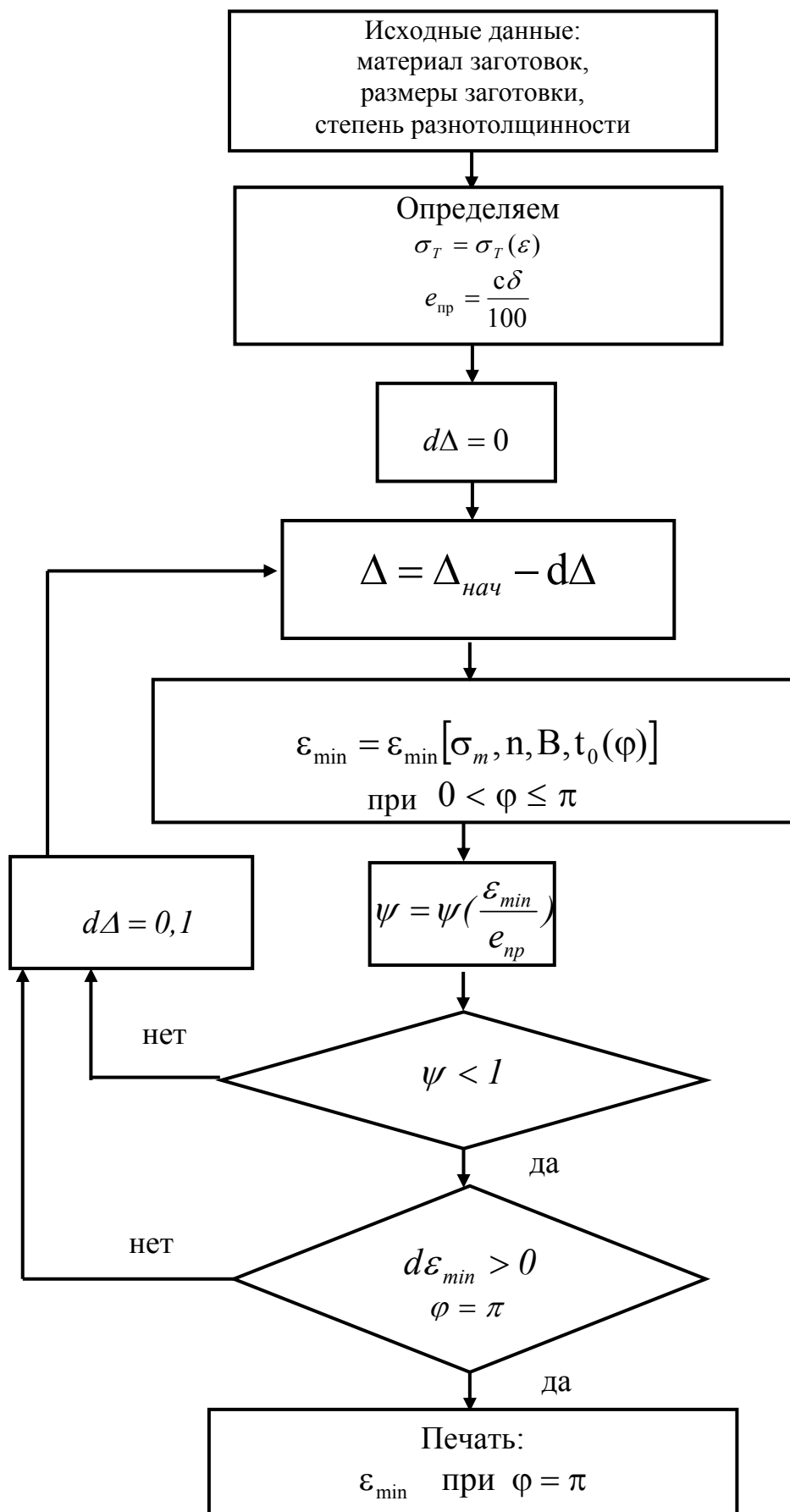


Рисунок 4 – Алгоритм для расчета минимально необходимой деформации для деформирования всего объема заготовки

Вначале производится подготовка исходных данных, к которым относятся: материал заготовки, размеры, исходная разнотолщинность, определяемая допуском на толщину стенки.

Далее определяем экспериментально или по справочным данным уравнение кривой течения обрабатываемого материала, а также данные для расчета пластичности при коэффициенте жесткости напряженного состояния $\eta=2$. Последнее осуществляется либо по стандартным характеристикам материала – относительному удлинению после разрыва δ_p в %, либо по испытаниям на двухосное растяжения [4]. В первом случае по данным [4]

$$e_{np}=C\delta_p,$$

где $C=0,0065$ – коэффициент, учитывающий влияние схемы напряженного состояния.

Как показано исследованиями [4], при раздаче тонкостенных заготовок, на их наружной поверхности реализуется жесткая схема напряженного состояния, приближающаяся к схеме двухосного растяжения. При таких условиях идет интенсивное приращение ресурса использованной пластичности даже при небольших значениях накопленных деформаций. Это усугубляется исходной разнотолщинностью заготовки. То есть при неблагоприятном сочетании разнотолщинности ресурса пластичности, его степени несоосности заготовки может либо разрушиться, либо остаться частично недеформированной.

Степень использования ресурса пластичности при раздаче одним элементом [4]

$$\psi = \frac{\varepsilon_{\min}}{(1 + t_{\min})C\delta_p}. \quad (20)$$

Далее выполняем расчеты по зависимости (19) для определения ε_{\min} при $\varphi=\pi$.

По полученному значению ε_{\min} из выражения (20) определяем ψ . При положительном результате $\psi < 1$ определяется минимальная деформация, необходимая для деформирования всего объема заготовки.

Если $\psi(\varepsilon_{\min}) \geq 1$ необходимо уменьшать разнотолщинность заготовки переходом на другой типоразмер заготовки; за счет выбора заготовок с меньшим допуском на толщину стенки, предварительной обточкой по наружному диаметру или вводить операцию промежуточного отжига.

Разработанный на базе выполненных исследований алгоритм необходимо использовать при расчете и выборе заготовки, необходимой для получения готовой детали после операции ДПР, а также для определения минимально необходимой деформации, позволяющей обеспечить пластическое деформирование всего объема заготовки.

Список литературы

1. Цеханов Ю.А., Соловьев О.В. Оценка деформируемости при деформирующем протягивании тонкостенных труб //Синтез и применение сверхтвердых материалов. – Киев: ИСМ АИ УССР, 1988. – С. 77-80.
2. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. – М.: Наука, 1978. - 174с.
3. Розенберг А.М., Розенберг О.А., Кривошея В.В. Расчет усадки отверстия при деформирующем их протягивании в деталях с бесконечной толщиной стенки //Вестник машиностроения, - 1986. - №7. - С.42-44.
4. Розенберг О.А., Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Технологическая механика деформирующего протягивания. – Воронеж; ВГТА, 2001. – 203с.

J. Nemirovskiy

V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

At calculation and preparation choice for deforming all volume preparation

The results the investigations of deforming broaching of the variation of tube wall are presented in the article.

The influence of tube variation on wall upon development of blank plastic zone under deforming broaching is studied. The mathematical model of this process in developed and computer modeling was made.

The results the work can be used in manufacturing at the calculation and blank choice for deforming broaching and deformation broaching and deformation choice for all volume blank.

deforming broaching, model

Получено 26.02.13

УДК 621.976.4:331.482

Е.И. Чемерис, канд. техн. наук

Кировоградский институт регионального управления и экономики

Механизм безопасности клепального прессы

В данной работе предлагается механизм безопасности клепального прессы и анализируются особенности его работы.

операции склепывания, операторы-штамповщики, устройства безопасности

Є.І. Чемерис, канд. техн. наук

Кіровоградський інститут регіонального управління та економіки

Механізм безпеки клепального пресу

В даній роботі пропонується механізм безпеки клепального пресу та аналізуються особливості його роботи.

операції склепування, оператори-штампувальники, пристрої безпеки

Техническое решение относится к устройствам, обеспечивающим исключение травм пальцев рук оператора при работе на клепальных прессах с пневматическим приводом ползуна и предназначенным для склепывания листовых деталей заклепками [1-3].

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому является механизм, содержащий матричный столик, запрессованный в верхнюю часть станины корпус, в котором расположены подпружиненный наружный ползун, выполненный взаимодействующим с рычагом, и подпружиненный внутренний ползун, в нижней части которого выполнен боек [1].

Недостатком известного технического решения является то, что оно не полностью обеспечивает безопасность работы оператора.

Указанный недостаток обусловлен тем, что рабочая зона при склепывании соответствующих листовых деталей, как правило, не защищена какими-либо ограждениями, а сами рабочие органы (инструменты) не оснащены устройствами для защиты рук операторов от травм.