

УДК621.735.34.001

Я.Б. Немировский, канд. техн. наук, Киев, Украина;
А.В. Чернявский, канд. техн. наук,
П.Н. Еремин, Кировоград, Украина

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА УСАДКИ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ ПРОТЯГИВАНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЧУГУНА

У статті розроблені рівняння для розрахунку усадки отвору при деформуючому протягуванні заготовок із сірого чугуна. Показано, що усадка отвору не залежить від кута α і натягу на елемент, а визначається сумарною деформацією отвору.

В статье разработаны уравнения для расчета усадки отверстия при деформирующем протягивании заготовок из серого чугуна. Показано, что усадка отверстия не зависит от угла α и натяга на элемент, а определяется суммарной деформацией отверстия.

In the paper, we develop equations for calculating shrinkage holes in deforming pulling pieces of cast iron. It has been shown that the shrinkage of the holes does not depend on the angle and the preload on α element as determined by the total deformation of the openings.

При деформирующем протягивании отверстий в осесимметричных изделиях изменяются все размеры заготовки, а именно: пластически увеличивается диаметр отверстия, уменьшается толщина стенки и изменяется ее длина.

Рассмотрим вопрос определения диаметра обработанного отверстия после деформирующего протягивания. Этот вопрос является актуальным не только с научной, но и с практической точки зрения. Обусловлено это следующим. Когда деформирующее протягивание используется в качестве финишной операции, обработанный диаметр определяет размеры и погрешность обработанного отверстия. Если деформирующее протягивание является промежуточной операцией, то размер обработанного отверстия определяет припуск под последующую обработку. Особенно это важно при конструировании комбинированного деформирующе-режущего инструмента, где условия работы каждого последующего рабочего элемента напрямую зависят от предыдущего.

Этому вопросу посвящен целый ряд работ [1,2]. Основным подходом в этих работах, где рассматривается обработка заготовок из пластичных материалов, является определение размера отверстия исходя из схемы взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью (рис. 1).

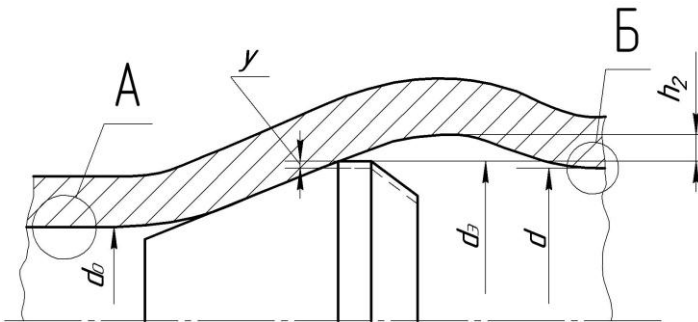


Рисунок 1 – Схема взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой поверхностью, где А – зона с шероховатостью $Rz_{л}$, Б – зона с шероховатостью $Rz_{п+1}$.

В соответствии с этой схемой очаг деформации состоит из участка контакта и двух внеконтактных зон, которые примыкают к нему. Объективность этой схемы подтверждена многочисленными экспериментами [1]. Исходя из этой схемы, авторы предлагают следующую зависимость для определения диаметра обработанного отверстия

$$d = d_{\text{э}} + 2 \cdot h_2 - \Delta - 2 \cdot y \quad (1)$$

где $d_{\text{э}}$ – наружный диаметр деформирующего элемента, мм;

$2 \cdot h_2$ – высота внеконтактной зоны за деформирующим элементом, мм;

Δ – упругое восстановление обработанного диаметра отверстия;

$2 \cdot y$ – упругое уменьшение диаметра деформирующего элемента под нагрузкой, мм.

В работе [2] отмечается, что рабочие элементы из металлокерамических твердых сплавов, которые наиболее часто используются в промышленности, имеют высокий модуль упругости E . Поэтому уменьшение наружного диаметра таких элементов будет незначительным, особенно в тех случаях, когда деформирующий элемент посажен на оправку протяжки без зазора. Следовательно, величиной $2 \cdot y$ можно пренебречь.

В случае протягивания изделий из пластических материалов со значительными деформациями большое влияние на размер обработанного отверстия оказывает высота внеконтактной зоны за деформирующим элементом. В зависимости от ее величины и значения упругого восстановления пластически деформированного материала заготовки диаметр обработанного отверстия может оказаться меньше (усадка отверстия) или

больше (разбивка отверстия) диаметра деформирующего элемента.

При обработке изделий из чугуна, который, как известно, является полухрупким (малопластичным) материалом деформирование рекомендуется осуществлять при малых натягах на элемент по следующим причинам. Как известно [4], пластичность заготовок при деформирующем протягивании, кроме свойств обрабатываемого материала, существенно зависит от вида напряженного состояния, определяемого показателем напряженного состояния - η . Так, в зоне контакта даже при раздаче тонкостенных заготовок согласно данным [4] $\eta \approx -7$, что соответствует условиям, близкими к всестороннему сжатию. Наличие такого значения показателя η позволяет осуществлять без разрушения значительные пластические деформации даже для такого малопластичного материала как чугун. В тоже время, согласно данным [4], на наружной поверхности деформируемой заготовки показатель напряженного состояния $\eta = +2$, что соответствует условиям равномерного двухосного растяжения. Естественно, что при таком жестком значении показателя пластичности разрушение заготовки из чугуна начинается с наружной поверхности при появлении там даже малых пластических деформаций. Указанное положение определяет необходимые условия для раздачи заготовок из чугуна. Ими являются осуществление малых пластических деформаций поверхности отверстия и отсутствие их на наружной поверхности заготовки. Учитывая тот факт, что обработку изделий из чугуна необходимо производить с малыми натягами, при которых, как показали наши эксперименты [5], высота внеконтактной деформации незначительна, то следует ожидать, что при раздаче заготовок из чугуна независимо от степени деформации, геометрии инструмента и размеров заготовки, будут иметь место усадка отверстия. Величина усадки отверстия определяется как $\Delta = d_3 - d$, что с учетом вышесказанного наиболее близко к упругому восстановлению обработанного отверстия. Используя зависимость, предложенную авторами [2] для расчета величины упругого восстановления диаметра отверстия при обработке отверстий в пластичных материалах, получаем зависимость для расчета значений упругого восстановления отверстия в изделиях из такого малопластичного материала как чугун:

$$U_d = \frac{d \cdot \sigma_i}{\sqrt{3} \cdot E} \cdot [K_1^2 \cdot (1 - \mu) + (1 + \mu)] \quad (2)$$

где σ_i – напряжение, определяемое по кривой течения, которая получена при сжатии образца из чугуна, соответствующее суммарной деформации втулки $\epsilon_{\text{ср}}$ по среднему диаметру; E – модуль упругости первого рода обрабатываемого материала, μ – коэффициент Пуассона; $K_1 = d/D$;

$$e_{cp} = \frac{d+t}{d_0+t_0} - 1 \quad (3)$$

Для использования выражения (2) необходимо знать зависимость интенсивности напряжений от интенсивности деформаций, полученных при сжатии образцов из обрабатываемого материала, что требует разработки специальной методики и проведения дополнительных опытов. Однако, учитывая незначительные пластические деформации отверстия, величиной высоты внеконтактной зоны, а также высотными параметрами обрабатываемой поверхности не следует пренебрегать. Поэтому усадка отверстия в нашем случае не равна упругому восстановлению обработанного материала, а определяет размер отверстия после обработки. В дальнейшем определение этого параметра будет напрямую связано с определением диаметра обработанного отверстия. Поэтому была поставлена задача по определению такого комплексного показателя, как усадка отверстия при обработке изделий из чугуна и установлению влияния факторов процесса на ее значение.

Для упрощения нашей задачи используем теорию подобия размерностей [4], которая позволяет свести к минимуму количество экспериментов, создав при этом эффективные расчетные модели, удобные для использования. Так как при деформирующем протягивании скорость обработки не превышает 5...7 м/мин, то динамическим эффектом можно пренебречь и процесс пластической раздачи отверстия можно считать статическим. Невысокие температуры в зоне контакта (не более 100°C) [1], позволяют отнести его к холодному пластическому деформированию.

Независимыми параметрами, влияющими на величину усадки, являются начальные геометрические параметры d_0 и t_0 (исходя из зависимости (3)), они влияют на величину средней деформации e_{cp} , а также натяг на деформирующий элемент при одноцикловой обработке - a и суммарный натяг Σa при многоцикловой обработке, а также, возможно, угол α и механические характеристики обрабатываемого материала σ/E .

Проанализируем закономерности влияния этих параметров на усадку отверстия. Независимыми параметрами являются d_0 и t_0 . Так как история деформирования не влияет на упругое восстановление влияние собственно натяга на элемент можно не учитывать, а определять влияние такого технологического параметра через суммарный натяг Σa . Подобное утверждение относится к влиянию угла α . Его влияние также можно не учитывать. Так как мы рассматриваем процесс деформирования серых чугунов, у которых значение модуля упругости практически не зависит от их марки, а на значение σ влияют d_0 , t_0 и Σa , то значение соотношения σ/E

можно исключить. Тогда зависимость параметра Δ от геометрических факторов и начальных геометрических факторов заготовки будет иметь следующий вид:

$$\Delta = f(d_0, t_0, \Sigma a) \quad (4)$$

В качестве определяющего параметра выбираем d_0 , через который выражаем все остальные геометрические факторы в безразмерном виде:

$$\Delta = d_0^\alpha \cdot f\left(1, \frac{t_0}{d_0}, \frac{\Sigma a}{d_0}\right) \quad (5)$$

Чтобы урвать размерности правой и левой частей этого равенства, принимаем $\alpha=1$. Тогда в безразмерном виде получаем:

$$\frac{\Delta}{d_0} = f\left(\frac{t_0}{d_0}, \frac{\Sigma a}{d_0}\right) \quad (6)$$

Для эффективного использования функции (6) необходимо учесть влияние высоты микронеровностей Rz на составляющие этой зависимости (6). На величину обработанного диаметра существенное влияние оказывает высотный параметр шероховатости например Rz , которая уменьшается по мере протягивания каждого деформирующего элемента, увеличивая тем самым величину диаметра обработанного отверстия. Увеличение диаметра за счет пластичного деформирования шероховатого слоя уменьшает усадку отверстия, что можно учесть, представив безразмерное значение усадки в виде:

$$\frac{\Delta - (Rz_n - Rz_{n+1})}{d_0},$$

где Rz_n, Rz_{n+1} – высота микронеровностей до и после обработки соответственно.

Исходная шероховатость оказывает влияние и на натяг. Мы рассматриваем процесс деформирования полухрупких материалов, который, как указывалось ранее, характерен применением малых натягов, сопоставимых с высотными параметрами обрабатываемой поверхности. Особенно эти влияние заметно на первых циклах деформации, когда параметр Rz весьма значителен. Далее, по мере снижения высоты параметров их влияние становится малозаметным. Учесть это влияние можно, представив суммарный натяг в виде:

$$\frac{\sum_{i=1}^N a_i - Rz_n}{d_0}$$

Тогда зависимость (6) представим в виде:

$$\frac{\Delta - (Rz_n - Rz_{n+1})}{d_0} = f\left(\frac{t_0}{d_0}, \frac{\Sigma a - Rz_n}{d_0}\right) \quad (7)$$

Расчетным путем можно учесть изменение параметра Rz . Ранее авторами [4,6] был сделан вывод, что при небольшом числе циклов деформирования параметр Rz обработанной поверхности зависит только от одного интегрального параметра – контактного давления q , которое в свою очередь зависит от всего комплекса технологических факторов процесса. Однако эти исследования касались обработки заготовок из пластичных материалов. Какие либо подобные вопросы при обработке полухрупких материалов, каким является чугун, в литературе не рассмотрены. Поэтому были проведены эксперименты по выявлению возможности использования этого вывода при обработке заготовок из чугуна.

Выполняя анализ схемы деформирования микронеровностей при деформирующем протягивании, авторами работы [4] сформулировано предположение, что среднее контактное напряжение при последовательном смятии микронеровностей должно быть постоянным. Ими были спланированы и проведены эксперименты по сжатию моделей разной формы, изготовленных из различных пластичных материалов. Эксперименты подтвердили выдвинутое предположение и позволили авторам создать теоретическую модель формирования параметров шероховатости при малоцикловом деформировании.

Нами была поставлена задача испытать указанную методологию при обработке заготовок из чугуна, а полученные результаты использовать при определении высотных параметров шероховатости, необходимых для применения в зависимости (7). Модельные испытания производились на образцах конической формы, изготовленных из серого чугуна марки СЧ20, с углом конусности $\beta=90^\circ$ согласно схемы (рис. 2).

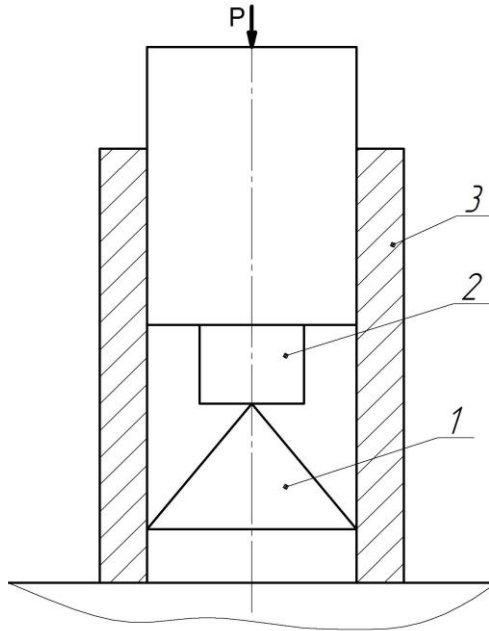


Рисунок 2 – Устройство для определения степени упрочнения исследуемых материалов: 1 – конический образец из исследуемого материала; 2 – твердосплавный боек; 3 – направляющая втулка

К вершине образца 1, который закреплен в обойме 2, через твердосплавный плунжер прикладывалась осевая нагрузка, достаточная для пластического деформирования его вершины, с последующей разгрузкой и изменением площадки отпечатка. Кроме этого посредством тензометрического динамометра известной конструкции фиксировалась осевая нагрузка. Опыты производились на гидравлической испытательной машине УИМ-50.

Как следует из приведенного графика (рис. 3), среднее контактное напряжение, определяемое как $\sigma_n = \frac{F}{S}$, до значительных степеней сжатия остается постоянным на каждом цикле.

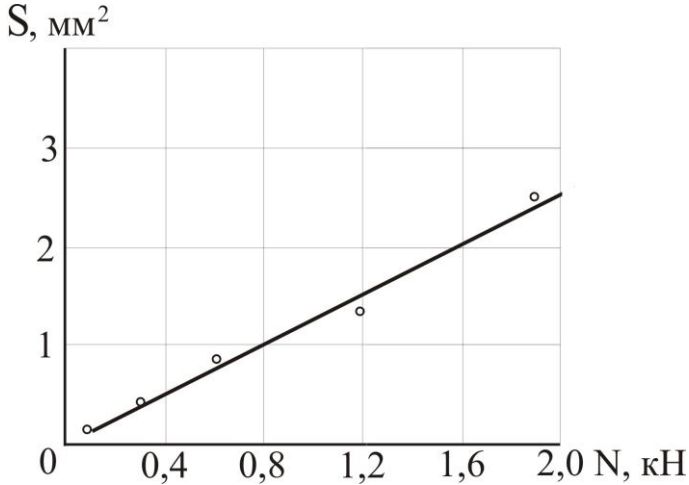


Рисунок 3 – Зависимость площади смятия от приложенной нагрузки, образец СЧ20, HB170 ГПа, угол при вершине $\beta=90^\circ$

Более того, изменение высоты образца при его последующем деформировании пропорционально нагрузке (рис. 4), что в свою очередь указывает на функциональную связь высотных параметров шероховатости с суммарным контактным давлением.

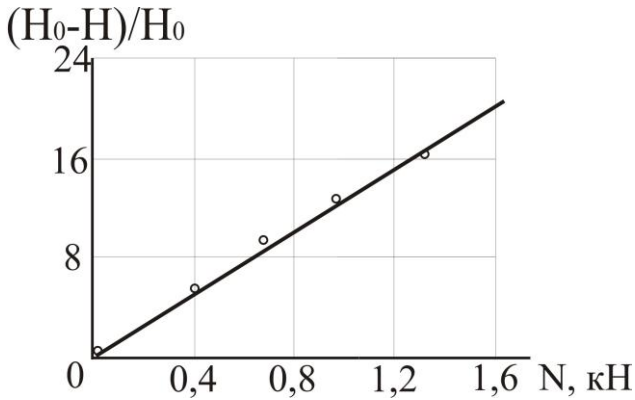


Рисунок 4 – Зависимость осевой деформации образца от приложенной нагрузки

Для определения этой связи при деформировании заготовок из чугуна проводились следующие эксперименты. Заготовки из чугуна СЧ20 с $d_0=35,5$ мм, $t_0=5,10$ и 20 мм, обрабатывались деформирующими элементами из твердого сплава ВК15 с натягами на элемент $a=0,05; 0,1$ и 0,15 мм и углами $\alpha=2,4,8$ и 12° . При этом по известным методикам фиксировались силы протягивания, ширина контакта, а также параметры шероховатости. Контактные давления после прохода деформирующего элемента рассчитывались исходя из известной зависимости [1]. Сначала по известной осевой силе, ширине контакта и диаметру деформирующего элемента рассчитываем значение контактного давления:

$$q = \frac{Q \cdot \cos \rho}{\pi \cdot d_y \cdot l \cdot \sin(\alpha + \rho)} \quad (8)$$

где $\rho = \arctg(f)$

Затем по известной экспериментальной зависимости для определения коэффициента трения при обработке графитсодержащих чугунов [5] уточняем значение коэффициента трения.

$$f = 0,079 \cdot Ra^{-0,11} \cdot q^{-1,09} \quad (9)$$

Далее, используя уточненное значение коэффициента трения, вновь рассчитываем значение f по зависимости (9). Цикл продолжаем до тех пор, пока значение коэффициента трения не будет соответствовать определенному контактному давлению.

Из рис. 5 следует, что при обработке заготовок из чугуна также имеет место функциональная связь высотных параметров шероховатости с суммарным контактным давлением. Чтобы учесть влияние исходной шероховатости в качестве высотного параметра использовалась относительная высота шероховатости $\frac{Rz}{Rz_0}$. Влияние исходной шероховатости имеет место только на двух-трех циклах деформирования, когда процесс сминания соответствует нашим модельным экспериментам. Происходит это до суммарного контактного давления $\sum q \approx 3$ ГПа. При увеличении суммарных контактных давлений свыше интенсивность снижения гребешков микронеровностей уменьшается из-за значительного их упрочнения [4] и деформация начинает распространяться в основной объем материала. В этом случае влияние параметра Rz на значение усадки отверстия незначительно.

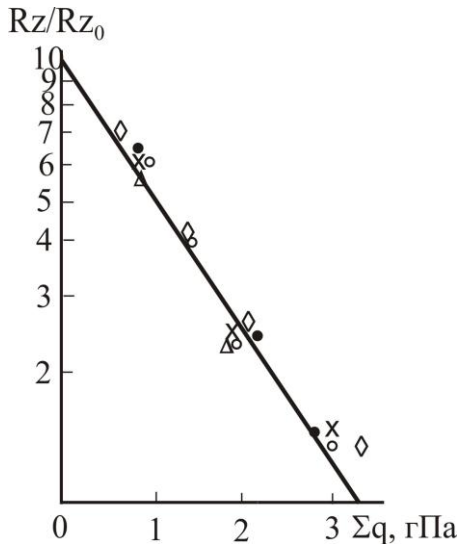


Рисунок 5 – Зависимость параметра $\frac{Rz}{Rz_0}$ от суммарных контактных давлений,

накопленных на всех циклах деформирования при обработке втулок из чугуна СЧ20, HB 170 ГПа, $d_0=35,5$ мм, где

° – ($a/d_0=0,0028$; $t_0/d_0=0,14$; $\alpha=4^\circ$); • – ($a/d_0=0,0014$; $t_0/d_0=0,56$; $\alpha=4^\circ$);

◇ – ($a/d_0=0,0014$; $t_0/d_0=0,14$; $\alpha=4^\circ$); Δ – ($a/d_0=0,0028$; $t_0/d_0=0,56$; $\alpha=2^\circ$);

х – ($a/d_0=0,0028$; $t_0/d_0=0,28$; $\alpha=4^\circ$)

Обработка экспериментальных данных, представленных на рис. 5, позволила получить инженерную зависимость для определения высотных параметров шероховатости при малоцикловом деформировании

$$\frac{Rz}{Rz_0} = \frac{0,95}{10^{0,32 \Sigma q}} \quad (10)$$

Из уравнения (10) можно решить и обратную задачу – по известным параметрам шероховатости определить действующие контактные давления.

На рис. 6 представим функцию, то есть зависимость относительной усадки от относительного суммарного натяга при обработке заготовок с различным отношением толщины стенки к диаметру t_0/d_0 : 0,14; 0,28 и 0,56; деформирующими элементами с углами $\alpha=2,4,8$ и 12° , которые обеспечивают натяг на элемент a/d_0 : 0,0014; 0,0028 и 0,0042

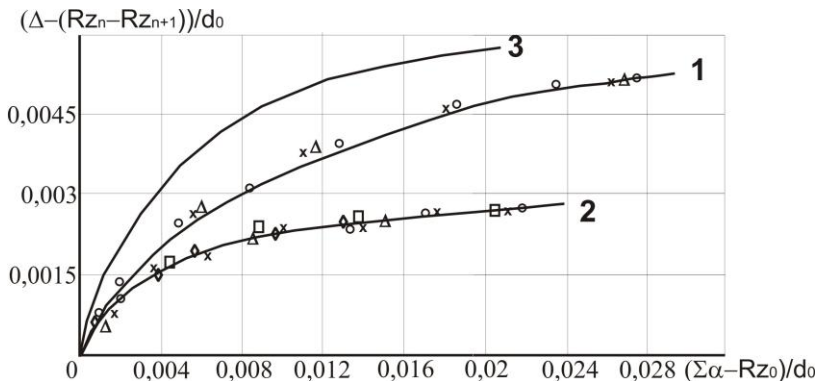


Рисунок 6 – Зависимость относительной усадки отверстия от относительной суммарной деформации отверстия с учетом снижения шероховатости при обработке заготовок из чугуна СЧ20 деформирующими элементами с углами $\alpha=2,4,8$ и 12° , с натягами на элемент $a/d_0=0,0014; 0,0028; 0,0042$ и толщинами стенки t_0/d_0 :

1 – 0,56; 2 – 0,14...0,28; 3 – пример расчета изделий с бесконечной толщиной по уравнению [7].

- 1: $^\circ - \alpha=4^\circ; a/d_0=0,0014; x - \alpha=4^\circ; a/d_0=0,0028; * - \alpha=8^\circ; a/d_0=0,0042$
 2: $x - \alpha=4^\circ; t_0/d_0=0,56; a/d_0=0,0014; \alpha=4^\circ; ^\circ - t_0/d_0=0,28; a/d_0=0,0014; \alpha=4^\circ;$
 $\bullet - t_0/d_0=0,28; a/d_0=0,0028; \alpha=4^\circ; \square - t_0/d_0=0,14; a/d_0=0,0028; \alpha=4^\circ;$
 $\Delta - t_0/d_0=0,14; a/d_0=0,0042; \alpha=2^\circ; \diamond - t_0/d_0=0,28; a/d_0=0,42; \alpha=12^\circ$

Как следует из рис. 6 относительная усадка практически не зависит от угла α , а все ее значения в зависимости от относительного натяга ложатся на одну кривую (рис. 6, кривая 1 и 2). Кривую 2 можно аппроксимировать следующей зависимостью:

$$\frac{\Delta - (Rz_{n-1} - Rz_n)}{d_0} = \left[0,043 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^{0,62} - 2 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Анализируя результаты экспериментов можно сделать вывод. Как следует из данных, приведенных на кривой 2, при отношении толщины стенки к диаметру $t_0/d_0=0,14...0,28$ влияние толщины стенки практически отсутствует. При увеличении толщины стенки выше значения $t_0/d_0>0,28$ она начинает влиять на значение относительной усадки. Причем, это влияние становится заметным после 2-х циклов деформации. Кривая 1, которая описывает значения относительной усадки для заготовок с отношением

толщины стенки к диаметру $t_0/d_0=0,56$, аппроксимируется зависимостью (12)

$$\frac{\Delta - (Rz_{n-1} - Rz_n)}{d_0} = \left[0,057 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^{0,62} - 1,5 \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^2 \right] \quad (12)$$

Анализируя полученные уравнения (11) и (12) можно отметить их отличие в значениях коэффициентов в правой части уравнений. Значения этих коэффициентов зависят от толщины стенки. Для количественного учета влияния отношения толщины стенки к диаметру $t_0/d_0 > 0,28$ на значение относительной усадки получено уравнение (13):

$$\begin{aligned} \frac{\Delta - (Rz_{n-1} - Rz_n)}{d_0} = & 0,043 + 0,05 \cdot \left(\frac{t_0}{d_0} - 0,28 \right) \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^{0,62} - \\ & - 1,78 \cdot \left(\frac{t_0}{d_0} - 0,28 \right) \cdot \left(\frac{\sum a_\phi - Rz_{n-1}}{d_0} \right)^2 \end{aligned} \quad (13)$$

По нашему мнению, такое влияние толщины стенки обусловлено следующими причинами. Сравнивая значения усадки при различных толщинах стенки можно отметить, что с ростом величины значения $t_0/d_0 > 0,28$ значение усадки возрастает (кривая $t_0/d_0=0,56$ на рис. 6). При этом усадка достигает своего максимального значения при $t_0/d_0 \approx 1$, что соответствует заготовкам с бесконечной толщиной стенки (кривая 3, которая построена по данным работ [7]).

Можно предположить, что с увеличением толщины стенки высота внеконтактной зоны, имеющая максимальное значение в области $t_0/d_0 \approx 0,28$, начинает уменьшаться и при $t_0/d_0 \approx 1$ становится малозаметной, а усадка – максимальной. Приведенные данные показали, что выбор усадки в качестве основного параметра, определяющего размер обработанного отверстия, является наиболее приемлемым и учитывает особенности обработки изделий из чугуна деформирующим протягиванием. Изложенный материал позволяет сделать следующие выводы:

- на основании проведенных исследований разработаны уравнения для расчета усадки отверстия при деформирующем протягивании заготовок из серого чугуна;

- показано, что усадка отверстия не зависит от угла α и натяга на элемент, а определяется суммарной деформацией отверстия;

- влияние толщины стенки втулки наблюдается при соотношении $t_0/d_0 > 0,28$, причем с ее ростом усадка увеличивается. Максимальное значение

усадки наблюдается при обработке заготовок с бесконечной толщиной стенки;

– установлено, что на первых циклах деформирования имеет место существенное влияние высотных параметров шероховатости на величину усадки, которое в дальнейшем становится малозаметным. Влияние высотных параметров можно учитывать за счет установленной функциональной связи высотных параметров с суммарным контактным давлением, возникающим на каждом цикле деформирования изделий из серых чугунов.

Список использованных источников: 1. *Розенберг А.М., Розенберг О.А.* Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания.– Киев: Наук. Думка, 1990.– 320 с. 2. *Розенберг А. М., Посвятенко Э.К. и др.* Расчет и проектирование твердосплавных деформирующих протяжек и процесса протягивания // – К.: Наук. думка, 1978. – 256 с. 3. *Немировский Я. Б., Чернявский А. В.* Геометрическая точность изделий, обработанных деформирующим протягиванием с малыми деформациями // Резание и инструмент в технологических системах. Международ. научн.-техн. сборн.; НТУ «ХПИ», 2005 – 69. – С.201-210. 4. *Цеханов Ю. А., Шейкин С. Е.* Механика формообразования заготовок при деформирующем протягивании // Воронеж, ВГТА, 2001. –203 с. 5. *Чернявский А. В.* Повышение эффективности обработки отверстий в деталях из чугуна деформирующим протягиванием: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструмент» // – Киев, 1988. – 17 с. 6. *Немировский Я.Б.* Исследование процесса деформирующего протягивания отверстий с целью оптимизации инструмента с групповым расположением рабочих элементов: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии» // – Киев, 1981. – 24 с. 7. *Кривошея В.В.* Влияние угла рабочего конуса деформирующего элемента на процесс деформирующего протягивания цилиндрических отверстий: автореф. дис. на соискание степени канд. техн. наук спец. 05.03.01 «Процессы механической и физико-химической обработки, станки и инструмент» // – Киев, 1988. – 16 с. – Вип. 87. – С.269-278

Bibliography (transliterated): 1. *Rozenberg A.M., Rozenberg O.A.* Mehanika plasticheskogo deformiruvannya v processah rezannya i deformirujushhego protjagivannya.– Kiev: Nauk. Dumka, 1990.– 320 s. 2. *Rozenberg A. M., Posvjatenko Je.K. i dr.* Raschet i proektirovanie tverdosplavnih deformirujushhijh protjazhek i processa protjagivannya // – K.: Nauk. dumka, 1978. – 256 s. 3. *Nemirovskij Ja. B., Chernjavskij A. V.* Geometricheskaja tochnost' izdelij, obrabotannyh deformirujushhim protjagivaniem s malymi deformacijami // Rezanje i instrument v tehnologicheskijh sistemah. Mezhdunarod. nauchn.-tehn. sborn.; NTU «HPI», 2005 -№69. – S.201-210. 4. *Cehanov Ju. A., Shejkin S. E.* Mehanika formoobrazovannya zagotovok pri deformirujushhem protjagivannii // Voronezh, VGTA, 2001. –203 s. 5. *Chernjavskij A. V.* Povyshenie jeffektivnosti obrabotki otverstij v detaljah iz chuguna deformirujushhim protjagivaniem: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy mehanicheskij i fiziko-himicheskij obrabotki, stanki i instrument» // – Kiev, 1988. – 17 s. 6. *Nemirovskij Ja.B.* Issledovanie processa deformirujushhego protjagivannya otverstij s cel'ju optimizacii instrumenta s gruppovym raspolozheniem rabochih jelementov: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy i mashiny obrabotki materialov rezaniem; avtomaticheskie lini» // – Kiev, 1981. – 24 s. 7. *Krivosheja V.V.* Vlijanie ugla rabocheho konusa deformirujushhego jelementa na process deformirujushhego protjagivannya cilindricheskijh otverstij: avtoref. dis. na soiskanie stepeni kand. tehn. nauk spec. 05.03.01 «Processy mehanicheskij i fiziko-himicheskij obrabotki, stanki i instrument» // – Kiev, 1988. – 16 s. – vip. 87. – S.269-278

Поступила в редколлегию 16.12.2014