

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАГОТОВОК НА ПРОЦЕСС ДОРНОВАНИЯ

В.Ф. СКВОРЦОВ, канд. техн. наук, доцент
И.С. ОХОТИН, канд. техн. наук, доцент
А.С. ИВАНОВА, магистрант
Б.К. ОРМАНОВ, магистрант
(ТПУ, г. Томск)

Поступила 20 мая 2013 года
Рецензирование 30 июня 2013 года
Принята к печати 10 июля 2013 года

Скворцов В.Ф. – 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,
Томский политехнический университет,
e-mail: TMRI@tpu.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния степени толстостенности и относительной высоты заготовок из стали 30, изменяющихся соответственно в диапазонах 2...10 и 0,6...10, на их остаточные деформации и деформирующие усилия при одноцикловом дорновании отверстий диаметром 5 мм, выполняемом по схеме сжатия с натягами от 1,9 до 13,7 % от этого диаметра. Установлено, что при малой относительной высоте заготовок из-за снижения сопротивления деформированию вытесняемый при дорновании из отверстия металл смещается только на их выходной торец и наружную поверхность, а окружная остаточная деформация на этой поверхности, возрастая с увеличением натяга и уменьшением степени толстостенности заготовок, практически не зависит от их относительной высоты. Показано, что по мере увеличения натяга дорнования все более толстостенные заготовки (в диапазоне степеней толстостенности 2...5) претерпевают сквозные пластические деформации.

Ключевые слова: дорнование отверстий, остаточные деформации заготовок, деформирующие усилия.

Введение

Основными геометрическими параметрами обрабатываемых дорнованием заготовок являются степень их толстостенности, характеризуемая отношением диаметра наружной поверхности к диаметру отверстия D/d , и относительная высота L/d . Установлено, что с увеличением D/d возрастают деформирующие усилия и контактные давления, происходит более интенсивное сглаживание исходных микронеровностей и деформационное упрочнение металла поверхностного слоя и имеет место тенденция формирования в нем сжимающих остаточных напряжений [1, 2].

Авторы работ [3, 4], основываясь на результатах экспериментов, выполненных при малых (около 1 % от d) натягах на заготовках с относительной высотой $L/d \approx 2$, считают, что увеличение усилий и контактных давлений происходит при $D/d < 3$; при $D/d \geq 3$ они сохраняются неизменными; наружная область заготовок с $D/d \geq 3$ всегда находится в упругом состоянии, а вытесняемый из их отверстий металл в основном смещается в виде наплывов на торцы заготовок. В соответствии с изложенными представле-

ниями о влиянии степени толстостенности заготовок на процесс дорнования предложено обрабатываемые дорнованием заготовки разделять на два типа: с «конечной» ($D/d < 3$) и «бесконечной» ($D/d \geq 3$) толщиной стенок [3, 4].

Эксперименты, проведенные нами при натягах дорнования от 3 до 19 % от d , показали следующее [5, 6]. Увеличение степени толстостенности заготовок (при $D/d \geq 3$) при указанных натягах дорнования приводит к росту деформирующих усилий и контактных давлений. С повышением натяга все более толстостенные заготовки (вплоть до имеющих $D/d = 7,5$) из углеродистых и легированных сталей с $\sigma_{0,2} \leq 450$ МПа претерпевают сквозные пластические деформации. Образование наплывов на торцах заготовок происходит при входе и выходе дорна из отверстия. При этом объем (и размеры) наплывов почти не зависит от относительной высоты заготовки.

Необходимо отметить, что результаты исследований [5, 6] справедливы при дорновании отверстий в заготовках с $L/d \geq 2$ с использованием опоры с относительно большим диаметром отверстия, обеспечивающим практически свободное форми-

рование напыла металла на выходном торце заготовок. При $L/d < 2$, когда для исключения прогиба заготовок необходимо использовать опору с диаметром отверстия, близким к диаметру инструмента, процесс дорнования с большими натягами не исследован.

Результаты и обсуждение

Для того чтобы восполнить этот пробел и получить более полную картину влияния геометрических параметров заготовок на процесс дорнования, были выполнены экспериментальные исследования. Их проводили на заготовках из стали 30 (HB 1230 МПа) с диаметром отверстий 5 мм, степенью толстостенности 2; 3; 5 и 10, относительной высотой 0,6; 1; 2; 4 и 10. Дорнование отверстий производили однозубыми дорнами из твердого сплава ВК8 с углами рабочего и обратного конусов 6° и шириной соединяющей их цилиндрической ленточки 3 мм. Обработку выполняли с использованием специального приспособления [6] на испытательной машине УМЭ-10ТМ при скорости 0,008 м/с и натягах a/d 1,9 %, 4,7 %, 6,5 % и 13,7 %. В качестве смазочного материала при дорновании применяли жидкость МР-7.

В ходе экспериментов измеряли деформирующие усилия, диаметры отверстий и наружные диаметры заготовок, размеры и объем напылов металла на их торцах, а также осевую деформацию на наружной поверхности заготовок, которую находили по изменению расстояния между нанесенными на эту поверхность отпечатками конического индентора. Погрешность измерения деформирующих усилий составляла 10 Н; погрешность измерений геометрических параметров заготовок не превышала 0,002 мм. Объем напылов определяли путем построения их твердотельных моделей на ПК.

Сначала было изучено влияние диаметра отверстия опоры на образование напылов металла на выходном торце заготовок. Эксперименты проводились при разных натягах на заготовках с $D/d = 10$ и $L/d = 4$ при диаметре отверстия опоры 6; 7; 10 и 20 мм. Наибольший диаметр использованного дорна составлял 5,75 мм. Установлено, что если наибольший диаметр напыла d_{max} (рис. 1) превышает диаметр отверстия опоры d_0 , то при дорновании заготовка приподнимается на образующемся напыле, на котором формируется кольцевая площадка контакта с опорой. Причем при $d_0 \geq 7$ мм размеры напылов, возрастая с увеличением натяга дорнования, не зависят от диаметра отверстия опоры; при $d_0 = 6$ мм в отдельных случаях наблюдалось явление среза дорном части

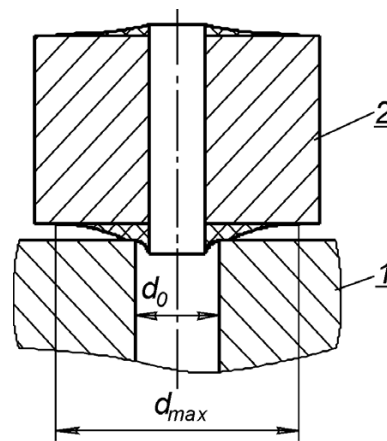


Рис. 1. Схема напылов металла на торцах заготовок, обработанных дорнованием:

1 – опора; 2 – заготовка

напыла, прилегающей к отверстию заготовки. Для исключения этого явления, а также прогибов заготовок малой высоты все дальнейшие опыты проводили на опоре с $d_0 = 7$ мм, используя в каждом из них по три заготовки.

Исследования показали, что при уменьшении относительной высоты заготовок происходит снижение деформирующих усилий (рис. 2), а картина их остаточных деформаций при дорновании претерпевает существенные изменения. У заготовок малой относительной высоты ($L/d \leq 1$) из-за пониженного сопротивления деформированию вытесняемый из отверстия металл смещается только на выходной торец и наружную поверхность. При этом на входном торце заготовок формируется впадина (утяжина). Сказанное подтверждают результаты экспериментов,

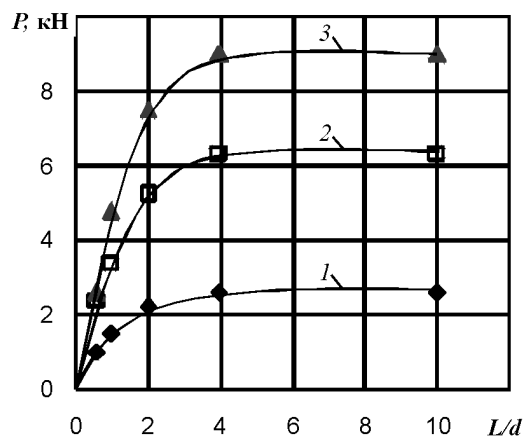


Рис. 2. Зависимости деформирующих усилий при дорновании отверстий в заготовках с $D/d = 5$ от их относительной высоты при натягах:

1 – $a/d = 1,9\%$; 2 – $a/d = 6,5\%$; 3 – $a/d = 13,7\%$

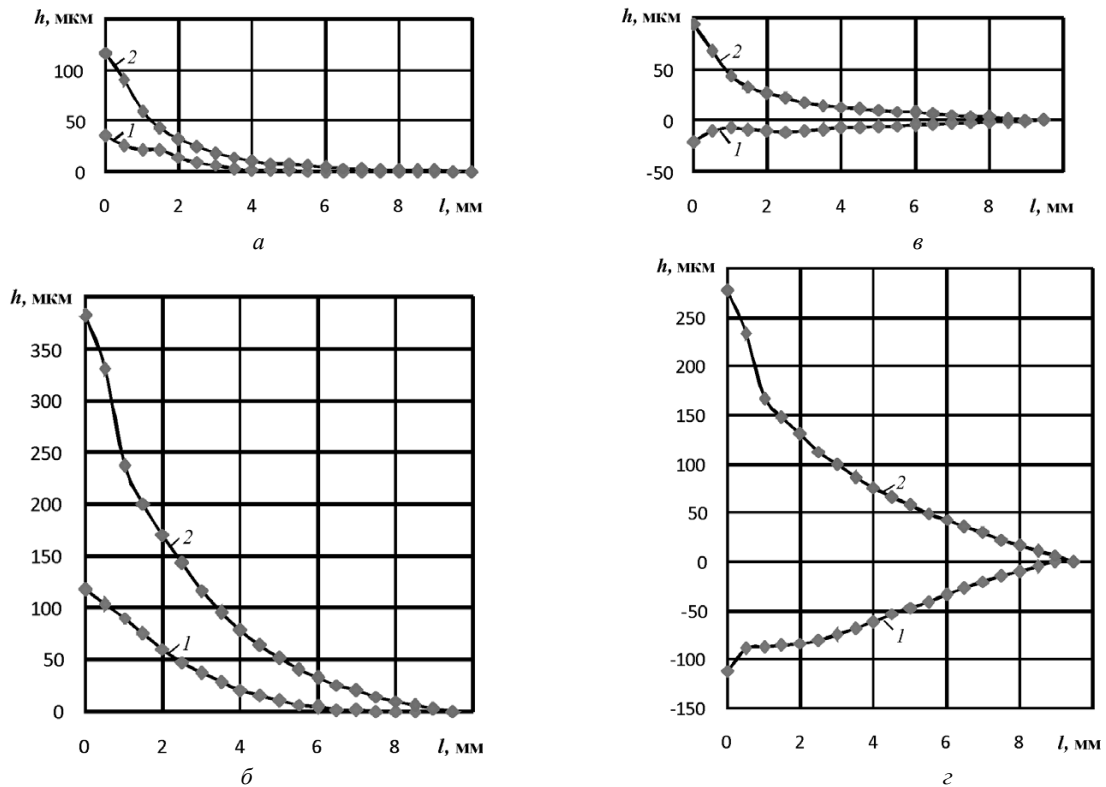


Рис. 3. Зависимости высоты наплывов (глубины впадин) металла на входном (1) и выходном (2) торцах заготовок с $D/d = 5$, формирующихся при дорновании, от расстояния до образующей отверстия:
 а – $L/d = 4, a/d = 1,9\%$; б – $L/d = 4, a/d = 13,7\%$; в – $L/d = 0,6, a/d = 1,9\%$; г – $L/d = 0,6, a/d = 13,7\%$

приведенные на рис. 3. Если на заготовках с $D/d = 5$ при $L/d = 4$ в процессе дорнования на обоих торцах образуются наплывы металла (рис. 3, а и б), размеры и объем которых возрастает с увеличением натяга, то при $L/d = 0,6$ на выходном торце образуется наплыв,

а на входном – впадина (рис. 3, в и г). При этом их размеры и объем также возрастают с увеличением натяга.

На рис. 4 показаны зависимости отношения суммарного объема металла, вытесненного на торцы (V_T), к объему металла, вытесненного при дорновании из отверстия (V_d), от относительной высоты заготовок (при образовании впадины на входном торце V_T определяли путем вычитания из объема наплыва на выходном торце объема впадины). Видно, что для заготовок с $D/d \leq 5$ отношение V_T / V_d возрастает с увеличением степени толстостенности заготовок и уменьшением их относительной высоты и натяга дорнования, изменяется в широких пределах – от 0,92 до 0,02. При $L/d = 10$ подавляющая часть металла, вытесняемого из отверстия, смещается на наружную поверхность заготовок.

Так как отношение V_T / V_d с уменьшением L/d возрастает (рис. 4), то казалось бы при этом должна снижаться окружная остаточная деформация на наружной поверхности заготовок ϵ_0 ($\epsilon_0 = \Delta D/D$, где ΔD – приращение диаметра этой поверхности при дорновании). Однако, как показали эксперименты, с уменьшением L/d одновременно возрастает осевая остаточная деформация сжатия ϵ_z на наружной поверхности заготовок (рис. 5), которая увеличивает окружную остаточную деформацию ϵ_0 . Вследствие этого окружная остаточная деформация на наружной

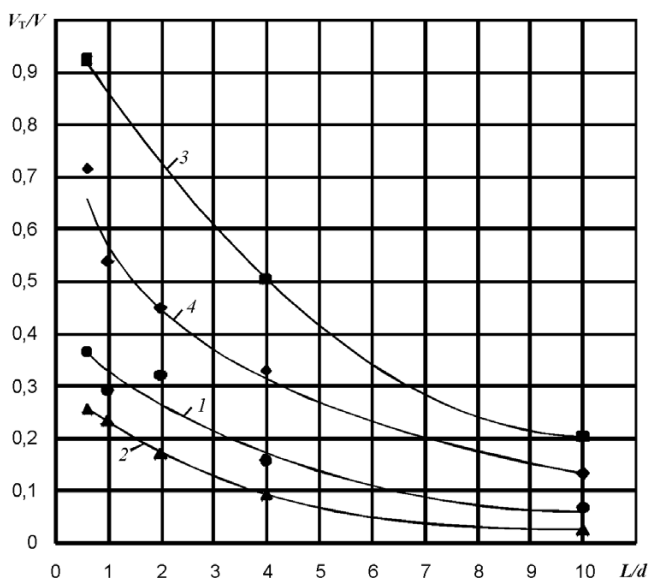


Рис. 4. Зависимости отношения объема металла, вытесненного на торцы, к объему металла, вытесненного при дорновании из отверстия, от относительной высоты заготовок:

1 – $D/d = 3, a/d = 6,5\%$; 2 – $D/d = 3, a/d = 13,7\%$;
 3 – $D/d = 5, a/d = 6,5\%$; 4 – $D/d = 5, a/d = 13,7\%$

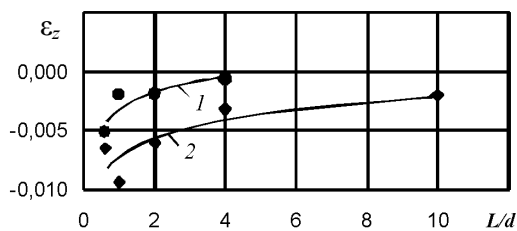


Рис. 5. Зависимости осевой остаточной деформации на наружной поверхности заготовок от их относительной высоты при натяге дорнования $a/d = 13,7\%$:

1 – $D/d = 5$; 2 – $D/d = 3$

поверхности заготовок, увеличиваясь с уменьшением степени их толстостенности и повышением натяга дорнования, оказывается практически независимой от их относительной высоты (рис. 6).

Если $\epsilon_0 \geq 0,002$, то можно считать, что пластические деформации достигли наружной поверхности заготовок [3], т. е. являются сквозными. Как видно

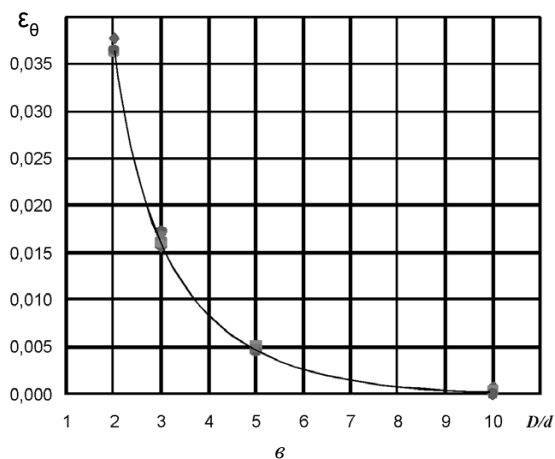
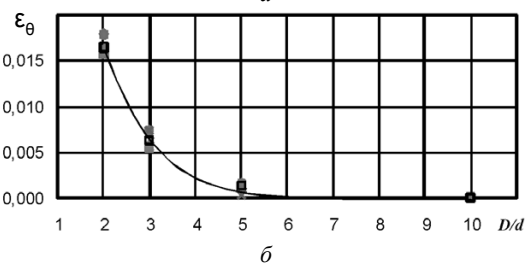
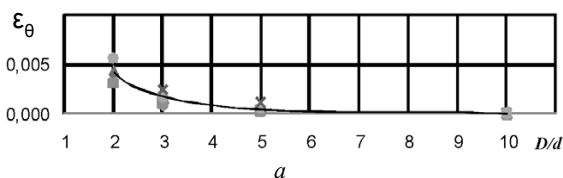


Рис. 6. Зависимости окружной остаточной деформации на наружной поверхности заготовок от степени их толстостенности при натягах дорнования:

$a/d = 1,9\%$ (а); $a/d = 6,5\%$ (б) и $a/d = 13,7\%$ (в).

Относительная высота заготовок:

$L/d = 10$ – ◆; $L/d = 4$ – ▲; $L/d = 2$ – ■; $L/d = 1$ – ●;
 $L/d = 0,6$ – ×

из рис. 6, при натяге $a/d = 1,9\%$ сквозную пластическую деформацию претерпевают заготовки с $D/d = 2$; при натяге $a/d = 6,5\%$ – заготовки с $D/d = 3$ и при натяге $a/d = 13,7\%$ – заготовки с $D/d = 5$. Наружная область заготовок с $D/d = 10$ даже при $a/d = 13,7\%$ остается в упругом состоянии.

Таким образом, по мере увеличения натяга дорнования все более толстостенные заготовки (в диапазоне степеней толстостенности 2...5) независимо от их относительной высоты претерпевают сквозные пластические деформации. В связи с этим упомянутая выше классификация обрабатываемых дорнованием заготовок по степени толстостенности нуждается в уточнении.

Выводы

При малой относительной высоте ($L/d \leq 1$) заготовок с $D/d \geq 3$) вытесняемый из отверстия при дорновании металл смещается только на их выходной торец и наружную поверхность. При этом на входном торце заготовок формируется впадина.

Окружная остаточная деформация на наружной поверхности обрабатываемых дорнованием заготовок, возрастая с уменьшением степени их толстостенности и увеличением натяга дорнования, практически не зависит от их относительной высоты.

По мере повышения натяга дорнования все более толстостенные заготовки (в диапазоне степеней толстостенности 2...5) независимо от их относительной высоты испытывают сквозные пластические деформации.

Список литературы

1. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий. – М.; Свердловск: Машгиз, 1961. – 192 с.
2. Проскуряков Ю.Г., Романов В.Н., Исаев А.Н. Объемное дорнование отверстий. – М.: Машиностроение, 1984. – 223 с.
3. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наукова думка, 1990. – 320 с.
4. Розенберг О.А., Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Технологическая механика деформирующего протягивания. – Воронеж: ВГТА, 2001. – 203 с.
5. Скворцов В.Ф., Охотин И.С., Арляпов А.Ю. Влияние степени толстостенности заготовок на процесс дорнования отверстий, выполняемый с большими натягами // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 2. – С. 62–65.
6. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Охотин И.С. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра // Справочник. Инженерный журнал. – 2012. – № 2. Приложение. – С. 1–24.

Obrabotka metallov

N 3 (60), July–September 2013, Pages 3-8

Influence of the geometric parameters of workpieces on the process of mandrelling

V.F. Skvortsov, I.S. Okhotin, A.S. Ivanova, B.K. Ormanov

National Research Tomsk Polytechnic University, Lenin Avenue, 30,

Tomsk, 634050, Russia

E-mail: TMRI@tpu.ru

Abstract

Results of experimental studies of the influence of wall thickness ratio and relative height of workpieces (made of steel with 0.3% C), that vary in the ranges of 2...10 and 0.6...10 respectively, on the residual stresses and deforming forces of the single-cycle compression mandrelling of 5 mm diameter holes performed with allowances varied between 1.9 and 13.7% of the diameter are given. It is found that, due to lower resistance to deformation the metal forced out of the hole is moved to the external surface and outlet face of the workpiece when the height of workpiece is small. In this case, a depression is formed on the inlet face of the workpiece. It is revealed that the hoop residual strain on the external surface of the workpieces being mandrelled increases with the allowance increasing and ratio of wall thickness decreasing, and is almost independent of workpiece relative height. It is shown that workpieces with greater wall thickness ratio (in the range of wall thickness ratio mentioned above) undergo throughout plastic deformations with allowance increase. In this regard, it is noted that the current classification of mandrelled workpieces based on the wall thickness ratio is unreasonable.

Keywords: Hole mandrelling; Residual strains in workpieces; Deforming forces.

References

1. Proskurjakov Ju.G. *Dornovanie otverstij* (Mandrelling holes). Moscow – Sverdlovsk, Mashgiz, 1961. 192 p.
2. Proskurjakov Ju.G., Romanov V.N., Isaev A.N. *Ob#emnoe dornovanie otverstij* (Volume mandrelling holes). Moscow, Mashinostroenie, 1984. 223 p.
3. Rozenberg A.M., Rozenberg O.A. *Mehanika plasticheskogo deformirovanija v processah rezanija i deformirujushhego protjagivaniija* (Mechanics of plastic deformation in the process of cutting and deforming broaching). Kiev, Naukova dumka, 1990. 320 p.
4. Rozenberg O.A., Cehanov Ju.A., Shejkin S.E. *Tehnologicheskaja mehanika deformirujushhego protjagivaniija* (Technological mechanics of deforming broaching). Voronezh, VSUET, 2001. 203 p.
5. Skvorcov V.F., Ohotin I.S., Arljapov A.Ju. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*, 2009, Vol. 314, no. 2, pp. 62-65.
6. Skvorcov V. F., Arljapov A. Ju., Ohotin I. S. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2012, no. 2, Supplement, pp. 1-24.