

1. Последовательно рассматривая сечения зоны стружкообразования под углом схода стружки, решить в каждом из них плоскую задачу теории пластичности по задаваемому типу НДС, законам распределения контактных напряжений и длинам силового контакта. Итогом этого решения должны являться величины контактных напряжений на передней и задней поверхностях лезвия.
2. Рассчитать физические составляющие силы резания путем интегрирования величин контактных напряжений по площадям контакта.
3. В зависимости от цели дальнейшего расчета можно перейти к решению других инженерных задач: определять технологические составляющие силы резания, решать задачи теплофизики [5], прочности и износа лезвия.
4. Дальнейшее развитие изложенной теории заключается в том, что в связи со сложностью процесса резания все решения должны быть заформализованы в соответствующих алгоритмах, и разработана специализированная система автоматизации научных расчетов параметров механики резания материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М., Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. – М.: Машгиз, 1956. – 368 с.
3. Петрушин С.И. Основы формообразования резанием лезвийными инструментами. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 204 с.
4. Полетика М.Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. – М.: Машиностроение, 1969. – 150 с.
5. Проскоков А.В. Повышение режущих свойств резцов с СМП за счет управления теплообменом в зоне резания: Дис. ... к.т.н.: спец. 05.03.01 / Томский политехнический университет; Юргинский технологический институт (филиал); Научн. рук. С.И. Петрушин. – Защищена 18.04.2007 г. – Юрга: 2007. – 179 с.

Поступила 29.01.2009 г.

УДК 621.787

## ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ТОЛСТОСТЕННОСТИ ЗАГОТОВОК НА ПРОЦЕСС ДОРНОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫЙ С БОЛЬШИМИ НАТЯГАМИ

В.Ф. Скворцов, И.С. Охотин, А.Ю. Арляпов

Томский политехнический университет  
E-mail: TMRI@tpu.ru

*Приведены результаты экспериментальных исследований влияния степени толстостенности заготовок в диапазоне ее изменения 2,3...6,5 на процесс дорнования отверстий, выполняемый с большими натягами. Установлено, что при натягах дорнования, превышающих определенное значение с повышением степени толстостенности в указанном диапазоне происходит монотонный рост деформирующих усилий, а пластические деформации охватывают все поперечное сечение заготовок. При этом объем вытесненного из отверстия металла на торцы заготовок возрастает с увеличением степени их толстостенности, натяга дорнования и числа его циклов и почти не зависит от глубины отверстий.*

#### Ключевые слова:

*Дорнование отверстий, деформирующие усилия, деформации заготовок, точность отверстий.*

Степень толстостенности обрабатываемых дорнованием заготовок принято характеризовать отношением диаметра их наружной поверхности к диаметру отверстия  $D/d$  [1–4]. С увеличением  $D/d$  возрастают контактные давления и деформирующие усилия, происходит более интенсивное сглаживание исходных микронеровностей и упрочнение поверхностного слоя отверстий.

Экспериментально установлено [3, 4], что увеличение деформирующих усилий (и контактных давлений) происходит при  $D/d < 3$ , при  $D/d \geq 3$  они сохраняются неизменными. По мнению авторов [3, 4], при дорновании отверстий в заготовках с  $D/d \geq 3$  их наружная область всегда (вне зависимо-

сти от применяемого натяга) находится в упругом состоянии, а вытесняемый из отверстия металл в основном смещается в виде наплывов на торцы заготовок. Поэтому дорнование отверстий в заготовках с  $D/d \geq 3$  рекомендуется выполнять только с малыми натягами (около  $0,01d$ ), а все обрабатываемые дорнованием заготовки предложено разделять на два типа: с «конечной» ( $D/d < 3$ ) и «бесконечной» ( $D/d \geq 3$ ) толщиной стенок [3, 4].

Следует учитывать, что изложенные представления о влиянии степени толстостенности заготовок на процесс дорнования [3, 4] основаны на экспериментах, выполненных при малых натягах [ $a = (0,01...0,03)d$ ] на заготовках небольшой высоты

( $L \approx 2d$ ). При больших относительных натягах, которые могут применяться при дорновании отверстий малого диаметра [1, 5], и большей высоте заготовок (глубине отверстий) это влияние остается неясным.

Исследования проводили на образцах в виде втулок из сталей 20 (НВ 1300 МПа) и Х12М (НВ 2100 МПа) с диаметром отверстий около 2 мм, наружным диаметром от 5 до 14 мм ( $D/d=2,3...6,5$ ) и высотой  $L$  от 4 до 40 мм. Дорнование отверстий выполняли однозубыми дорнами из твердого сплава ВК8, углы рабочего и обратного конусов которых были равны  $6^\circ$ , а ширина соединяющей их цилиндрической ленточки составляла 2 мм. Обработку производили на испытательной машине ИР 5057-50 путем проталкивания дорнов через отверстия с помощью специального приспособления [5] по схемам сжатия и растяжения (в последнем случае использовали втулки с буртом). Натяги дорнования достигали  $0,16d$ , число его циклов составляло от 1 до 3. Скорость дорнования была  $0,05$  м/мин. В качестве смазочных материалов использовали жидкость МР-7 (образцы из стали 20) и смесь этой жидкости с дисульфидом молибдена (образцы из стали Х12М). В ходе экспериментов измеряли деформирующие усилия, размеры образцов и погрешности формы их поверхностей. Параметры наплывов на торцах образцов измеряли не только после окончания дорнования, но и на различных его стадиях. Для этого дорн периодически останавливали и выводили из обрабатываемого отверстия. Определение объема наплывов выполняли с помощью построения их твердотельных моделей на ПЭВМ.

На рис. 1, а, приведены зависимости деформирующего усилия при одноцикловом дорновании отверстий в образцах из стали 20 от степени их толстостенности  $D/d$  при различных относительных натягах  $a/d$ . Видно, что при натяге  $a/d=0,045$  деформирующее усилие увеличивается до  $D/d=5,5$ , а затем стабилизируется. Причем при изменении  $D/d$  от 3 до 5,5 деформирующее усилие возрастает примерно в 1,7 раза. При больших натягах стабилизации деформирующего усилия не наблюдается. С увеличением  $D/d$  от 3 до 6,5 при натягах  $a/d$ , равных 0,096 и 0,15, деформирующее усилие возрастает более, чем в 2 раза.

Эксперименты показали, что в исследованном диапазоне степени толстостенности при повышении натяга до определенной величины пластические деформации охватывают все поперечное сечение образцов. Об этом свидетельствуют зависимости относительного приращения наружного диаметра образцов (окружной деформации на их наружной поверхности) от степени их толстостенности, приведенные на рис. 1, б. Если при натяге  $a/d=0,045$  окружная деформация на наружной поверхности наиболее толстостенных образцов ( $D/d=6,5$ ) из стали 20 составляет 0,0006 и является упругой, то при натяге  $a/d=0,15$  эта деформация уже составляет 0,003 и является упруго-пластической. При переходе от одноциклового дорнования к многоцикло-

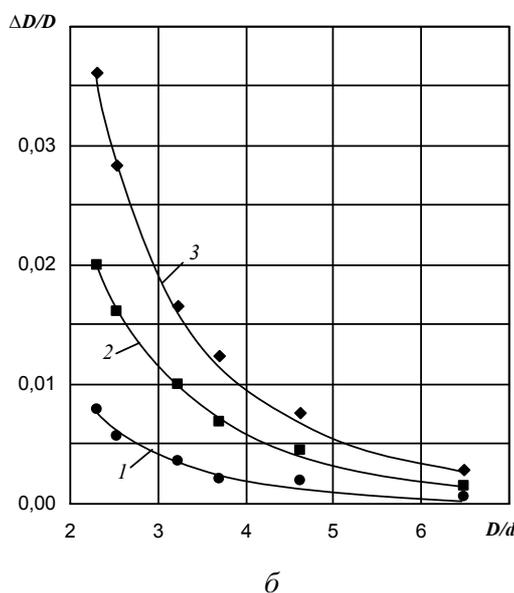
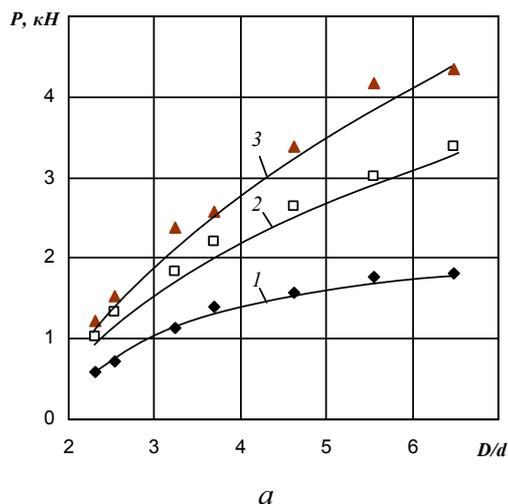


Рис. 1. Зависимости деформирующего усилия (а) и относительного приращения наружного диаметра образцов (б) от степени их толстостенности при одноцикловом дорновании с  $a/d$ : 1) 0,045; 2) 0,096; 3) 0,15. Сталь 20,  $d = 2,16$  мм,  $L = 8$  мм, схема сжатия

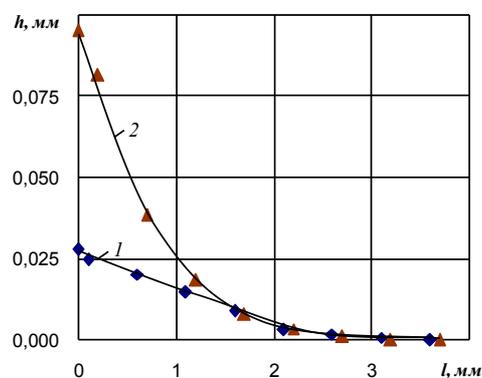
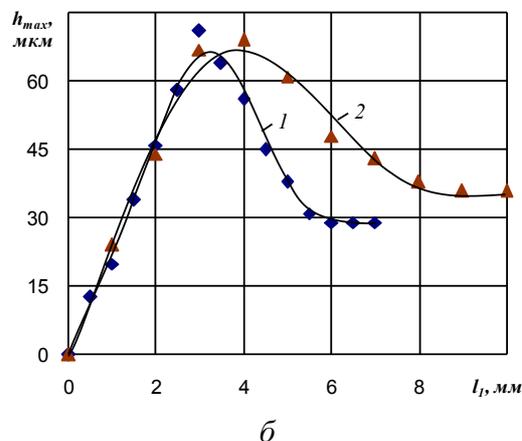
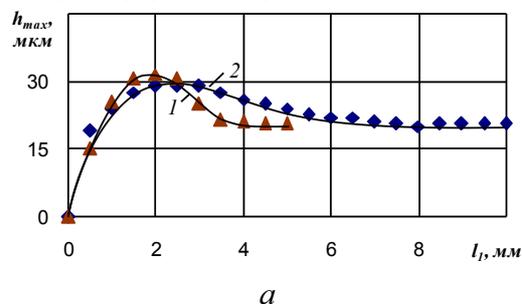


Рис. 2. Зависимости высоты наплывов на входном (1) и выходном (2) торцах образцов после одноциклового дорнования от расстояния от образующей отверстия: Сталь 20,  $d=2,16$  мм,  $D/d=4,6$ ,  $L=8$  мм,  $a/d=0,045$ , схема сжатия

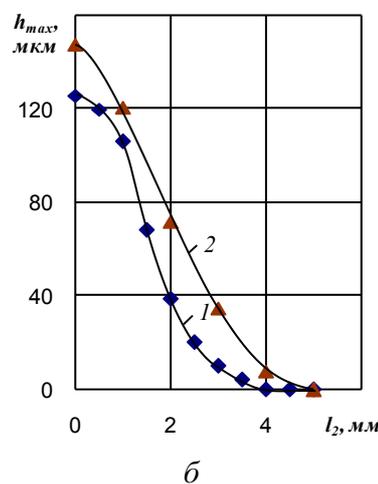
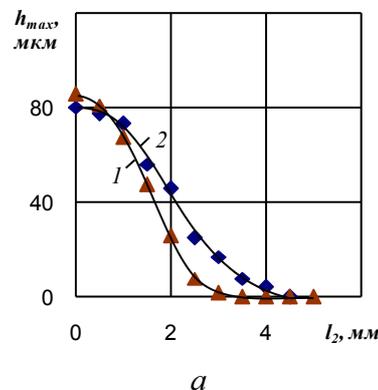
му (при  $a/d=a_z/d$ , где  $a_z$  – суммарный натяг при многоцикловом дорновании), и от дорнования по схеме сжатия к дорнованию по схеме растяжения наблюдается в целом небольшое (не превышающее 20 %) уменьшение окружной деформации на наружной поверхности образцов. Твердость сталей в изученном диапазоне ее изменения влияния на указанную деформацию практически не оказывает.



**Рис. 3.** Зависимости наибольшей высоты наплывов на входном торце образцов от расстояния, пройденного дорном от момента касания с отверстием при одноцикловом дорновании с натягом  $a/d = 0,05$  (а) и  $a/d = 0,14$  (б) при  $L$ : 1) 4; 2) 12 мм

Установлено, что образование наплывов на торцах образцов происходит при входе и выходе дорна из отверстия. Наибольшую высоту наплывы имеют у образующей отверстия (рис. 2), причем на выходном торце образцов эта высота (и объем наплывов) оказывается в несколько раз больше, чем на входном. По мере входа дорна в отверстие наибольшая высота наплывов изменяется не монотонно (рис. 3) (на рис. 3–6 приведены результаты экспериментов, выполненных на образцах из стали 20 с  $d=2,16$  мм,  $D/d=4,6$  по схеме сжатия). Эта высота сначала возрастает, достигает максимума, а затем снижается и далее сохраняется постоянной, т. е. при входе дорна в отверстие вытесняемый из него металл сначала смещается навстречу дорну, а затем увлекается им и частично смещается в обратном направлении. По мере выхода дорна из отверстия наибольшая высота наплывов на выходном торце монотонно увеличивается (рис. 4). Расстояния от торцов образцов, на которых происходит формирование наплывов (расстояния от торцов до плоскости пере-

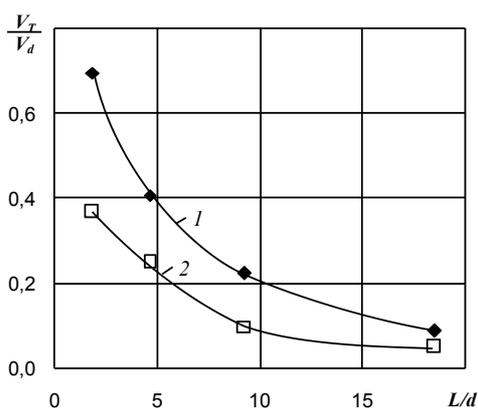
сечения рабочего конуса дорна с цилиндрической ленточкой), возрастают с увеличением натяга и достигают  $(2...2,5)d$ . Если высота образцов оказывается меньше этих значений, то образование наплывов на входном и выходном торцах происходит одновременно (см. кривые 1 на рис. 3 и 4).



**Рис. 4.** Зависимости наибольшей высоты наплывов на выходном торце образцов от расстояния между этим торцом и плоскостью пересечения рабочего конуса дорна с цилиндрической ленточкой при одноцикловом дорновании с натягом  $a/d = 0,05$  (а) и  $a/d = 0,14$  (б) при  $L$ : 1) 4; 2) 12 мм

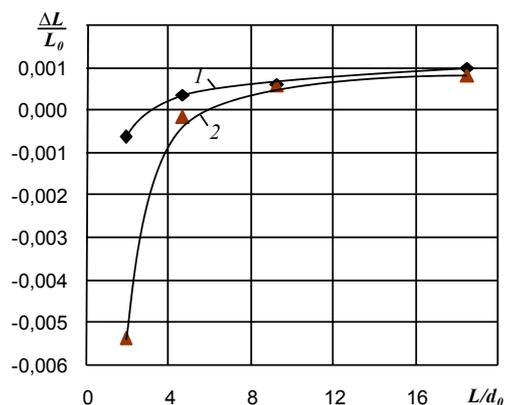
Объем наплывов металла на торцах возрастает с увеличением степени толстостенности образцов, натяга дорнования и числа его циклов. Влияние схемы дорнования и твердости сталей на объем наплывов является слабым.

Экспериментально установлено, что объем наплывов практически не зависит от глубины отверстий (при  $L/d \geq 2$ ). Поэтому отношение объема наплывов  $V_t$  к объему металла  $V_b$ , вытесненного из отверстия в процессе дорнования, изменяется обратно пропорционально величине  $L/d$  (рис. 5). Если, например, для образцов из стали 20 с  $D/d=4,6$  при  $L/d=2$  (для натяга  $a/d=0,15$ ) это отношение составляет 0,37, то при  $L/d=18$  оно падает до 0,05, т. е. при дорновании глубоких отверстий подавляющая часть вытесняемого из отверстия металла смещается на наружную поверхность образцов.



**Рис. 5.** Зависимости отношения объема металла, вытесненного на торцы образцов, к объему металла, вытесненного при одноцикловом дорновании из отверстия от его относительной глубины при  $a/d$ : 1) 0,045; 2) 0,15

Поскольку отношение  $V_v/V_d$  с уменьшением  $L/d$  растёт (см. рис. 5), то, казалось бы, при этом должна уменьшаться доля объема металла, смещаемого на наружную поверхность образцов, и окружная деформация на этой поверхности. Однако указанная деформация, как показали эксперименты, практически не зависит от высоты образцов (глубины отверстий). Это объясняется тем, что имеющая место при дорновании отверстий осевая деформация образцов также зависит от отношения  $L/d$  (рис. 6). Причем с его уменьшением осевое растяжение образцов снижается и сменяется их сжатием, что увеличивает окружную деформацию на наружной поверхности образцов.



**Рис. 6.** Зависимости осевой деформации образцов при одноцикловом дорновании отверстий от их относительной глубины при  $a/d$ : 1) 0,045; 2) 0,15

Таким образом, существующие представления о влиянии степени толстостенности заготовок на процесс дорнования [3, 4] при больших натягах ( $a/d \geq 0,045$ ) экспериментально не подтверждаются.

В этой связи имеющаяся классификация подвергаемых дорнованию заготовок по степени толстостенности [3, 4] представляется не обоснованной.

В заключение отметим, что дорнование отверстий малого диаметра ( $d=1...5$  мм) в заготовках с  $D/d \geq 3$  может производиться с натягами, достигающими  $(0,1...0,15)d$ . Оно может выполняться сразу после сверления отверстий и обеспечивать повышение их точности с IT11-IT14 до IT6-IT8 [5, 6]. При этом особенно перспективным представляется использование дорнования для обработки глубоких отверстий.

#### 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., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с.
6. Скворцов В.Ф., Охотин И.С., Арляпов А.Ю. Точность при дорновании с большими натягами отверстий малого диаметра в толстостенных втулках // Обработка металлов. – 2007. – № 4. – С. 15–17.

Поступила 14.01.2009 г.