

УДК 621.787

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ДОРНОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА В ПОЛЫХ ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРАХ С БОЛЬШИМИ НАТЯГАМИ

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

Томский политехнический университет

E-mail: TMRI@tpu.ru

Приведены методика и результаты экспериментальных исследований остаточных напряжений при дорновании отверстий малого диаметра в полых толстостенных цилиндрах. Установлено, что при больших натягах в стальных цилиндрах формируются значительные окружные, радиальные и осевые остаточные напряжения, которые возрастают с увеличением степени толстостенности цилиндра, натяга и числа циклов дорнования.

Ключевые слова:

Дорнование отверстий, режим дорнования, остаточные напряжения, толстостенные цилиндры.

Key words:

Hole mandrelling, mandrelling parameters, residual stresses, thick-walled cylinders.

Дорнование отверстий малого диаметра ($d=1...5$ мм) в заготовках типа полых толстостенных цилиндров ($D/d \geq 3$, где D – их наружный диаметр), выполняемое с большими натягами (более $0,03 d$), является простым и весьма производительным методом их отделочно-упрочняющей обработки. Дорнование с большими натягами может выполняться сразу после сверления отверстий спиральными сверлами, обеспечивая их высокую точность ($IT6...IT8$), малую шероховатость поверхности ($Ra=0,1...0,32$ мкм) и значительное деформационное упрочнение поверхностного слоя [1, 2]. Остаточные напряжения, формирующиеся в заготовках указанного типа при дорновании отверстий с большими натягами, оставались неизученными.

Исследования проводили на образцах из стали Х12Ф1 (НВ 2100 МПа, $\sigma_{0,2}=450$ МПа) с диаметром отверстий $d=5$ мм и высотой 30 мм. В образцах первого типа наружный диаметр составлял 15,9 мм (степень толстостенности $D/d=3,2$), второго типа – 23 мм ($D/d=4,6$). Дорнование отверстий выполняли однозубыми дорнами из твердого сплава ВК8. Углы рабочего и обратного конусов дорнов составляли 6° , ширина соединяющей их цилиндрической ленточки была 3 мм. Дорнование отверстий осуществляли за один и два цикла с использованием специального приспособления [2] со скоростью около 0,5 м/мин. В качестве смазочного материала при этом применяли смесь жидкости МР-7 с дисульфидом молибдена. Значения натягов, использованных при дорновании отверстий, приведены в таблице.

Остаточные напряжения определяли методом Закса [3]. В соответствии с этим методом с внутренней поверхности образцов последовательно удаляли слой металла, измеряли возникающие при этом изменения их наружного диаметра и высоты, а затем рассчитывали средние значения окружных, радиальных и осевых остаточных напряжений в удаленных слоях. В каждом эксперименте использовали по 2 образца.

Удаление слоев, толщина которых для образцов первого и второго типа соответственно составляла 0,8 и 1,0 мм, производили на вырезном электроэрозионном станке Sodick AQ 300L (Япония) за два перехода: черновой и чистовой, при котором снимался слой толщиной около 0,1 мм. При этом влияние собственно электроэрозионной вырезки на средние значения остаточных напряжений в удаленных слоях было несущественным.

Таблица. Натяги при дорновании отверстий

| Наружный диаметр образца, мм | Натяг дорнования, мм | | | Суммарный относительный натяг ($\Sigma a/d$)100, % |
|------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|
| | При первом цикле (a_1) | При втором цикле (a_2) | Суммарный (Σa) | |
| 15,9 | 0,050 | – | 0,050 | 1,0 |
| 15,9 | 0,265 | – | 0,265 | 5,3 |
| 15,9 | 0,265 | 0,015 | 0,280 | 5,6 |
| 23,0 | 0,050 | – | 0,050 | 1,0 |
| 23,0 | 0,265 | 0,015 | 0,280 | 5,6 |

Измерения диаметра наружной поверхности и высоты образцов выполняли относительным методом, используя микрокатор с ценой деления 0,0005 мм, по схемам, рис. 1. Перед этими измерениями наружную поверхность и торцы образцов подвергали тонкому шлифованию. В процессе измерений образец поворачивали не менее чем на 360° . Использованные схемы позволяли исключить влияние отклонений формы наружной поверхности и торцов, а также отклонений взаимного расположения последних на погрешности измерений размеров образцов и обеспечить высокую (0,0005 мм) точность этих измерений. Диаметры наружной поверхности определяли в двух поперечных сечениях образцов, расположенных на расстоянии 6 мм от их торцов. В каждом сечении находили предельные значения диаметров. Диаметр наружной поверхности образца принимали равным среднему из четырех значений диаметров, измеренных указанным образом. Высоту образца считали равной средней из двух предельных значений высот, найденных при измерении.

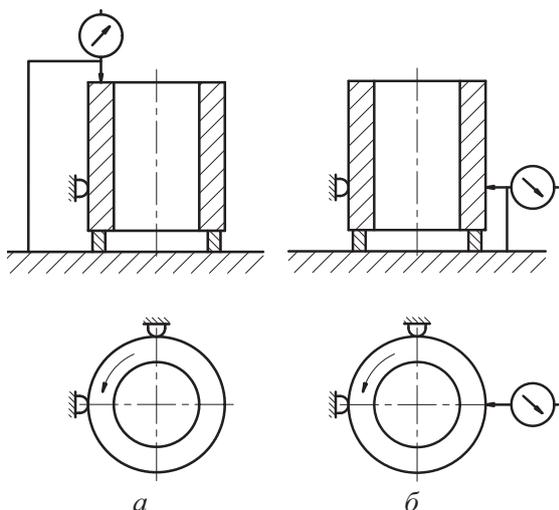


Рис. 1. Схемы измерения: а) высоты образца; б) наружного диаметра

На рис. 2 приведены зависимости приращений наружного диаметра и высоты образцов с $D=15,9$ мм, обработанных дорнованием за один цикл с различными натягами, от радиуса r их внутренней поверхности при электроэрозионной вырезке. На основе этих и других аналогичных зависимостей, используя формулы И.А. Биргера [3], были рассчитаны остаточные напряжения в обработанных дорнованием образцах. При расчете принимали: модуль упругости стали $E=2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu=0,3$. Расчет остаточных напряжений выполняли с использованием Microsoft Excel 2007.

Распределение окружных σ_θ , радиальных σ_r и осевых σ_z остаточных напряжений вдоль радиуса r образцов (эпюры напряжений) показано на рис. 3 и 4. Видно, что во всех исследованных случаях окружные остаточные напряжения в области, прилегающей к отверстию, являются сжимающими, а в области, прилегающей к наружной поверхности

образцов, – растягивающими. Радиальные остаточные напряжения равны нулю на поверхности отверстия и наружной поверхности образцов и являются сжимающими в остальной их области.

Осевые остаточные напряжения распределены вдоль радиуса образцов более сложным образом, преимущественно у поверхности отверстия они сжимающие, а в наружной области образцов – растягивающие.

Наибольшими (по абсолютной величине) являются окружные остаточные напряжения. Их значения у отверстия образцов могут быть близки к пределу текучести стали Х12Ф1 (материала образцов) и даже превышать его. Значительно меньшими оказываются радиальные и еще меньшими – осевые остаточные напряжения.

Минимальные остаточные напряжения в образцах с $D=15,9$ мм возникают при одноцикловом дорновании отверстий с натягом $a_1=0,05$ мм (рис. 3, а), когда воспроизводится упругий режим дорнования. (Радиус пластической области в образцах в этом случае, как следует из рис. 2, а, составляет около 5 мм). Наибольшие значения окружных и радиальных остаточных напряжений при этом натяге составляют 148 и 69 МПа. Увеличение натяга при одноцикловом дорновании отверстий в этих образцах до $a_1=0,265$ мм (рис. 3, б), когда пластические деформации охватывают все их поперечное сечение, приводит к повышению окружных и радиальных остаточных напряжений соответственно до 364 и 138 МПа, т. е. примерно в 2,5 и 2 раза. Двухцикловое дорнование отверстий с натягами $a_1=0,265$ мм и $a_2=0,015$ мм по сравнению с одноцикловым, выполненным с натягом $a_1=0,265$ мм, вызывает увеличение этих напряжений до 405 и 170 МПа (рис. 3, в). Осевые остаточные напряжения в образцах с $D=15,9$ мм, как видно из рис. 3, во всех случаях оказываются небольшими, не превышающими 58 МПа.

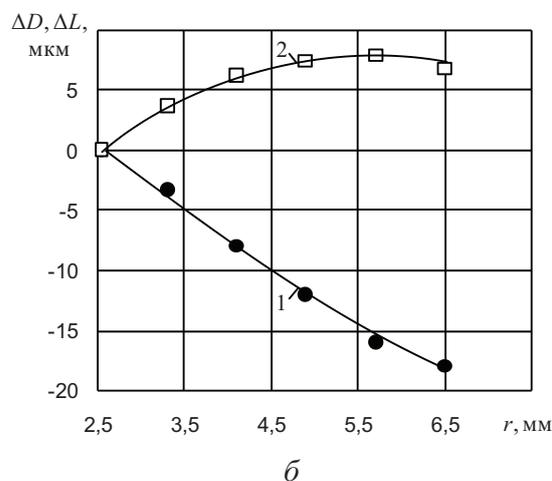
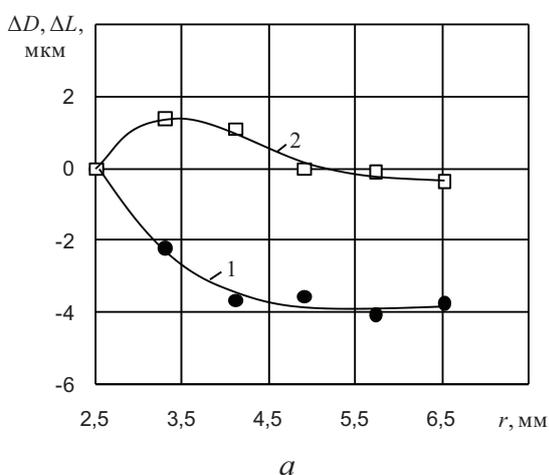
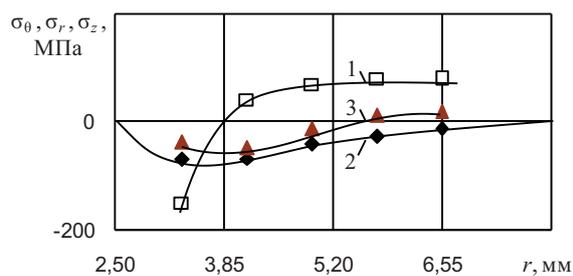
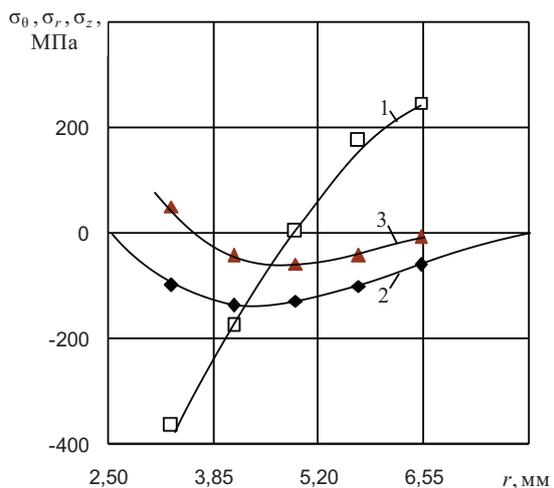


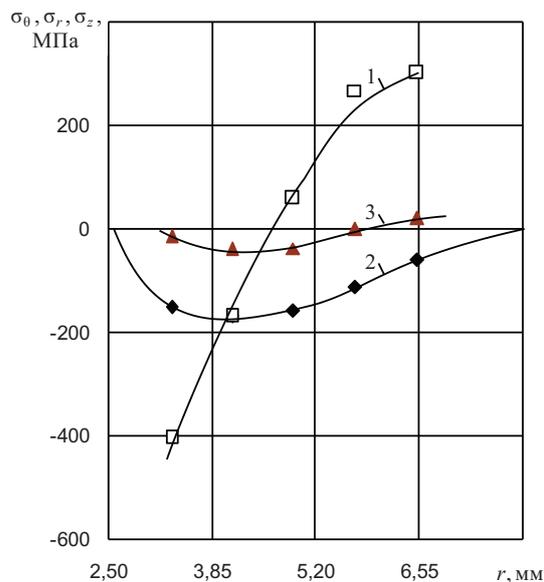
Рис. 2. Зависимости приращений наружного диаметра (1) и высоты (2) подвергнутых одноцикловому дорнованию с натягами $a_1=0,05$ мм (а) и $0,265$ мм (б) образцов с $D=15,9$ мм от радиуса их внутренней поверхности



а

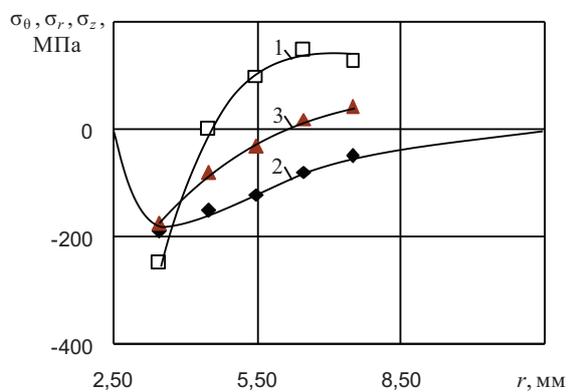


б

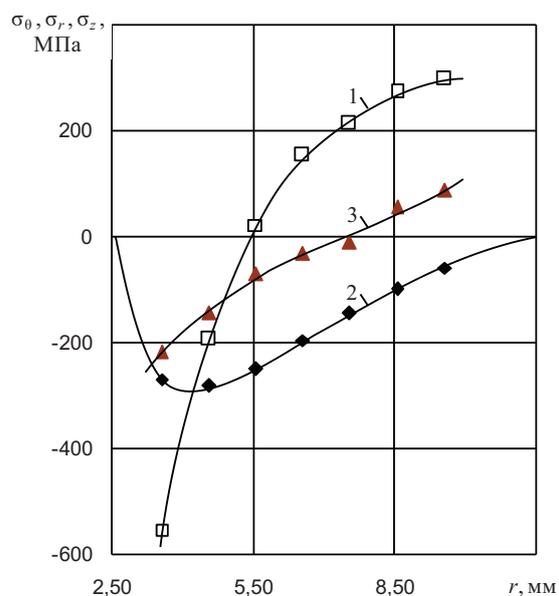


в

Рис. 3. Эпюры окружных (1), радиальных (2) и осевых (3) остаточных напряжений в образцах с $D=15,9$ мм, обработанных дорнованием: а, б) за один цикл соответственно с натягом $a_1=0,05$ мм и $a_1=0,265$ мм, в) за два цикла с натягами $a_1=0,265$ мм и $a_2=0,015$ мм



а



б

Рис. 4. Эпюры окружных (1), радиальных (2) и осевых (3) остаточных напряжений в образцах с $D=23$ мм, обработанных дорнованием: а) за один цикл с натягом $a_1=0,05$ мм, б) за два цикла с натягами $a_1=0,265$ мм и $a_2=0,015$ мм

Увеличение наружного диаметра образцов от 15,9 до 23 мм при одинаковых режимах дорнования отверстий вызывает значительное повышение всех компонентов остаточных напряжений (рис. 4). Особенно сильно возрастают осевые остаточные напряжения: при одноцикловом дорновании отверстий ($a_1=0,05$ мм) с 49 до 175 МПа (рис. 3, а, и 4, а); при двухцикловом дорновании отверстий ($a_1=0,265$ мм, $a_2=0,015$ мм) с 41 до 220 МПа (см. рис. 3, в, и 4, б).

Таким образом, в обработанных дорнованием с большими натягами заготовках рассматриваемого типа формируются весьма значительные окружные, радиальные и осевые остаточные напряжения. Наибольшими являются окружные остаточные напряжения, значения которых вблизи отверстия близки к пределу текучести материала заготовки. Все компоненты остаточных напряжений возрастают с увеличением степени толстостенности заготовок, натяга и числа циклов дорнования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 92 с.
2. Скворцов В.Ф., Арляпов А.Ю., Охотин И.С. Дорнование глубоких отверстий малого диаметра в толстостенных заготовках с большими натягами // Современные проблемы в технологии машиностроения: Сб. трудов Всеросс. научно-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 164–167.
3. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.

Поступила 01.02.2010 г.

УДК 621.744.4

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВСТРЯХИВАЮЩЕЙ ФОРМОВОЧНОЙ МАШИНЫ

А.Н. Глазов

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

Представлены результаты исследований в производственных условиях влияния давления сжатого воздуха и нагрузки на работу встряхивающей формовочной машины с полной амортизацией ударов. Приведены зависимости расхода воздуха от его давления и температуры. Дано описание измерительно-регулирующей установки.

Ключевые слова:

Формовочная машина, встряхивание, давление и температура, сжатый воздух, нагрузка, частота ударов, амплитуда, расход воздуха.

Key words:

Molding machine, shaking, pressure and temperature, compressed air, capacity, stroke frequency, amplitude, air consumption.

Введение

Сжатый воздух нашел широкое применение в литейном производстве для механизации и автоматизации технологических процессов в силу известных преимуществ пневматических устройств при выполнении многих видов работ. Номенклатура пневматического оборудования, применяемого в литейных цехах, довольно широка и включает: формовочные машины, трамбовки, молотки, бетоноломы, дозаторы, бегуны, толкатели, выбивные решетки и т. д. Давление и расход воздуха, при которых обеспечиваются паспортные характеристики, различны.

Температура сжатого воздуха в пневмосети имеет различную величину в зависимости от климатических условий, области применения машин, характеристик работы компрессорной установки и распределения пневматической энергии и др. Одним из мероприятий по экономии электроэнергии при выработке и использовании сжатого воздуха

является его подогрев, снижающий расход газа [1]. Температура сжатого воздуха влияет также на энергетические характеристики и температурное поле пневматических машин [2]. Известны примеры подогрева воздуха для молотов, мазутных форсунок и литейных машин.

Значительные потери пневматической энергии, различные климатические и эксплуатационные условия приводят к тому, что значения расхода воздуха и характеристики работы пневматических механизмов и машин существенно отличаются от паспортных данных. Поэтому представляется актуальным исследование в производственных условиях пневматического хозяйства и характеристик работы пневматических устройств с целью повышения эффективности производства, распределения сжатого воздуха и эксплуатации пневматического оборудования, получения фактических данных по расходу воздуха конкретным приёмником энергии.