

УДК 621.787

РАДИУС ПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ ДОРНОВАНИИ ОТВЕРСТИЙ В ТОЛСТОСТЕННЫХ ЦИЛИНДРАХ

В.Ф. Скворцов, И.С. Охотин

Томский политехнический университет

E-mail: TMRI@tpu.ru

Показано, что радиус пластической области при дорновании отверстий в полых цилиндрах, изготовленных из материалов с линейным упрочнением, не зависит от степени их толстостенности и может быть определен по приведенной формуле.

Ключевые слова:

Дорнование отверстий, толстостенные цилиндры, радиус пластической области.

Key words:

Hole mandrelling, thick-walled cylinders, plastic region radius.

Радиус пластической области в обрабатываемых дорнованием толстостенных цилиндрах определяет характер их деформирования и толщину упрочненного дорнованием слоя. Поэтому установление влияния основных факторов дорнования на величину этого радиуса представляет значительный интерес.

Для расчета радиуса пластической области воспользуемся решением задачи об упруго-пластическом состоянии толстостенного цилиндра, нагруженного внутренним давлением и осевой силой [1]. Возможность подобного подхода к анализу деформированного состояния обрабатываемых дорнованием толстостенных цилиндров обоснована в работах [2–4]. Запишем выражение радиального перемещения U на произвольном радиусе r цилиндра, справедливое как в упругой, так и в пластической области. Оно имеет вид [1]

$$U = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sigma_T}{E} \frac{r_T^2}{r}, \quad (1)$$

где σ_T , E – предел текучести и модуль упругости материала цилиндра; r_T – радиус пластической области. Выражение (1) получено в предположении о несжимаемости материала цилиндра и отсутствии его осевой деформации. Оно справедливо как для неупрочняющегося материала, так и для материала с линейным упрочнением.

Радиальное перемещение U_1 на внутреннем радиусе r_0 цилиндра запишется так

$$U_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sigma_T}{E} \frac{r_T^2}{r_0}. \quad (2)$$

Принимая, что радиальное перемещение U_1 равно половине натяга дорнования a , из ур. (2) после преобразований получаем

$$r_T = \sqrt{\frac{a r_0 E}{\sqrt{3} \sigma_T}}. \quad (3)$$

Из этого выражения видно, что радиус пластической области возрастает с увеличением натяга дорнования, радиуса отверстия и модуля упругости материала цилиндра и уменьшается с повышением

предела текучести этого материала. Степень толстостенности цилиндров, характеризуемая отношением их наружного диаметра к диаметру отверстия D/d , на радиус пластической области влияния не оказывает. Другими словами, при дорновании отверстий данного диаметра с одинаковым натягом в цилиндрах различной степени толстостенности, изготовленных из материала с указанными выше свойствами, следует ожидать одинакового радиуса пластической области (в цилиндрах, выполненных из материала с линейным упрочнением, – одинаковой толщины упрочненного слоя). Естественно, что сказанное справедливо при натягах дорнования, которые не вызовут сквозных пластических деформаций в наименее толстостенных цилиндрах.

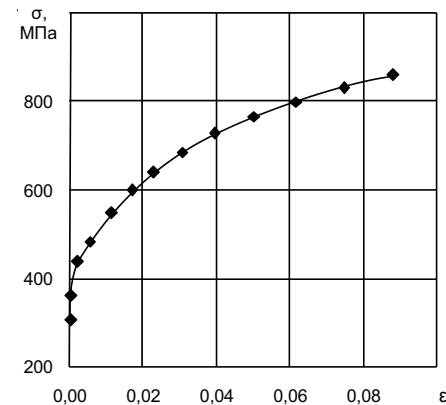


Рис. 1. Кривая течения стали X12Φ1

Найдем величину минимального относительного натяга дорнования $(a_{\min}/2r_0)$, которая приведет к распространению пластических деформаций до наружного радиуса цилиндра R_0 . Принимая $r_T = R_0$ из ур. (3), после преобразований получаем

$$\frac{a_{\min}}{2r_0} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sigma_T}{E} \left(\frac{R_0}{r_0} \right)^2$$

или, переходя от радиусов к диаметрам,

$$\frac{a_{\min}}{d} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\sigma_T}{E} \left(\frac{D}{d} \right)^2. \quad (4)$$

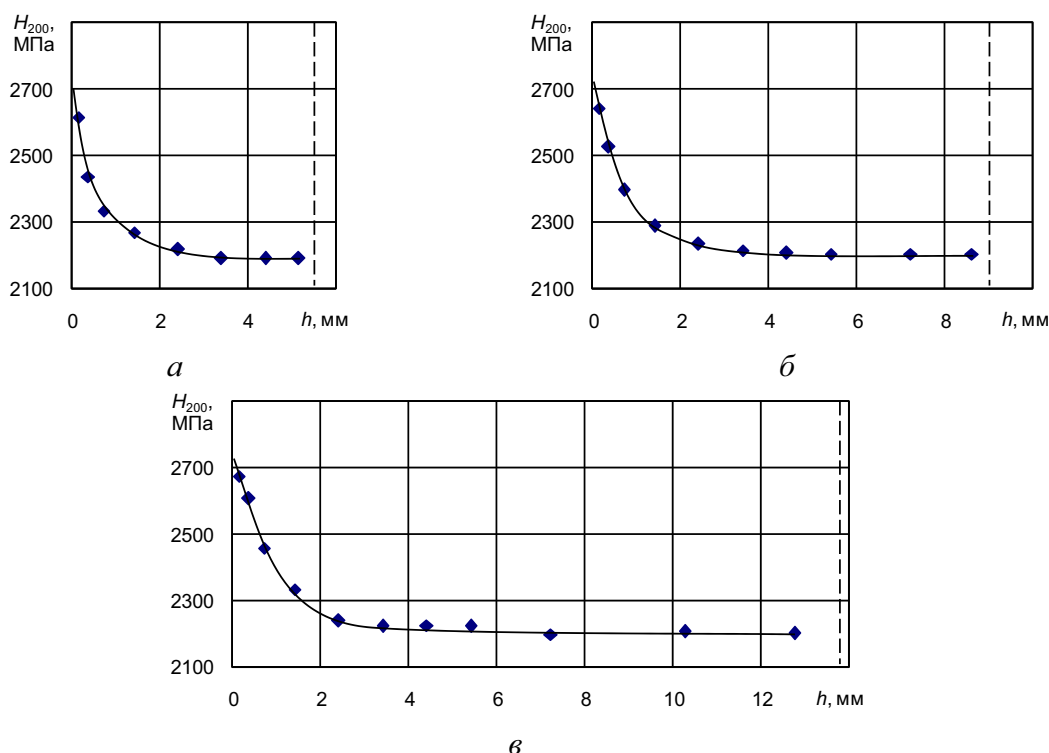


Рис. 2. Зависимости микротвердости обработанных одноцикловым дорнованием образцов от расстояния от поверхности отверстия. Сталь Х12Ф1, $d=5$ мм, $a=0,06$ мм, $D/d=3,2$ (а), $D/d=4,6$ (б) и $D/d=6,5$ (в). Штриховыми линиями показана наружная поверхность образцов

Для проверки формулы (3) были выполнены эксперименты по определению толщины упрочненного дорнованием слоя в образцах из стали Х12Ф1 (НВ 2100 МПа, $\sigma_{0,2}=450$ МПа) трех степеней толстостенности. Диаметр отверстий образцов составлял $d=5$ мм, высота – 30 мм, степень толстостенности образцов первого типа была $D/d=3,2$, второго – 4,6, третьего – 6,5. Перед дорнованием образцы были подвергнуты вакуумному отжигу. Дорнование отверстий производили с применением специального приспособления [5] на вертикально-сверлильном станке дорном из твердого сплава ВК8 при скорости 0,5 м/мин по схеме сжатия. Углы рабочего и обратного конусов дорна составляли 6° , ширина соединяющей их цилиндрической ленточки – 3 мм. В качестве смазочного материала использовали смесь жидкости МР-7 с дисульфидом молибдена. Натяг дорнования a был принят равным 0,06 мм и обеспечивал полупругий режим деформирования образцов. При таком небольшом натяге интенсивность пластических деформаций ε в образцах, исключая их тонкий (не превышающий 0,3 мм) приконтактный слой, составляла не более 0,012. Как видно из рис. 1, при $\varepsilon \leq 0,012$ упрочнение стали Х12Ф1 с высокой точностью можно считать линейным. Исследование упрочнения образцов проводили путем измерения микротвердости на приборе ПМТ-3 при нагрузке на пирамиду 1,96 Н. Для изготовления шлифов образцы по высоте разрезали на две части, перпендикулярные оси образцов плоскости шлифов полировали с помощью алмазных паст уменьшающейся зернистости.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2. Каждая точка на графиках получена в результате не менее десяти измерений. Из рис. 2 видно, что толщина упрочненного дорнованием слоя в образцах всех трех типов составляет около 3,5 мм, т. е. не зависит от степени толстостенности образца. Расчетное значение толщины упрочненного дорнованием слоя, определенное с помощью формулы (3) при $\sigma_r=\sigma_{0,2}=450$ МПа и $E=2 \cdot 10^5$ МПа, составило 3,7 мм. Следовательно, формула (3) позволяет с достаточной для практики точностью прогнозировать толщину упрочненного слоя при дорновании отверстий в толстостенных цилиндрах, изготовленных из материала с линейным упрочнением.

Расчеты, выполненные по формуле (4), показали, что для сквозного пластического деформирования толстостенных цилиндров из стали Х12Ф1 минимальный относительный натяг дорнования должен составлять: при $D/d=3,2$ – 0,020; при $D/d=4,6$ – 0,041; при $D/d=6,5$ – 0,082. Очевидно, что точность расчетов по этой формуле является такой же, как и по формуле (3).

Таким образом, радиус пластической области при дорновании отверстий в полых цилиндрах из материалов с линейным упрочнением не зависит от степени их толстостенности и может быть определен по формуле (3). Минимальный относительный натяг дорнования, вызывающий сквозные пластические деформации в полых цилиндрах из указанных материалов, может быть найден по формуле (4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев: Наукова думка, 1990. – 320 с.
3. Розенберг О.А., Цеханов Ю.А., Шейкин С.Е. Технологическая механика деформирующего протягивания. – Воронеж: ВГТА, 2001. – 203 с.
4. Проскуряков Ю.Г. Дорнование отверстий. – М.-Свердловск: Машгиз, 1961. – 192 с.
5. 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 Всерос. научно-практ. конф. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – С. 164–167.

Поступила 20.01.2011 г.

УДК 621.9.02

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОСКОВЕРШИННОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ СО СМАЗОЧНЫМИ МИКРОКАРМАНАМИ ПРИ МНОГОЦЕЛЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ

В.П. Кузнецов, О.В. Дмитриева

Курганский государственный университет
E-mail: wpkuzn@mail.ru; dmitrieva_o_v@mail.ru

Рассмотрены вопросы формирования микрорельефа поверхностей трения высокоточных деталей с повышенными эксплуатационными свойствами при многопереходной финишной обработке на токарно-фрезерных центрах. На основе моделирования режимов деформирующего профилирования установлены закономерности управления объемом получаемых смазочных микрокарманов

Ключевые слова:

Плосковершинный микрорельеф поверхности, смазочные микрокарманы.

Key words:

Flat-topped micro relief surface, oil micropockets.

Формирование микропрофиля поверхности трения высокоточной детали на стадии изготовления определяется способом, режимами механической обработки и микрогеометрическими параметрами инструмента. Проведенные исследования [1, 2] доказали, что увеличение маслосъемности от 0,081 до 1,28 мкм³/мкм² позволяет на порядок увеличить износостойкость поверхности. Абразивный износ поверхности зависит как от относительной площади микроканалов на обрабатываемой поверхности, которая может составлять 28...43 % в зависимости от условий нагружения трибосопряжения, так и от формы их профиля. Оптимальным с точки зрения обеспечения условий трения является плосковершинный микропрофиль поверхностей трения, состоящий из чередующихся относительно глубоких впадин (смазочных микрокарманов) и плоских выступов (плато), позволяющий повысить сопротивление абразивному износу в 1,4...1,6 раза [1].

Для обеспечения плосковершинного микрорельефа поверхности заготовки со смазочными микрокарманами разработаны способ и технология многопереходной обработки поверхностей трения [3, 4]. Разработанная технология реализована применительно к обработке типовой детали «коленчатый вал компрессора» (сталь 40Х, HRC 54...56) и базируется на последовательности взаимосвя-

занных переходов многоцелевой обработки поверхностей трения высокоточных деталей на токарно-фрезерных центрах:

1. Предварительное формирование микропрофиля поверхности трения высокоточной детали чистовым точением и выравнивающим выглаживанием (*smoothing burnishing*).
2. Деформирующее профилирование смазочных микрокарманов на поверхности трения мультинденторным инструментом.
3. Формирование плосковершинного микропрофиля поверхности со смазочными микрокарманами финишным полирующим выглаживанием (*polish burnishing*).

Максимальная высота профиля $R_{\max}$ поверхности для нанесения смазочных микрокарманов должна быть на порядок меньше их рекомендуемой [1] глубины 3...6 мкм, т. е. $R_{\max} < 0,1H$, где H – глубина смазочных микрокарманов. Шероховатость поверхности трения, получаемая в результате чистового точения (подача $S=0,1$ мм/об, скорость $v=100$ м/мин) $R_{\max}=4,5$ мкм, что соизмеримо с рекомендуемой глубиной наносимых смазочных микрокарманов (рис. 1, а). Следовательно, для формирования поверхности трения необходимо предварительное выравнивающее выглаживание. Увеличивая силу выглаживания до уровня, обеспечи-