

УДК.621.919

О. А. Розенберг, докт. техн. наук; **С. Е. Шейкин**, канд. техн. наук;
И. Ю. Ростоцкий, инж.

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев,
Украина*

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА С ЗАГОТОВКОЙ ПРИ ДЕФОРМИРУЮЩЕМ ПРОТЯГИВАНИИ С ВРАЩЕНИЕМ ИНСТРУМЕНТА

The article is devoted to research of features of contact interaction of the tool with detail, at deforming broaching with rotation of the tool. Results of researches of interaction of the tool are brought with processable by a product: axial forces, a roughness, extent of contact, microhardness.

Известно, что применение деформирующего протягивания взамен операций, связанных с удалением металла в стружку, позволяет за счет деформационного упрочнения, сжимающих остаточных напряжений, низкой шероховатости и большой относительной опорной длины профиля микрорельефа существенно повысить эксплуатационные характеристики деталей машин. При этом снижается трудоемкость изготовления детали, повышается коэффициент использования обрабатываемого материала [1].

Вследствие этого исследования, направленные на повышение эффективности и расширения технологических возможностей процесса деформирующего протягивания, изучение контактных явлений и силовых характеристик процесса деформирующего протягивания (прошивания) с вращением инструмента является актуальной задачей. Исследованиями, проведенными ранее, выявлены основные закономерности контактных явлений при взаимодействии инструмента с обрабатываемым изделием, а также исследовано влияние технологических режимов процесса на состояние обработанной поверхности и поверхностного слоя [1, 2]. Данные исследования выполнены для различных схем процесса, однако при их реализации инструменту сообщалось лишь поступательное движение. Вместе с тем, как показывают предварительные исследования [3], в случае, когда инструменту наряду с поступательным движением сообщается еще и вращательное (рис. 1), происходит существенное снижение осевых сил протягивания и в некоторых случаях более интенсивное снижение шероховатости. Таким образом, реализация схемы деформирующего протягивания (прошивания) с вращением инструмента позволило бы существенно расширить технологические возможности процесса деформирующего протягивания, например, в случае обработки тонкостенных деталей, когда потеря устойчивости заготовки ограничивает применение больших натягов и существует необходимость получения низких значений высоты микронеровностей малым количеством циклов деформирования. Протяженность контакта – одна из наиболее важных характеристик процесса деформирующего протягивания. Ее следует учитывать при расчете рабочих элементов инструмента на прочность, разработке конструкции деформирующих протяжек, для прогнозирования состояния поверхностного слоя обработанной детали на этапе проектирования технологической операции [4].

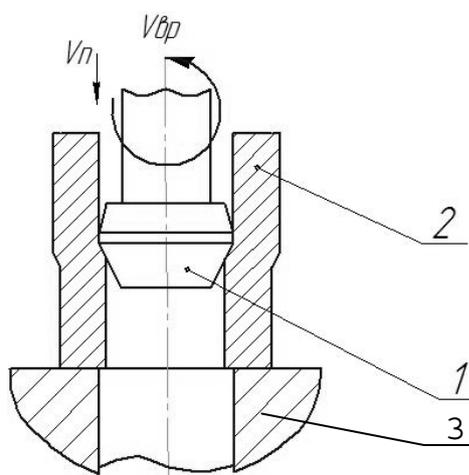


Рис. 1. Схема деформирующего протягивания с вращением инструмента:

- 1 – деформирующий элемент;
- 2 – обрабатываемая деталь;
- 3 – опора.

В экспериментах использовали сборные деформирующие прошивки, состоящие из рабочей части, изготовленной из твердого сплава ВК15 и стального хвостовика (рис. 2).

В [1] установлено, что протяженность контакта не зависит от обрабатываемого материала. Вследствие этого для исследования зависимости протяженности контакта от технологических режимов деформирующего протягивания использовали втулки из одной стали 40Х (НВ 217) с отверстием диаметрами $d_0 = 19$ и 35 мм, со стенками толщиной $t = 3; 5; 7; 10$ мм. При обработке деталей с $d_0=19$ мм обработка производилась с натягом 0,1 мм, при $d_0 = 35$ мм – с натягами $a=0,1; 0,2; 0,3$ мм.

При исследовании осевых сил и шероховатости обработанной поверхности использовали детали из сталей 40Х и 35ХГСА. Для сравнения параллельно обрабатывали детали без вращения инструмента.

Эксперименты проводились на специальном стенде, оснащенном приводом вращения и бесступенчатым регулятором скорости. Измерение осевой силы протягивания производилось тензометрическим динамометром, подключенным через усилитель к персональному компьютеру.

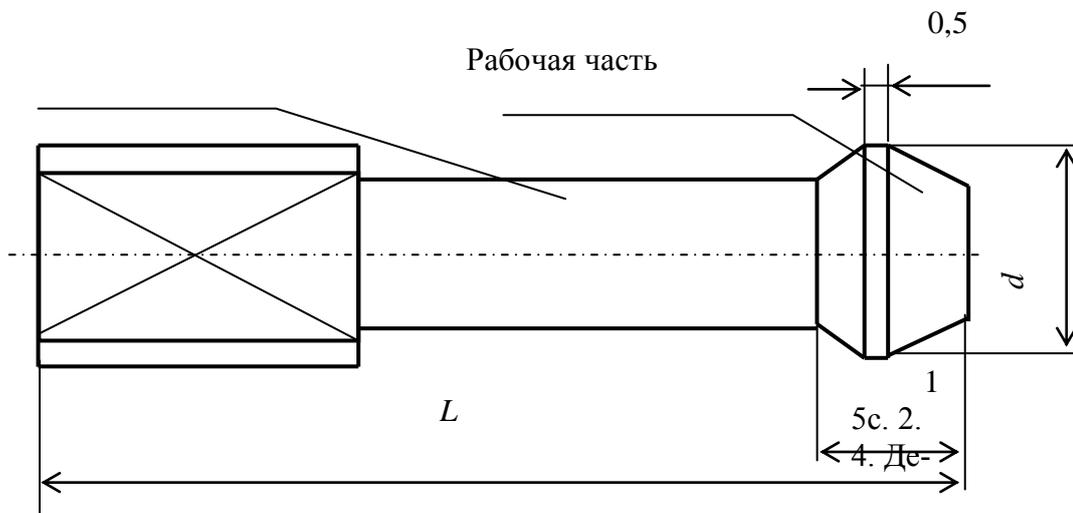


Рис. 2. Деформирующая прошивка.

Измерение протяженности контакта производилось по методике, состоящей в измерении длины царапин на рабочей поверхности инструмента от нанесенных на внутреннюю поверхность втулок алмазосодержащих пятен. Два пятна из алмазного микропорошка АСН 28/20 располагали диаметрально противоположно на обрабатываемой поверхности за пределами краевых эффектов и закрепляли клеем БФ 2. Подробно методика описана в [1].

В качестве технологической смазки использовался «Формол» (ТУ 38.301-4830-93).

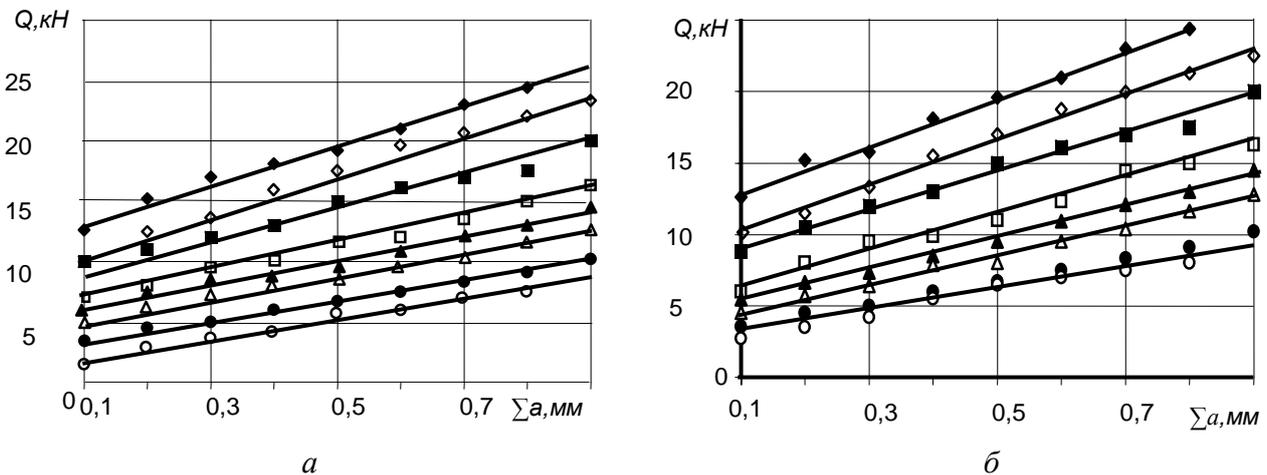


Рис. 3 Зависимость осевых сил от суммарного натяга:

а – сталь 35ХГСА; б – сталь 40Х; ● – $t=3$ мм без вращения; ◇ – $t=3$ мм с вращением; ▲ – $t=5$ мм без вращения; △ – $t=5$ мм с вращением; ■ – $t=7$ мм без вращения; □ – $t=7$ мм с вращением; ◆ – $t=10$ мм без вращения; ◇ – $t=10$ мм с вращением.

Для исследования контактной зоны профилографированием использовали специальное приспособление, позволяющее производить мгновенную остановку инструмента. После

остановки инструмент выпрессовывали в обратном направлении. Профилографирование производили на приборе «Talysurf 5-120».

На рис. 3 приведены зависимости осевой силы протягивания от суммарного натяга при обработке деталей с различной толщиной стенки из сталей 40X и 35ХГСА с различными натягами в случае прошивания с вращением инструмента и без.

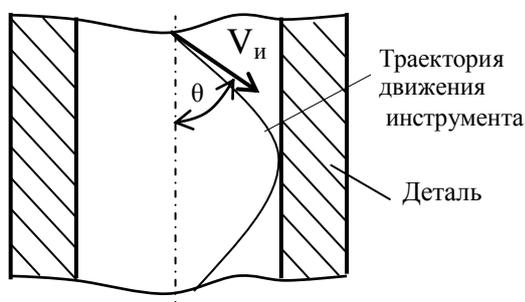


Рис. 4. Схема перемещения инструмента в заготовке при протягивании (прошивании) с вращением.

В случае обработки с вращением угол наклона вектора скорости относительного перемещения к оси детали (рис. 4) составлял $\theta = 15^\circ$.

Как видно из приведенных данных, при реализации схемы с вращением инструмента осевая сила протягивания во всех случаях меньше, чем в случае обработки без вращения.

Объясняется это следующим образом. При деформирующем протягивании сила взаимодействия инструмента с заготовкой R раскладывается на две физические составляющие: силу нормального давления N и силу трения F , действующую в направлении вектора скорости перемещения деформируемого металла по рабочей поверхности инструмента

(рис. 5, а). Сумма проекций этих сил на ось равняется осевой силе прошивания

$$Q = F \cdot \cos \alpha + N \cdot \sin \alpha.$$

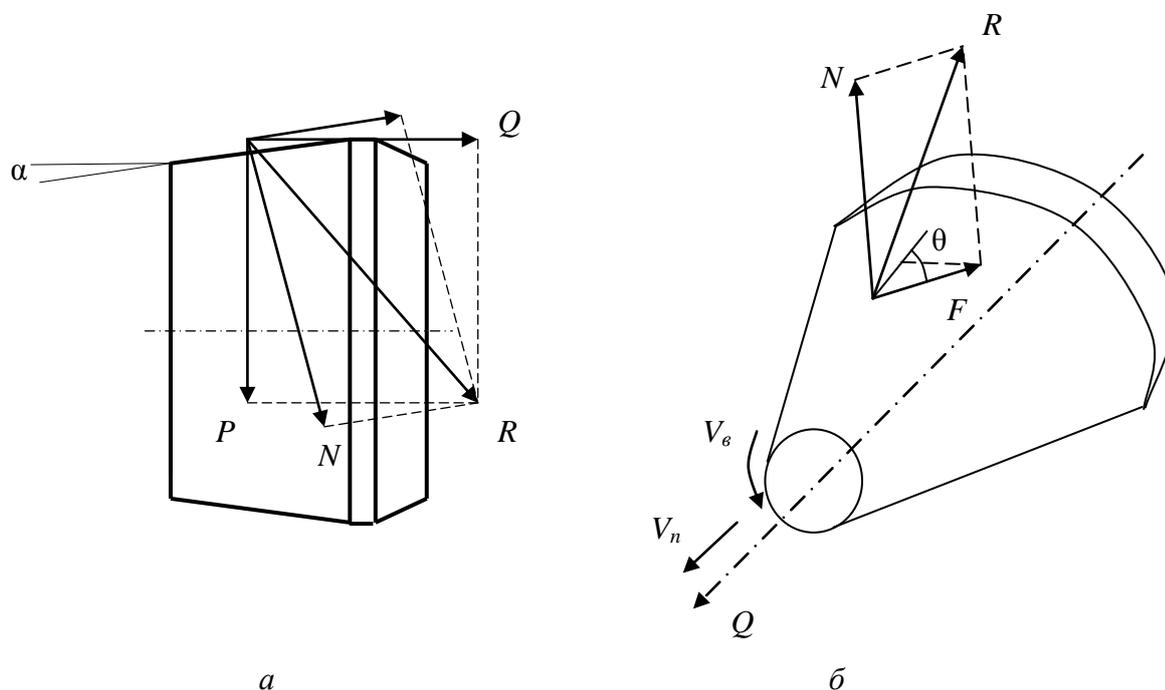


Рис. 5. Схема сил, приложенных к деформирующему элементу: а – при обработке без вращения; б – при обработке с вращением.

Радиальная сила зависит лишь от физико-механических характеристик обрабатываемого материала и от величины пластической деформации (раздачи). Поскольку величина раздачи при обработке с вращением инструмента и без одинакова, можно сделать вывод, что в

обоих случаях радиальная сила одинакова. При обработке вращающимся инструментом происходит поворот силы трения на величину угла наклона винтовой траектории относительно перемещения инструмента в заготовке (рис. 5, б). В этом случае осевая сила равна

$$Q = F \cdot \cos \alpha \cdot \cos \theta + N \cdot \sin \alpha,$$

т.е. при обработке с вращением осевая сила протягивания уменьшается за счет поворота силы трения на угол θ .

На рис. 6 приведены зависимости протяженности контакта от толщины стенки при обработке с вращением и без вращения инструмента деталей с отверстием $d_0 = 35$ мм с натягом $a = 0,1$ и $0,2$ мм при $\theta = 15^\circ$. Видно, что протяженность контакта с вращением инструмента больше, чем без вращения. При этом в обоих случаях протяженность контакта увеличивается с увеличением толщины стенки.

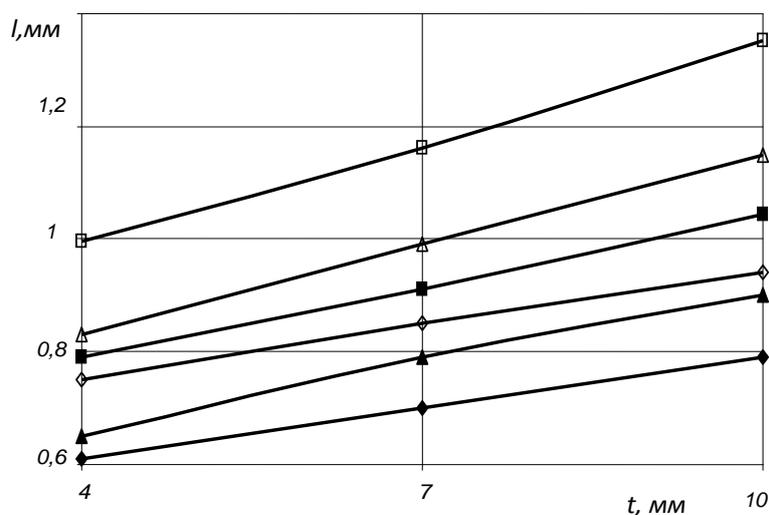


Рис. 6. Зависимость протяженности контакта от толщины стенки 35 ХГСА, $d_0 = 35$ мм: ◆ – $a = 0,1$ без вращения; ◇ – $a = 0,1$ с вращением; ▲ – $a = 0,2$ без вращения; △ – $a = 0,2$ с вращением; ■ – $a = 0,3$ без вращения; □ – $a = 0,3$ с вращением.

На рис. 7 приведена зависимость протяженности контакта от угла θ при деформирующем протягивании деталей с отверстием $d_0 = 35$ мм со стенкой толщиной $t = 7$ мм с натягами $a = 0,1; 0,2$ и $0,3$ мм. Как видно, угол θ существенно влияет на протяженность контакта. Так при увеличении θ от 0 до 70° протяженность контакта увеличивается более чем в 2 раза.

Для подтверждения полученных результатов было выполнено профилографирование внутренней поверхности обрабатываемой детали в районе зоны контакта при протягивании втулок с отверстием $d_0 = 35$ мм, толщиной стенки $t = 5$ и натягами $a = 0,2$ и $0,3$ мм (рис. 8).

Видно, что в обоих случаях при обработке с вращением инструмента протяженность контакта больше, чем при обработке без вращения. Видимо это связано с особенностями формирования очага локальной деформации при деформирующем протягивании с вращением инструмента, поэтому этот вопрос требует более детального изучения.

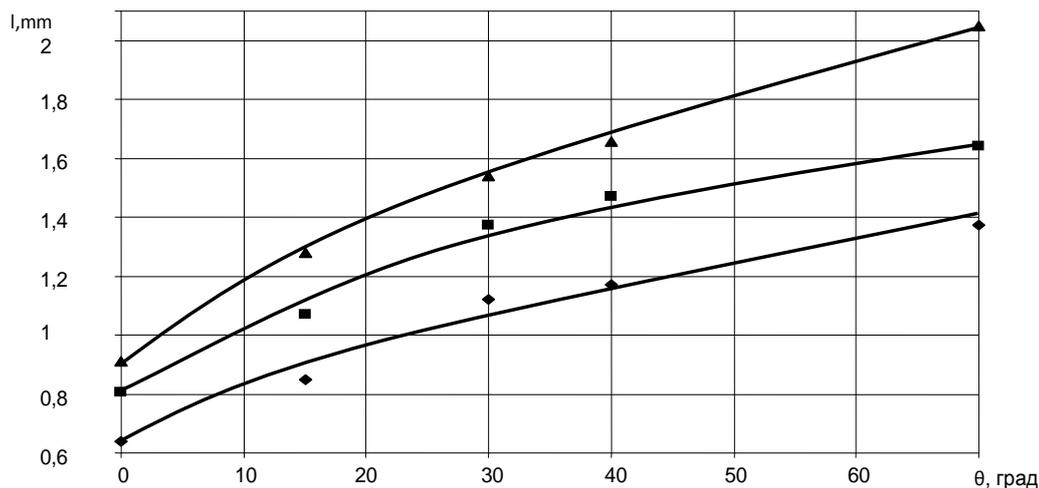
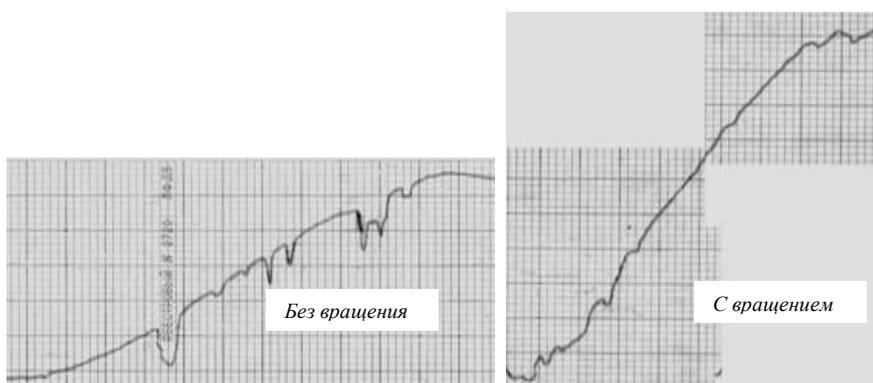
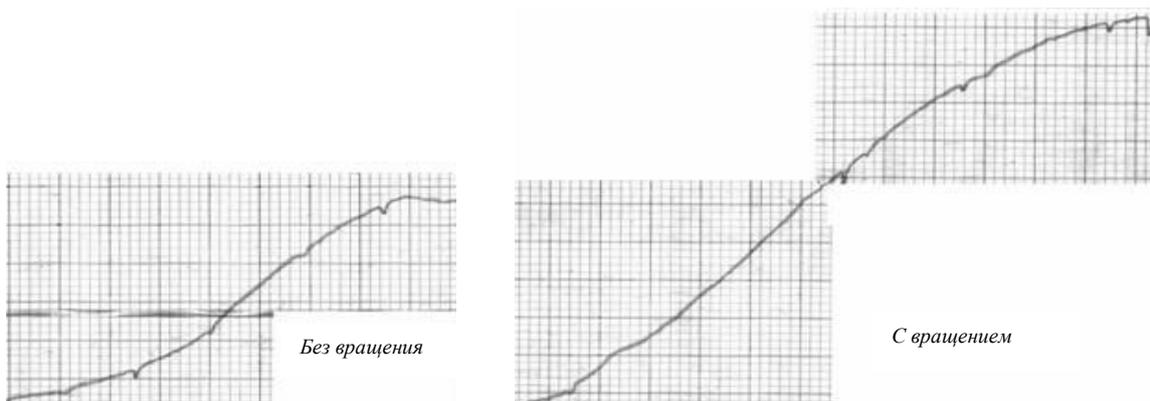


Рис. 7. Зависимость протяженности контакта от угла наклона траектории инструмента θ сталь 40X:

◆ – $a = 0,1$ мм; ■ – $a = 0,2$ мм; ▲ – $a = 0,3$ мм.



а



б

Рис. 8. Профилограмма контактной зоны: $d_0 = 35$ мм; $\theta = 15^\circ$:
а – $t = 5$ мм; $a = 0,2$ мм; б – $t = 5$ мм; $a = 0,3$ мм.

Известно, что степень деформирования обрабатываемого материала хорошо коррелирует с таким технологическим показателем, как его твердость [5, 6].

При обработке с вращением микротвердость в поверхностном слое детали составила H_v 3,8 ГПа, без вращения – H_v 3,5 ГПа, т.е. приблизительно на 10 % выше. Это говорит о том, что

деформация обрабатываемого металла в поверхностном слое детали, обработанной с вращением инструмента, выше, чем при обработке без вращения.

Полученные результаты открывают возможности управления параметрами деформационного упрочнения поверхностного слоя, что является чрезвычайно важным. Вследствие этого данный вопрос требует более глубокого изучения.

В [5] определен обобщающий критерий подобия, отражающий влияние наиболее важных технологических параметров процесса деформирующего протягивания на высоту формируемых микронеровностей:

$$\xi' = \frac{\sum f(q_i) q_i l_k}{d_0 \cdot HB} \times 10^3,$$

где $f(q_i)$ – коэффициент трения по Кулону, являющийся функцией нормального контактного давления;

q_i – нормальное контактное давление;

l_k – протяженность контакта инструмента и обрабатываемой детали;

d_0 – исходный диаметр отверстия обрабатываемой детали;

HB – твердость обрабатываемого материала по Бринеллю.

При обработке многоэлементными деформирующими протяжками числитель данного выражения рассчитывают для каждого деформирующего элемента, затем суммируют. Зависимость относительной высоты микронеровностей от значений данного критерия при обработке деталей из различных материалов [сталь 10 (HB 110); 45 (HB 229); У8 (HB 240); Х18Н10Т (HB 160)] инструментами из различных инструментальных материалов (ВК 15; с покрытиями TiN ;

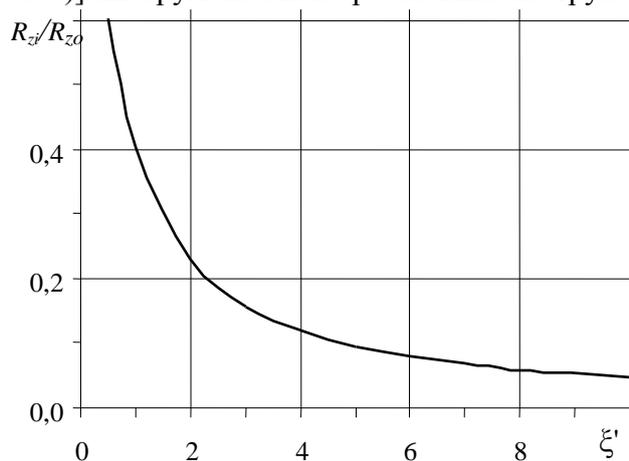


Рис. 9. Зависимость относительной шероховатости от значения критерия подобия.

CrN) при использовании различных технологических смазок (формол, сульфозрезол) приведена на рис. 9 (R_z и R_0 – текущее и исходное значение высоты микронеровностей соответственно). Как видно из графика (рис. 9), при $\xi' > 3$ изменение технологических режимов на величину относительной шероховатости практически не влияет. Последнее подтверждено результатами экспериментов.

На рис. 10, а приведены зависимости шероховатости и ξ' от суммарного натяга при протягивании деталей со стенкой толщиной $t=1$ мм при $\theta = 0^\circ; 15^\circ; 30^\circ; 40^\circ$ и 70° с натягом $a=0,1$ мм. Видно, что при $\xi' \leq 3$ во всех случаях интенсивность снижения шероховатости увеличивается при увеличении θ , различия уменьшаются при $\xi' > 3$.

На рис. 10, б приведены зависимости шероховатости и ξ' от суммарного натяга при различной толщине стенки обрабатываемых деталей, без вращения и с вращением инструмента ($\theta = 15^\circ$). В экспериментах использовали втулки из сталей 35ХГСА и 40Х со стенками толщиной $t = 3; 5; 7; 10$ мм, диаметром отверстия 19 мм с натягом $a = 0,1$. Видно, что значения относительной шероховатости при обработке с вращением и без вращения инструмента практически совпадают, что объясняется тем, что при данных технологических режимах $\xi' > 3$.

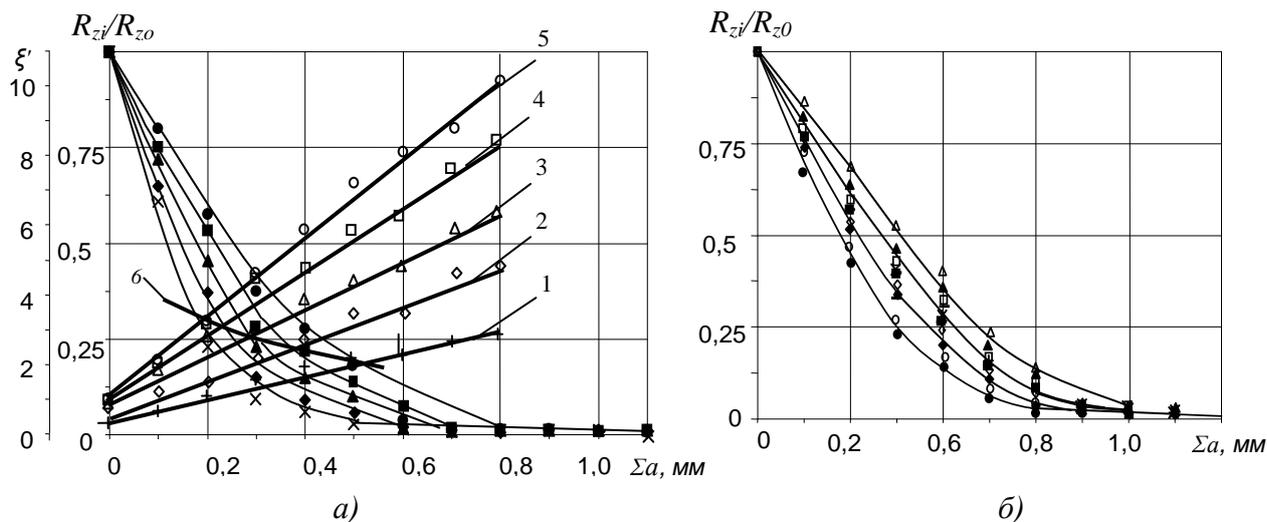


Рис. 10. Зависимость относительной высоты микронеровностей от суммарного натяга: а – $t=1$; θ \bullet – 0° ; \blacksquare – 15° ; \blacktriangle – 30° ; \blacklozenge – 40° ; \times – 70° ; 1; 2; 3; 4; 5 – зависимости ξ' от суммарного натяга для углов 0 ; 15 ; 30 ; 40 ; 70° соответственно; б – значения R_z/R_{z0} , соответствующее $\xi' = 3$; б – $t=3$: Δ – без вращения; \blacktriangle – с вращением; $t=5$ \square – без вращения; \blacksquare – с вращением; $t=7$ \diamond – без вращения; \blacklozenge – с вращением; $t=10$ \circ – без вращения; \bullet – с вращением.

Таким образом, можно отметить следующие особенности деформирующего протягивания с вращением инструмента:

при протягивании (прошивании) с вращением инструмента осевая сила всегда меньше, чем при обработке без вращения за счет поворота силы трения на угол θ ;

протяженность контакта при обработке с вращением инструмента всегда больше, чем без вращения; объясняется это, по-видимому, особенностями формирования очага локальной деформации, имеющим место при деформирующем протягивании с вращением инструмента;

при увеличении угла наклона траектории относительного перемещения инструмента и заготовки протяженность контакта увеличивается;

микротвердость поверхностного слоя детали, обработанной по схеме с вращением инструмента выше, чем при обработке без вращения;

изменение шероховатости при обработке с вращением подчиняется тем же закономерностям, что и без вращения.

Выводы

Применение деформирующего протягивания с вращением инструмента позволяет существенно расширить технологические возможности процесса деформирующего протягивания и может быть рекомендовано для следующих случаев:

при обработке тонкостенных деталей, когда под воздействием осевой силы обрабатываемая деталь может потерять устойчивость;

при обработке тонкостенных деталей когда необходимо получение низких значений шероховатости малым числом циклов деформирования;

для получения больших значений твердости поверхностного слоя тем же количеством циклов деформирования.

Литература

1. Розенберг О. А. Механика взаимодействия инструмента с изделием при деформирующем протягивании. – К.: Наук. думка, 1981. – 288 с.
2. Качество поверхности, обработанной деформирующим протягиванием / А. М. Розенберг, О. А. Розенберг, Э. И. Гриценко, Э. К. Посвятенко. – К.: Наук. думка, 1977. – 187 с.
3. А.с. 1478102 СССР, МКИ⁴ G 01 N 19/02. Способ определения коэффициента трения материала при пластическом деформировании / О. А. Розенберг, А. Д. Крицкий, С. А. Родюков, С. Е. Шейкин. – № 4240175/25-28; Заявл. 05.05.87, Оpubл. 07.05.89, Бюл. № 17. – С. 165.
4. Розенберг О. А., Цеханов Ю. А., Шейкин С. Е. О некоторых закономерностях упрочнения поверхностного слоя при деформирующем протягивании // Сверхтв. материалы. – 2005. – № 4. – С. 56 – 68.
5. Розенберг О. А., Цеханов Ю. А., Шейкин С. Е. Технологическая механика деформирующего протягивания. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2001 – 196 с.
6. Дель Г. Д. Определение напряжений в пластической области по распределению твердости. – М.: Машиностроение, 1971. – 199 с.

Поступила 25.06.07.