

УДК 621.787

Н.М. Тудакова, В.В. Крайнов

**ДОРН ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ  
ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведена новая конструкция и теоретические исследования формирования упрочненного поверхностного слоя внутренних цилиндрических поверхностей.

*Ключевые слова:* качество, отверстие, дорн, упрочнение.

Разработана конструкция деформирующего сборного инструмента - дорна для поверхностной пластической деформации (ППД) внутренних длинномерных поверхностей отверстий деталей из сталей и сплавов со статико-возвратно-поступательным нагружением [1, 2].

При дорновании отверстий особенно дорнами с несколькими деформирующими элементами, которые конструктивно выполняют таким образом, что последующий деформирующий элемент установлен в максимуме волны внеконтактной деформации, образованной предыдущим элементом, можно эффективно управлять точностью обрабатываемого отверстия детали использованием внеконтактных зон, образующихся как перед, так и после зоны контакта деформирующего кольца дорна с деталью [3, 4].

На рис. 1 представлена конструкция разработанного авторами дорна [1, 2]. В корпусе 1 (рис. 1, а) установлен шток 2, который состоит из двух частей: поступательно-возвратной части 3 с поступательно-возвратной полумуфтой 4 и вращательно-поступательной части 5 с вращательно-поступательной полумуфтой 6, которые сопряжены между собой по зубчатой поверхности, включающей наклонные участки 7 и участки 8, параллельные оси штока 2 [1].

При этом полумуфты 4 и 6 могут соприкасаться торцовыми синусоидальными поверхностями, образованными шариками 17, закрепленными пластинами 18 [2].

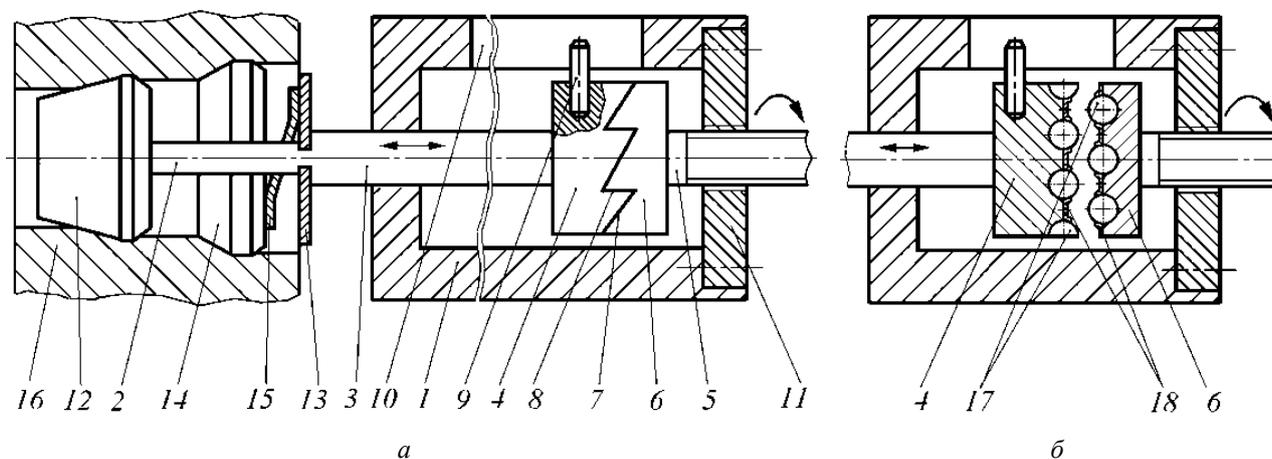
Чтобы поступательно-возвратная полумуфта 4 не проворачивалась в радиальном направлении, на ней установлен штифт 9, который другим концом входит в продольный паз 10 корпуса 1. Вращательно-поступательная часть 5 штока 2 сопрягается по резьбовой поверхности с резьбовым отверстием в крышке 11, которая установлена в корпусе 1.

На поступательно-возвратной части 3 штока 2 жестко закреплены деформирующее поступательно-возвратное кольцо 12 и опорная шайба 13, между которыми по скользящей посадке установлены деформирующее поступательное кольцо 14 и пластинчатая Z-образная пружина 15. Корпус 1 и обрабатываемая деталь 16 жестко закреплены.

Обработку внутренних поверхностей осуществляют следующим образом. Вращательно-поступательной части 5 штока 2 сообщают рабочее движение по резьбовой поверхности в крышке 11. Вращательно-поступательная полумуфта 6 контактирует по наклонным участкам 7 с поступательно-возвратной полумуфтой 4, сообщая ей поступательное движение, причем, чтобы полумуфта 4 не проворачивалась в радиальном направлении, на ней установлен штифт 9, который другим концом входит в продольный паз 10 корпуса 1. Длина продольного паза 10 ( $l_n$ ) позволяет штифту 9 свободно перемещаться в неподвижно закрепленном корпусе 1.

В момент соприкосновения полумуфт 4 и 6 по наклонным участкам 7 в контакт с обрабатываемой поверхностью детали 16 входит деформирующее поступательно-возвратное

кольцо 12, которое осуществляет поверхностную пластическую деформацию (рис. 2, а), в процессе которой движение штока 2 замедляется, а жестко закрепленная на нем опорная шайба 13 передает усилие на пластинчатую Z-образную пружину 15, по окончании перемещения которой в работу вступает деформирующее поступательное кольцо 14 дорна (рис. 2, б).



**Рис. 1. Дорн для поверхностной пластической деформации отверстий:**

- а – с сопряжением полумуфт по зубчатой поверхности; б – с сопряжением полумуфт по синусоидальной поверхности; 1 - корпус; 2 - шток; 3 - поступательно-возвратная часть; 4 - поступательно-возвратная полумуфта; 5 - вращательно-поступательная часть; б - вращательно-поступательная полумуфта; 7 - наклонные участки; 8 – участки, параллельные оси штока; 9 - штифт; 10 - продольный паз; 11 - крышка с резьбовым отверстием; 12 - деформирующее поступательно-возвратное кольцо; 13 - опорная шайба; 14 - деформирующее поступательное кольцо; 15 - пластинчатая Z-образная пружина; 16 - обрабатываемая деталь; 17 – шарики; 18 - пластины

Угол наклона заборного конуса (4-5°) деформирующего поступательно-возвратного кольца 12 дорна соответствует углу между участками 8, параллельными оси штока 2 и наклонными участками 7 сопрягаемых полумуфт 4 и б, в процессе зацепления которых по наклонным участкам 7 создается усилие, которое передается на поступательно-возвратное кольцо 12 дорна, т. е. копируется контактное давление.

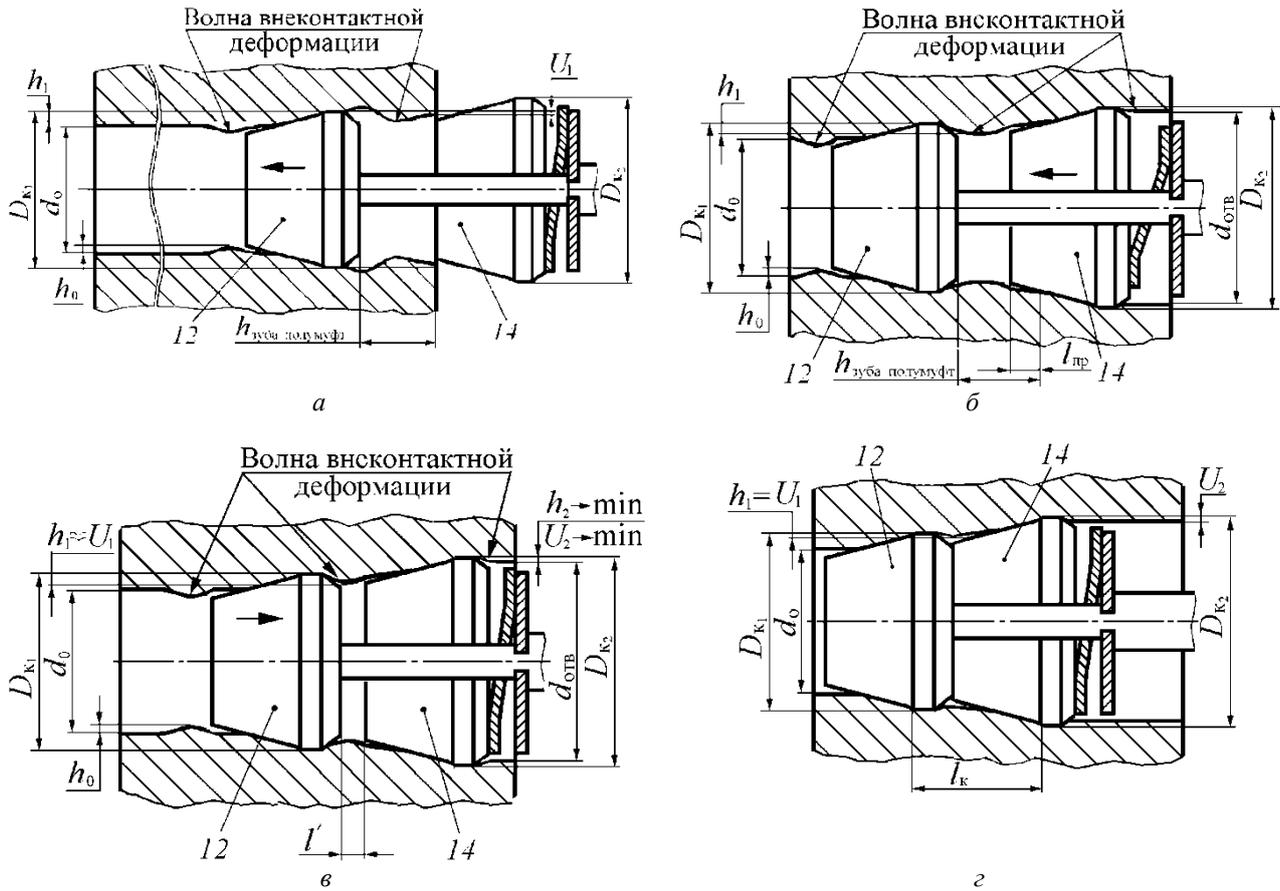
При дальнейшем перемещении вращательно-поступательной части 5 штока по резьбе в крышке 11 полумуфты б и 4, достигнув высоты зуба (рис. 2, б), выходят из контакта по наклонным участкам 7. После соприкосновения полумуфт 4 и б вершинами зубьев действие осевого усилия, инициирующего поверхностную пластическую деформацию деформирующим поступательно-возвратным кольцом 12, прекращается, его поступательное движение резко (скачком) переходит в возвратное перемещение.

При возвратном перемещении пластинчатая Z-образная пружина 15 разжимается и, опираясь в деформирующее поступательное кольцо 14 и опорную шайбу 13, выводит из контакта с обрабатываемой поверхностью деформирующее поступательно-возвратное кольцо 12, что позволяет беспрепятственно проникнуть смазывающей жидкости в зону поверхностной пластической деформации.

Высота зуба  $h_{\text{зуба}}$  полумуфт 4 и б рассчитывается по формуле:

$$h_{\text{зуба полумуфт}} > (2i/z) + \Delta_1 + \Delta_2, \quad (1)$$

где  $i$  – шаг резьбы;  $z$  – количество зубьев в муфте;  $\Delta_1$  – гарантийный зазор между вращательной полумуфты (0,2-0,3 мм);  $\Delta_2$  – износ зубьев муфты (0,2-0,3 мм).



**Рис. 2. Дорн для поверхностной пластической деформации отверстий:**

*a* – поступательное перемещение кольца 12 в начале ППД; *б* – перемещение кольца 12 замедляется и в работу вступает деформирующее поступательное кольцо 14;

*в* – возвратное перемещение деформирующего поступательно-возвратного кольца 12;

*г* – полное контактирование колец 12 и 14 при полном зацеплении полушпунт 4 и 6;

$d_0$  – диаметр отверстия перед дорнованием;  $d_{отв}$  – диаметр отверстия после дорнования;

$D_{к1}$ ,  $D_{к2}$  – диаметр ленточки дорна первого и второго деформирующего элемента дорна;

$U_1, U_2$  – величина упругого восстановления диаметра отверстия после 1-го и 2-го колец;

$h_0, h_1, h_2$  – высота волны внеконтактной деформации перед первым, после 1-го и 2-го колец;

$h_{зуба полушпунта}$  – высота зуба полушпунта 12 и 14;  $l_{пр}$  – ход пружины

При дорновании диаметр обработанного отверстия всегда меньше диаметра последнего деформирующего элемента  $D_{к2}$ , так как высота волны внеконтактной деформации очень мала и всегда меньше упругого восстановления стенок отверстия  $h_1 < U_1, h_2 < U_2$ . Чтобы получить заданный диаметр отверстия  $d_{отв}$  и определить диаметры деформирующих элементов, необходимо знать усадку, которая в свою очередь зависит от упругого восстановления стенок отверстия  $h_1 < U_1, h_2 < U_2$ , упругой деформации кольца дорна 2у, высоты волны внеконтактной деформации  $h_1 < U_1, h_2 < U_2$ , сглаживания шероховатостей.

Сглаживание шероховатости отверстия особенно важно для первого деформирующего кольца дорна, работающего по просверленному или расточенному отверстию, имеющему значительную шероховатость [3, 4]. Первый деформирующий элемент, сглаживая неровности высотой  $R_{z0}$ , может увеличить диаметр отверстия, не производя пластической деформации на величину  $R_{z0} - R_{z1}$ . При натягах, применяемых при дорновании, уменьшается величину  $R_{z0}$  в 5...10 раз.

Величина упругого восстановления диаметра (рис. 2, а) отверстия  $U_1$ :

$$U_1 = (D_{к_2} - D_{к_1}) + 2h_1 - 2y - (R_{z_0} - R_{z_1} - R_{z_2}), \quad (2)$$

где  $D_{к_1}$  - диаметр ленточки дорна первого деформирующего элемента дорна;  $D_{к_2}$  - диаметр ленточки дорна второго деформирующего элемента дорна;  $h_1$  - высота волны внеконтактной деформации после первого кольца;  $y$  - упругая деформация деформирующего элемента ( $y = 0$ );  $R_{z_0}$  - высота шероховатости перед первым кольцом (предварительная);  $R_{z_1}$  - высота шероховатости после первого перед вторым кольцом;  $R_{z_2}$  - высота шероховатости после второго кольца.

Сумма номинальных натягов колец дорна [3]

$$\sum a = D_{к_2} - D_{к_1}. \quad (3)$$

Диаметр обработанного отверстия  $d_{отв}$  (рис. 2, з) после дорнования

$$d_{отв} = D_{к_2} + 2h_2 - U_2, \quad (4)$$

где  $h_2$  - высота волны внеконтактной деформации после 2-го кольца;  $U_2$  - величина упругого восстановления диаметра отверстия.

Поскольку  $R_{z_2} \ll R_{z_1} \ll R_{z_0}$  в уравнении будем использовать  $R_{z_0}$ . Величина упругого восстановления (упругой усадки) диаметра отверстия  $U$ :

$$U = \left(1 - \frac{W_{oc}}{W}\right) \left[ (D_{к_2} - D_{к_1}) + 2h_{пр} - (R_{z_0} - R_{z_1} - R_{z_2}) \right], \quad (5)$$

где  $W_{oc}$  - остаточная деформация;  $W$  - общая деформация;  $h_{пр}$  - приведенная величина волны внеконтактной деформации,

При дорновании отверстий особенно дорнами с несколькими деформирующими элементами, которые конструктивно выполняют таким образом, что последующий деформирующий элемент установлен в максимуме волны внеконтактной деформации, образованной предыдущим элементом, можно эффективно управлять точностью обрабатываемого отверстия детали использованием внеконтактных зон, образующихся как перед, так и после зоны контакта деформирующего кольца дорна с деталью.

Экранирующее свойство смазки при деформирующем протягивании (при ее отсутствии процесс неосуществим) предотвращает схватывание, т.е. непосредственный контакт поверхностей металлов инструмента и обрабатываемой поверхности, причем при использовании смазок с высокими экранирующими свойствами (твердые смазки), совершенно исключаящие контакт, сдвиговые деформации локализуются в слое смазки, не распространяясь на поверхностные слои металла. При применении смазки с высокими экранирующими свойствами в поверхностном слое отверстия не образуется текстура, нет дополнительной деформации, твердость на поверхности обработанного отверстия повышается незначительно, шероховатость практически не изменяется, причем большая часть такой смазки удаляется с обрабатываемой поверхности вначале процесса деформирующими элементами.

При применении смазки с низкими экранирующими свойствами (например, сульфатфрезол), которые позволяют ей в процессе возвратного перемещения поступательно-возвратного кольца  $I2$  (рис. 1, а) дорна затекать по наклонной плоскости заборной части дорна, образуется значительный слой текстуры с очень высокой степенью дополнительной деформации и высокой твердостью, создаются остаточные напряжения сжатия на поверхности и в толщине стенок детали, можно получить характеристику шероховатости обработанной поверхности  $R_a = 0,05-0,10$  мкм при исходной  $R_a = 4-6$  мкм.

Данное конструктивное решение за счет возможности реализации поступательно-возвратного перемещения обрабатываемого инструмента позволяет исключить вероятность разрыва смазочного слоя в зоне контакта инструмента с деталью, снизить коэффициент тре-

ния, работу трения и энергетические затраты на процесс смазки и таким образом улучшить шероховатость обработанной поверхности, повысить эффект ее выглаживания.

Применение данного технического решения улучшает условия смазывания за счет поступательно-возвратного перемещения жестко закрепленного деформирующего поступательно-возвратного кольца и свободно установленных деформирующего поступательного кольца и пластинчатой Z-образной пружины.

В результате данной обработки формируется упрочненный поверхностный слой с остаточными напряжениями сжатия  $\sigma_{ост}=300\div 800$  МПа и шероховатостью поверхности  $R_a=0,05\div 0,10$  мкм.

#### Библиографический список

1. Пат.РФ № 2533507 В24В39/02. Дорн / Тудакова Н.М., Крайнов В.В. [и др.]. – 20.11.2014. – 6 с.
2. Пат. № 153613 В24В39/00. Дорн / Тудакова Н.М., Крайнов В.В., Сорокин В.М. – 30.06.2015. – 4 с.
3. Тудакова, Н.М. Повышение качества и эксплуатационных свойств поверхностей деталей многозвенных ушковых соединений, работающих в условиях фреттинг-коррозии, на основе комбинированной упрочняющей (на примере стыковых соединений планера самолета): дисс. ... канд. техн. наук / Тудакова Нина Михайлоана. – Н.Новгород, НГТУ. – 2002. – 190 с.
4. Розенберг, А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания / А.М. Розенберг, О.А. Розенберг. – Киев: Наукова думка, 1990. – 320 с.

*Дата поступления  
в редакцию 22.06.2016*

**N.M. Tudakova, V.V. Kraynov**

#### **DORN FOR SURFACE PLASTIC DEFORMATION INTERNAL SURFACES**

Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeyev

**Purpose:** Shows the new design and theoretical studies of the formation of the hardened surface layer of the internal cylindrical surfaces.

**Design/methodology/approach:** Implementation of translational return movement of the processing tool, eliminates the probability of rupture of the lubricating layer in the contact area of the tool to the workpiece, reduce friction, friction work and energy costs of lubrication process.

**Findings:** The application of this technical solution improves the lubrication conditions at the expense of translational return movement of rigidly fixed-deforming progressively return the ring and freely set by deforming and progressive ring plate Z-shaped spring.

**Originality/value:** Reciprocating internal burnishing holes.

*Key words:* quality, hole, mandrel, hardening.