

УДК 621.787

Н.М. Тудакова, В.В. Крайнов

**ДОРН СО СТАТИКО-ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ НАГРУЖЕНИЕМ
ППД ОТВЕРСТИЙ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Приведена новая конструкция и теоретические исследования формирования упрочненного поверхностного слоя внутренних цилиндрических поверхностей дорном со статико-возвратно-поступательным нагружением.

Ключевые слова: дорн, отверстие, точность, упрочнение.

При поверхностно-пластической деформации (ППД) дорнованием форма обрабатываемой поверхности регламентируется размерами и формой инструмента. Более точное отверстие сформируется, если в зону максимума волны внеконтактной деформации вписать жесткую кольцевую опору с диаметром, превосходящим диаметр волны для препятствия возникновения искажений. Однако это не исчерпывает возможности повышения точности обработки, поскольку, помещая последующий элемент в зону максимума высоты волны внеконтактной деформации, мы им замыкаем только часть упругопластической волны, представляющий собой пластический шарнир. Такое замыкание не распространяется на крайние в группе деформирующие элементы: на первый, осуществляющий ППД по предварительно обработанной (точением, режущим протягивание и др.) поверхности с соответствующей точностью предшествующей обработки, и последний в группе. Во избежание искажений в конструкцию вводятся направляющие и поддерживающие элементы, которые могут быть изготовлены в виде цилиндров, набора колец, втулок [1, 2].

Наряду с этим в дорнах с несколькими деформирующими элементами их следует размещать таким образом, чтобы каждый последующий элемент находился в максимуме волны внеконтактной деформации, образованной предыдущим элементом - эффект внеконтактной деформации при пластическом деформировании. Использование зон внеконтактной деформации можно эффективно управлять точностью обрабатываемого отверстия детали.

Для повышения точности центрирования в процессе обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей ППД со статико-возвратно-поступательным нагружением сконструирован инструмент – дорн [1], включающий деформирующие кольца 1, 2 с направляющей втулкой 3.

На штоке 4 (рис. 1) жестко закреплено возвратно-поступательное кольцо 1, в котором по скользящей посадке установлены направляющие стержни 5, с одной стороны которых перед кольцом 1 установлена направляющая втулка 3, а с другой по резьбовым поверхностям направляющих стержней 5 установлено по скользящей посадке на штоке 4 поступательное кольцо 2, к которому жестко закрепленной опорной шайбой 6 прижата пластинчатая Z-образная пружина 7, установленная по скользящей посадке.

Шток 4 с поступательно-возвратной полумуфтой 8 сопрягается с вращательно-поступательной полумуфтой 9 вращательно-поступательная часть дорна 10 по синусоидальным поверхностям, образованным шариками 11 и закрепленными пластинами 12, которые располагаются в корпусе 13, установленном на штоке 4 по скользящей посадке.

Чтобы поступательно-возвратная полумуфта 8 не проворачивалась в радиальном направлении, на ней установлен штифт 14, который другим концом входит в продольный паз 15 корпуса 13. Длина продольного паза 15 соответствует длине обрабатываемого отверстия.

Шток 10 сопрягается по резьбовой поверхности с резьбовым отверстием в крышке 16, которая установлена в корпусе 13. Корпус 13 и обрабатываемая деталь жестко закреплены.

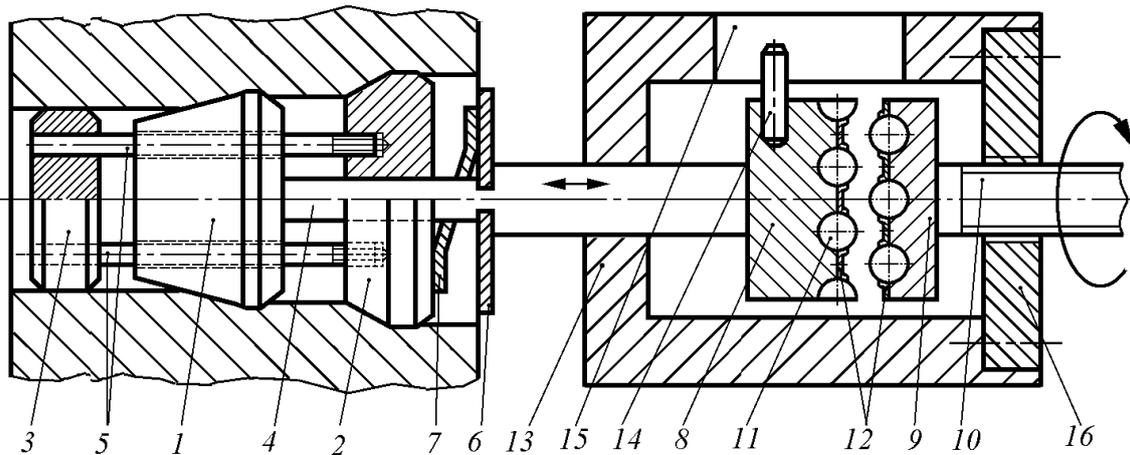


Рис. 1. Дорн:

1 - поступательно-возвратное кольцо; 2 - поступательное кольцо; 3 - втулка направляющая; 4 - шток; 5 - стержень направляющий; 6 - шайба опорная; 7 - пружина пластинчатая z-образная; 8 - полумуфта поступательно-возвратная; 9 - полумуфта вращательно-поступательная; 10 - часть дорна вращательно-поступательная; 11 - шарик; 12 - пластина; 13 - корпус; 14 - штифт; 15 - паз продольный; 16 - крышка

Обработку внутренних цилиндрических поверхностей осуществляют следующим образом.

Штоку 10 сообщают рабочее движение по резьбовой поверхности в крышке 16. Вращательно-поступательная полумуфта 9 сообщает поступательное движение поступательно-возвратной полумуфте 8. При этом полумуфты 8 и 9 соприкасаются торцовыми синусоидальными поверхностями, образованными шариками 11. Чтобы полумуфта 8 не проворачивалась в радиальном направлении, на ней установлен штифт 14, который другим концом входит в продольный паз 15 корпуса 13. Длина, соответствующая длине обрабатываемого отверстия, продольного паза 15 позволяет штифту 14 свободно перемещаться в неподвижно закрепленном корпусе 13.

Направляющая втулка 3 заводится в обрабатываемое отверстие. Под действием силы трения в начальный момент кольца 1, 2 смещены вправо и прижаты друг к другу (рис. 2). Кольцо 1 осуществляет ППД отверстия. В очаге деформации имеет место одна контактная и две внеконтактные зоны, т.е. образуются две волны внеконтактной деформации до $l_{4в}$ и после $l_{3в}$ зоны контакта $l_{1в}$ (проекция ширины). Кольцо 2 находится в зоне волны внеконтактной деформации $l_{2в}$ после кольца 1.

$$I = l_{2в} = l_{4п}, \quad (1)$$

где I - расстояние между деформирующими элементами; $l_{2в}$ - волна внеконтактной деформации после поступательно-возвратного кольца 1; $l_{4п}$ - волна внеконтактной деформации перед поступательным кольцом 2.

Длина внеконтактных зон перед и за деформирующим элементом примерно равны

$$l_{4в} \approx l_{3в}, \quad l_{4п} \approx l_{3п}, \quad (2)$$

где $l_{3в}$, $l_{3п}$ - длина волны внеконтактной деформации после колец 1, 2; $l_{4в}$, $l_{4п}$ - длина волны внеконтактной деформации перед кольцами 1, 2

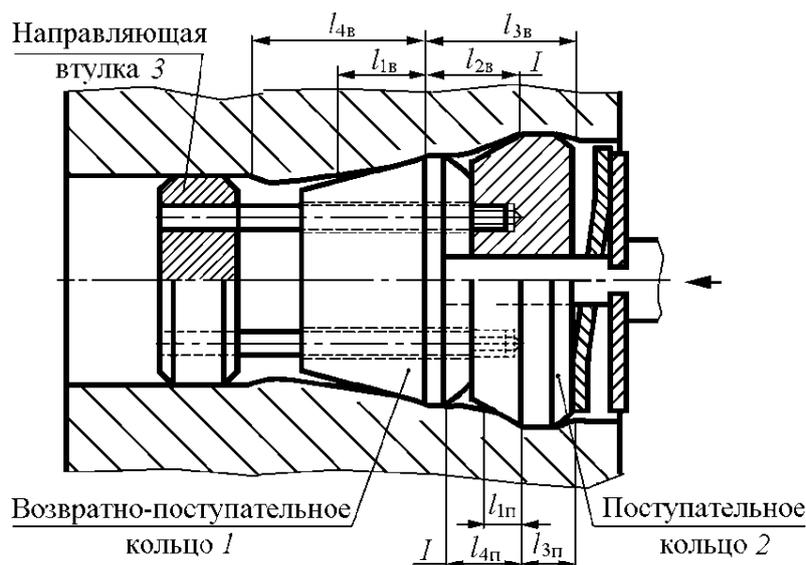


Рис. 2. Установочная позиция дорна:

- 1 - возвратно-поступательное кольцо; 2 - поступательное кольцо; 3 - втулка направляющая;
- $l_{1в}, l_{1п}$ - проекции ширины зоны контакта колец $1, 2$;
- $l_{2в}$ - расстояние до максимума волны внеконтактной деформации после кольца 1 ;
- $l_{3в}, l_{3п}$ - длина волны внеконтактной деформации после колец $1, 2$;
- $l_{4в}, l_{4п}$ - длина волны внеконтактной деформации перед кольцами $1, 2$

Далее при перемещении штока 10 (рис. 1) по резьбе в крышке 16 полумуфты 8 и 9 прикасаясь попеременно вершинами шариков 11 и впадинами синусоидальных поверхностей, образованных ими на торцовых поверхностях, осуществляют статико-возвратно-поступательное нагружение штока 4 и Z-образной пружина 7 через опорную шайбу 6 .

При поступательном перемещении жестко закрепленное на штоке 4 кольцо 1 (рис. 3, а) осуществляет ППД отверстия детали, прижимаясь в конце движения торцом, перемещает втулку 3 и поступательное кольцо 2 , соединенные направляющими стержнями 5 . Расстояние между деформирующими элементами

$$I = l_{3в} \approx l_{2в} + l_{4п}, \tag{3}$$

в зоне которого, после возвратного кольца 1 образуется волна внеконтактной деформации, в которую перемещается кольцо 2 в положение $2'$, расстояние I стремится к (1).

При возвратном перемещении кольцо 2 и втулка 3 неподвижны, а кольцо 1 (рис. 3, б) на штоке 4 осуществляет возвратное перемещение по тягам 3 и прижимается к неподвижному кольцу 2 , осуществляя повторную ППД отверстия. Далее процесс циклично повторяется.

В процессе дорнования деформированное состояние металла в контактной и внеконтактных зонах различное и изменение его наступает на границах раздела контактного участка с внеконтактными. В зоне контакта заготовки с инструментом $l_{1в}, l_{1п}$ геометрия течения жестко определена формой инструмента, а основные погрешности при дорновании возникают во внеконтактных зонах перед кольцами дорна $l_{4в}, l_{4п}$ и после $l_{3в}, l_{3п}$. Во внеконтактных зонах условия деформирования отличаются от контактной: отсутствует трение, происходит изгиб образующей заготовки и т.д.

Кольцо 1 на рис. 3, б осуществляет возвратное перемещение по упрочненной им же поверхности, причем предварительная деформация с соответствующим упрочнением поверхностного слоя (ПС) влияет на фактическую ширину контакта $l_{1в}$, которая увеличивается

за счет того, что при стандартном дорновании фактическая длина l_{cp} составляет 0,3...0,5 от геометрического значения l_1 , но на расстоянии от края заготовки (вход) равное 0,5...0,7 обрабатываемого диаметра $D_{обр}$ фактическое значение l_{cp} равно своему геометрическому параметру и составляет

$$l_{cp} = l_1 = \frac{a}{2 \sin \alpha}, \quad (4)$$

где a – припуск на обработку; α – угол заборного конуса возвратно-поступательного кольца l .

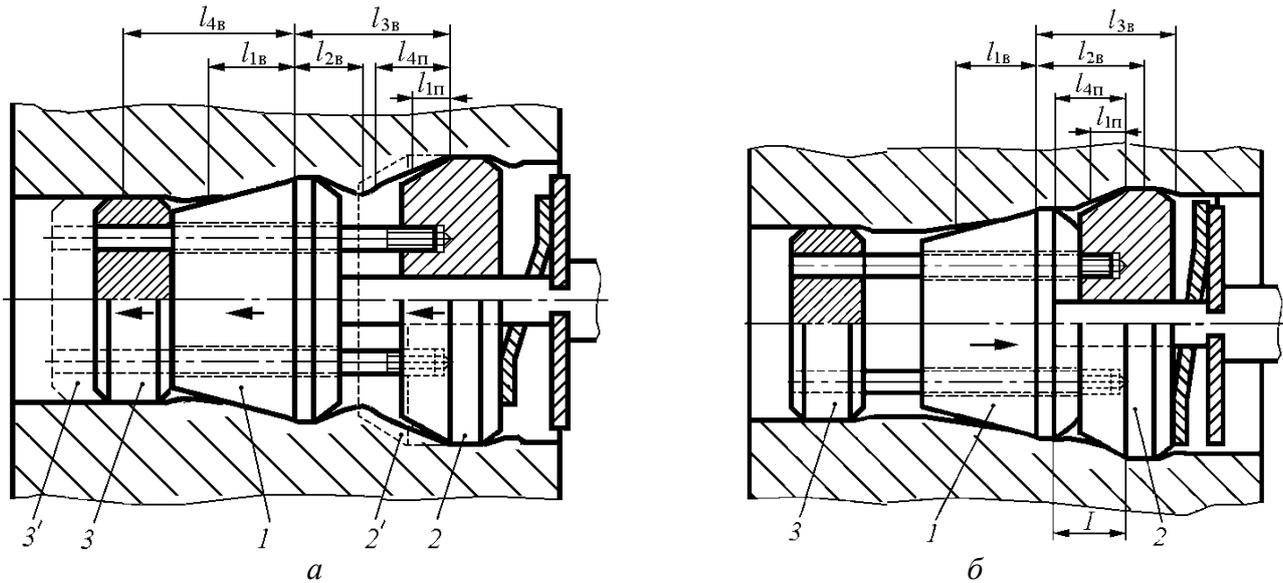


Рис. 3. Схемы работы дорна:

a – поступательное перемещение; *б* – возвратное перемещение

Для предлагаемой конструкции возвратно-поступательное кольцо в каждый свой цикл движется не более $0,5 D_{обр}$ и поэтому $l_{cp} = l_1$.

В процессе упругопластической деформации до достижения точки максимума высоты внеконтактной волны возникают и накапливаются искажения, основная часть которых фиксируется в металле. Далее наступает период упругой разгрузки, и накопленные искажения существенно не изменяются.

Направляющая втулка 3 обеспечивает точность центрирования в процессе ППД последовательно кольцами 1 и 2 дорна поверхности заготовки.

Неперпендикулярность опорного торца детали к его образующей могут вызвать отклонения от осесимметричного течения металла заготовки, а значит и возмущения в осевой деформации.

Точность изготовления инструмента включает следующие параметры

$$\Delta_{\text{гар. зазора}} + ITr_{\kappa} d + ITr_{\kappa} D, \quad (5)$$

где $\Delta_{\text{гар. зазора}}$ – гарантированный зазор между штоком 4 и поступательно возвратным кольцом l ; $ITr_{\kappa} d$ – допуск на изготовление штока 1; $ITr_{\kappa} D$ – допуск на изготовление отверстия под шток 4 в поступательно-возвратном кольце l .

Данная формула имеет место, если предполагаемый инструмент изготавливается в серийном производстве, а при индивидуальном изготовлении параметры $ITr_{\kappa} d$ и $ITr_{\kappa} D$ – от-

сутствуют, так как данное соединение подгоняется индивидуально и поэтому в формуле остается гарантированный зазор, который может находиться в пределах 0,02...0,05 мм. В таком случае формула будет состоять из $\Delta_{\text{гар. зазора}}$.

В данной конструкции (рис. 1) имеет значение точность изготовления всего инструмента $\Delta_{\text{инстр}}$, которая будет определяться в основном соосностью поступательного кольца 2 и направляющей втулки 3. Если

$$\Delta_{\text{инстр}} > \Delta_{\text{гар. зазора}} \quad (6)$$

т. е. колебание кольца 1 будет меньше точности инструмента, то это колебание вызванное поперечным и тангенциальным деформированием металла не будет иметь существенного влияния на размер получаемой поверхности. В случае

$$\Delta_{\text{инстр}} < \Delta_{\text{гар. зазора}} \quad (7)$$

влияние на размер получаемой поверхности будет оказывать часть значения $\Delta_{\text{гар. зазора}}$ превышающая $\Delta_{\text{инстр}}$ и это значение будет выражено

$$\Delta_{\text{гар. зазора}} - \Delta_{\text{инстр}} = \Delta_{\text{превышено}} \quad (8)$$

Таким образом данное значение $\Delta_{\text{превышено}}$ будет входить в дальнейшие расчеты, связанные с качеством получаемой поверхности.

В конструкции дорна (рис. 3) деформирующие кольца 1 и 2 помещены на шток 4 с различными посадками и как следствие с разной податливостью основания деформирующих элементов.

Согласно гипотезе Е. Винклера, где упругая податливость у какой-либо точки упругого основания прямо пропорциональна приложенному в этой точке давлению.

Для поступательно-возвратного кольца 1 (рис. 3, а) посаженного на шток 4 дорна без зазора коэффициент податливости (коэффициент постели) складывается из коэффициентов податливости деформирующего элемента 1 и самого штока 4.

$$K_{\text{п1}} = \frac{E}{R_{\text{к}} \left(\frac{R_{\text{к}}^2 + r_{\text{к}}^2}{R_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2} - \mu' \right)} + \left[\frac{(1 - \mu') R_{\text{к}}}{r_{\text{к}}} + \frac{(1 + \mu') r_{\text{к}}}{R_{\text{к}}} \right] \frac{E}{2(1 - \mu')} \quad (9)$$

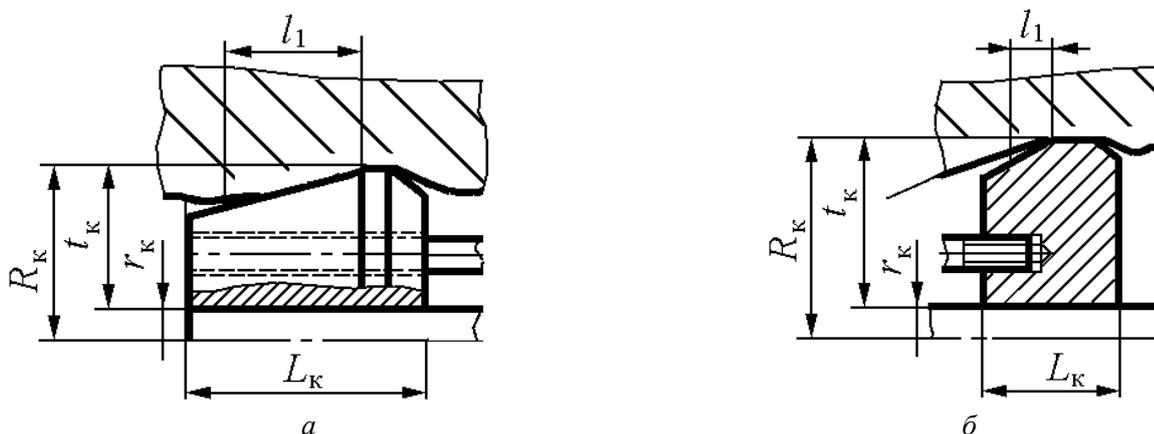


Рис. 3. Схемы для расчета коэффициентов податливости

где R_k - наружный радиус кольца; r_k - внутренний радиус кольца; E - коэффициент Пуассона деформирующего элемента; μ' - модуль упругости материала деформирующего элемента.

Коэффициент податливости (коэффициент постели) деформирующего поступательно-го кольца 2 (рис. 3, б), перемещающегося на штоке 4 с зазором

$$K_{п_2} = \frac{E}{R_k \left(\frac{R_k^2 + r_k^2}{R_k^2 - r_k^2} - \mu' \right)}. \quad (10)$$

Амплитудное значение прогиба (осадка поверхности основания) деформирующего элемента

$$Y_k = \frac{q_k \left(1 + \frac{1 - \mu'}{2r_k + t_k} t_k \right)}{\frac{Et_k}{\left(r_k + \frac{t_k}{2} \right)^2} + \frac{Et_k^3}{12(1 - \mu'^2)} \left(\frac{\beta_k}{r_k} \right)^4 + K_\beta \left(1 - \frac{1 - \mu'}{2r_k + t_k} t_k \right)}, \quad (11)$$

где K_β - коэффициент отношения периодической радиальной нагрузки на шток дорна к радиальному перемещению поверхности штока дорна, а также приняв $K_\beta = 0$ для деформирующего элемента, посаженном на стержень с большим зазором; q_k - распределенная нагрузка постоянной интенсивности от кольца

$$q_k = \frac{4qr_k}{L_k \beta_k} \sin \frac{l_1}{2r_k}, \quad (12)$$

где распределенная нагрузка постоянной интенсивности q определяется

$$q = \frac{Q(f \sin \alpha - \cos \alpha)}{2\pi R_k l_1 (\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (13)$$

при $l_1 = a/2 \sin \alpha$

$$q = \frac{2Q \sin \alpha (f \sin \alpha - \cos \alpha)}{2\pi R_k a (\sin \alpha - f \cos \alpha)} = \frac{Q(f \sin \alpha - \cos \alpha)}{\pi R_k a (1 + f \operatorname{tg} \alpha)}. \quad (14)$$

В результате ППД отверстий дорном формируется внутренняя цилиндрическая поверхности с соосностью отверстия не более 0,05 мм, овальностью 0,02 мм, общей цилиндричностью (бочкообразность, седлообразность, конусность) не более 0,03 мм и суммарным искажением формы не более 0,06 мм и упрочненным поверхностным слоем с остаточными напряжениями сжатия $\sigma_{ост} = 300 \dots 800$ МПа и шероховатостью поверхности $R_a = 0,05 \dots 0,10$ мкм.

Библиографический список

1. Пат. № 153613 В24В39/00. Дорн / Н.М. Тудакова, В.В. Крайнов, В.М. Сорокин. – 30.06.2015. – 4 с.
2. 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 06.04.2017*

N.M. Tudakova, V.V. Kraynov

DORN WITH STATIC-RETURN-PERIPHERAL LOADING OF PAPER HOLES

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

Purpose: In modern serial and small-scale production of precise internal cylindrical surfaces (VCP), it is economically disadvantageous, but sometimes it is necessary to use plastically deforming treatment (PDO), in addition there are questions of accuracy, in particular, ensuring ovality, alignment and cylindrical opening, are very relevant and important, especially for Long holes.

Design/methodology/approach: In the process of elastic-plastic deformation, before reaching the maximum point of the height of the non-contact wave, distortions arise and accumulate, the bulk of which is fixed in the metal. Then comes the period of elastic discharge, and the accumulated distortions do not change significantly.

Findings: As a result of PPD holes, an inner cylindrical surface is formed with a coaxial opening of not more than 0,05 mm, an oval of 0,02 mm, a total cylindricality (barrel, saddle, conicity) of not more than 0,03 mm and a total distortion of the shape of not more than 0.06 mm. Hardened surface layer with residual compressive stresses $\sigma_{\text{ост}} = 300 \dots 800$ MPa and a surface roughness $R_a = 0,05 \dots 0,10$ μm .

Originality/value: To increase the accuracy of centering during the machining of internal cylindrical surfaces of PPD units with static-reciprocating loading, a tool-mandrel including deforming rings with a guide sleeve was designed.

Key words: mandrel, hole, accuracy, hardening.