



УДК 621.78

**Н.М. Тудакова**, ст. преподаватель каф. ТиОМ, аспирант, НГТУ им. Р.Е.Алексеева  
**В.В. Крайнов**, к.т.н., доцент каф. ТиОМ НГТУ им. Р.Е.Алексеева  
603155, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

## ДОРН, КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ППД ОТВЕРСТИЙ СОЕДИНЕНИЙ СУДОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

*Ключевые слова:* Пластическая деформация, дорнование, волна внеконтактной деформации геометрическая точность обработанной поверхности.

*Рассмотрены новые варианты технологии производства внутренних цилиндрических поверхностей методом поверхностно пластического деформирования и, в частности, (дорнование) и на основе сравнительных результатов предложены новые варианты обработки сквозных цилиндрических отверстий в зависимости от их геометрических параметров.*

При производстве и ремонте деталей в судостроении, важно качество сопряженных нагруженных поверхностей. На качество изготавливаемых поверхностей, влияют такие факторы, как технические и технологические возможности оборудования, оснастки и инструмента, факторы используемых материалов, факторы технологии или сочетание технологий.

С помощью широко применяемых методов окончательной обработки (шлифование, хонингование, доводка и т.д.) создается необходимая форма деталей с заданной точностью, но часто не обеспечивается оптимальное качество поверхностного слоя. Оно достигается поверхностным пластическим деформированием (ППД), при котором стружка не образуется, а происходит тонкое пластическое деформирование поверхностного слоя. В результате упрочняется поверхностный слой, создаются остаточные сжимающие напряжения в поверхностном слое, получается благоприятная по форме микронеровностей и минимальным параметрам шероховатость поверхность, с положительными микроструктурными изменениями в поверхностном слое металла, с созданием направленной текстуры металла в поверхностном слое металла. Благоприятные остаточные напряжения, возникающие при обработке ППД, достигают сотен МПа, а глубина их распространения соответствует глубине пластически деформированного слоя и с его увеличением, увеличивается уровень сопротивления усталости, повышается износостойкость, сопротивление к схватыванию металла, стойкость к коррозионным воздействиям, сопротивление контактной усталости и т.д. Во многих случаях применением ППД удается повысить запасы прочности деталей, работающих при переменных нагрузках, в 1,5 – 2 раза с увеличением срока службы деталей в десятки раз.

Применение ППД очень эффективно при крупносерийном и массовом производстве. Эта эффективность заключается в использовании специализированного оборудования для ППД и инструмента (особенно для втулок), который для обеспечения нужной точности обработанной поверхности совмещается в комбинированный инструмент (режущее деформирующий). Современный комбинированный инструмент, например протяжка, очень трудоемка в производстве и по этой причине ее стоимость

составляет значительную сумму. По этой причине использование такого инструмента, для изготовления детали, в ремонтном, в единичном и мелкосерийном производстве неэффективно. При ремонте высокотехнологичного оборудования, для многих деталей, при их замене, по своим характеристикам требуется технология ППД, в противном случае, без обработки ППД их долговечность будет доходить до 10 – 25% от гарантированного срока службы данной детали. По этой причине для производства таких деталей в ремонтном производстве, или в единичном и мелкосерийном производстве необходимо иметь для обработки ППД недорогой инструмент и не сложную технологию, но создающую поверхность, не отличающуюся по своим характеристикам, от поверхностей гарантированных деталей.

Предлагаемые авторами решения изготовления качественной поверхности, при помощи деформирования обрабатываемой поверхности (дорнование) направлены на изменение формирования внеконтактной деформации на различных этапах ее формирования. Эти изменения в формировании внеконтактной деформации распределены не только в геометрической плоскости, но и представляют собой различные аспекты в формировании этой деформации, ее регулирования и управления.

Эти различные аспекты реализованы в конструкторско-технологические решения и оформлены в виде патентов на полезную модель или на изобретение (раздел литература).

Патент на изобретение дорн, имеет направление конструкторско-технологическое.[3]

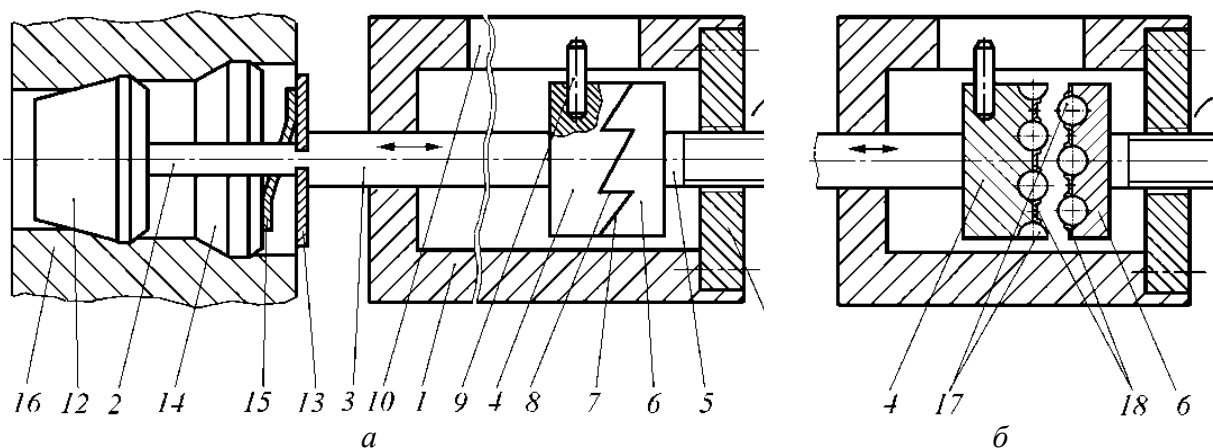


Рис. 1. Дорн для поверхностно пластической деформации отверстий:

- а) с сопряжением полумуфта по зубчатой поверхности; б) с сопряжением полумуфта по синусоидальной поверхности; 1 - корпус; 2 - шток; 3 - поступательно-возвратная часть; 4 - поступательно-возвратная полумуфта; 5 - вращательно-поступательная часть; 6 - 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

При рассмотрении процесса дорнования был сделан вывод, что постоянная площадь контакта деформирующего элемента с деформируемым материалом может осуществляться только на протяжении 0,5 диаметра деформируемого отверстия от входа. В этот момент ни длина, ни высота и ни форма внеконтактной волны еще не окончательно не сформирована. Формируется она позже в зависимости от обрабатываемого диаметра, соотношением наружного и внутреннего диаметра, толщины стенки и припуска на обработку. [1] При этих параметрах воздействовать на форму и длину волны внеконтактной деформации можно только изменяя значения припуска. Но при назначении

припуска на обработку мы имеем определенные требования, отход от которых может привести к ухудшению качества обрабатываемой поверхности (в основе своей шероховатость поверхности). В остальном именно при формировании волны внеконтактной деформации происходит отклонение геометрической точности отверстия. [2] На основании вышеизложенного, можно сделать вывод, что сформировать высоту и длину волны возможно в момент начала ее формирования, т.е. постоянно на всем протяжении движения деформирующего элемента по отверстию заготовки имеется требование состояния входа деформирующего элемента в заготовку. По этой причине требование постоянного входа реализовано на принципе возвратно-поступательного хода деформирующего элемента и таким образом реализована возможность управления в изменении формирования формы и длины волны внеконтактной деформации. Это позволяет вести регулирование на качество обрабатываемой поверхности.

Предлагаемый патент дорн, это модернизация предыдущего патента. [4]

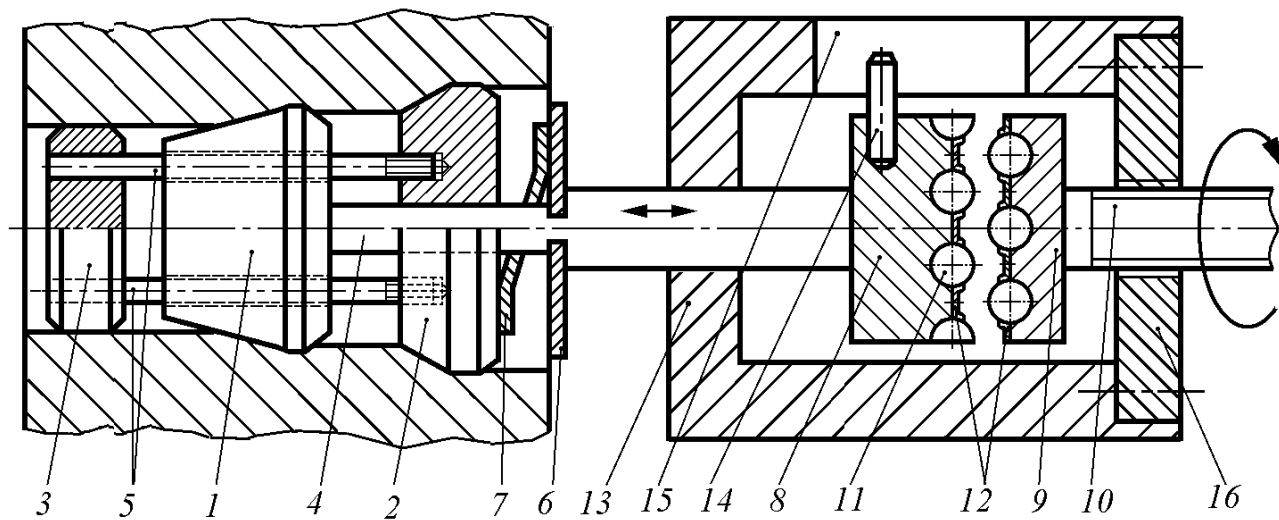


Рис. 2. Дорн:

- 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

Она направлена на использование конструкторских вариантов деформирующих приспособлений в направлении изготовления более качественных обработанных поверхностей в направлении более высоких геометрических параметров обрабатываемых отверстий.

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 осиметричного течения металла заготовки, а значит и возмущения в осевой деформации.

В данной конструкции (рис. 2) имеет значение точность изготовления всего инструмента, которая будет определяться в основном соосностью поступательного кольца 2 и направляющей втулки 3.

Третий патент, устройство для дорнования точных отверстий (рис. 3) рассматривает регулирование влияния волны внеконтактной деформации, на качество изготавливаемой поверхности, непосредственно сразу после ее формирования. [5] В этот самый момент, когда обработанная поверхность испытывает восстановительную реакцию, в противодействие этой реакции, в зависимости от усилия на штоках, и соответственно давление штоков не только на деформирующий элемент но и обработанную поверхность, создавая силу, отчасти компенсирующую силу восстановительной реакции. Эта компенсирующая сила, в отличие от силы восстановительной реакции имеет постоянную составляющую на всем протяжении движения штоков по обработанной поверхности. В местах, где восстановительная реакция будет несколько больше чем на других участках обработанной площади и больше усилия прогиба штока в направлении оси отверстия, т.к. все штоки имеют единую конструкцию, которая не позволяет каждому штоку увеличить или уменьшить свою длину без взаимодействия на другие штоки, т.е. на всю конструкцию. Это взаимодействие придаст дополнительное усилие на этом участке, которое будет противодействовать восстановительной реакции направленную на изгиб штока. Рассмотрим противоположный вариант. Когда усилие восстановительной реакции меньше усилия штока на обработанную поверхность. На этом участке усилия штока не могут изогнуть шток в направлении поверхности имеющее более низкое значение усилия восстановительной реакции. Единая конструкция дорна также не позволит совершить данный прогиб, и усилие восстановительной реакции может довести обработанную поверхность до соприкосновения с поверхностями штоков.

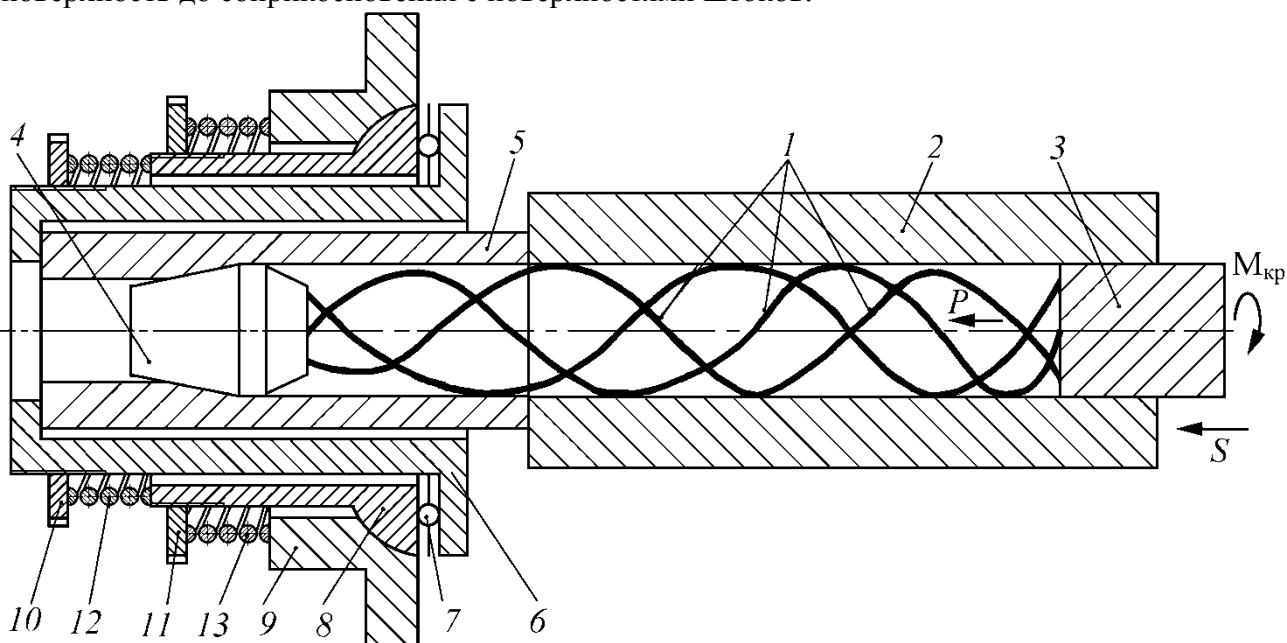


Рис. 3 Устройство для дорнования точных отверстий:

1 - шток; 2 - втулка направляющая; 3 - державка; 4 - дорн; 5 - заготовка; 6 - корпус;  
7 - подшипник упорный; 8 - втулка; 9 - корпус; 10, 11 - гайка; 12, 13 - пружина

Аналогичное воздействие усилий у конструкции возникает при отклонении деформирующего элемента от оси отверстия. Это отклонение вызывает «наследственность» изготовления отверстия предыдущими инструментами и отклонению вызванном обработкой деформирующим элементом (дорнованием). «Наследственные» отклонения оси отверстия могут компенсироваться жесткой конструкцией многоэлементной протяжки с входными и выходными направляющими. Остальные протяжные конструкции, особенно одноэлементные, «наследственные» отклонения оси повторяют (рис. 5).

В основе всех показателей предлагаемых конструкций, лежит концепция, воздействия на форму и длину волну внеконтактной деформации, которая в свою очередь в значительной мере воздействует на отклонения геометрической формы обрабатываемых поверхностей. Первые две конструкции воздействуют на волну внеконтактной деформации непосредственно в момент перемещения возвратно – поступательного дорна, а третья на момент окончания формирования волны внеконтактной деформации и таким образом изменяя параметр на отклонения геометрической формы обрабатываемых поверхностей.

Характеристики по геометрической точности предложенных конструкций не уступают характеристикам изготовления отверстий многоэлементным протяжным инструментам, а по некоторым позициям характеристик даже их превосходят (рис 4-8).

Для сравнительных характеристик была использована сталь 20, как одна из распространенных сталей, используемых в судовых деталях.

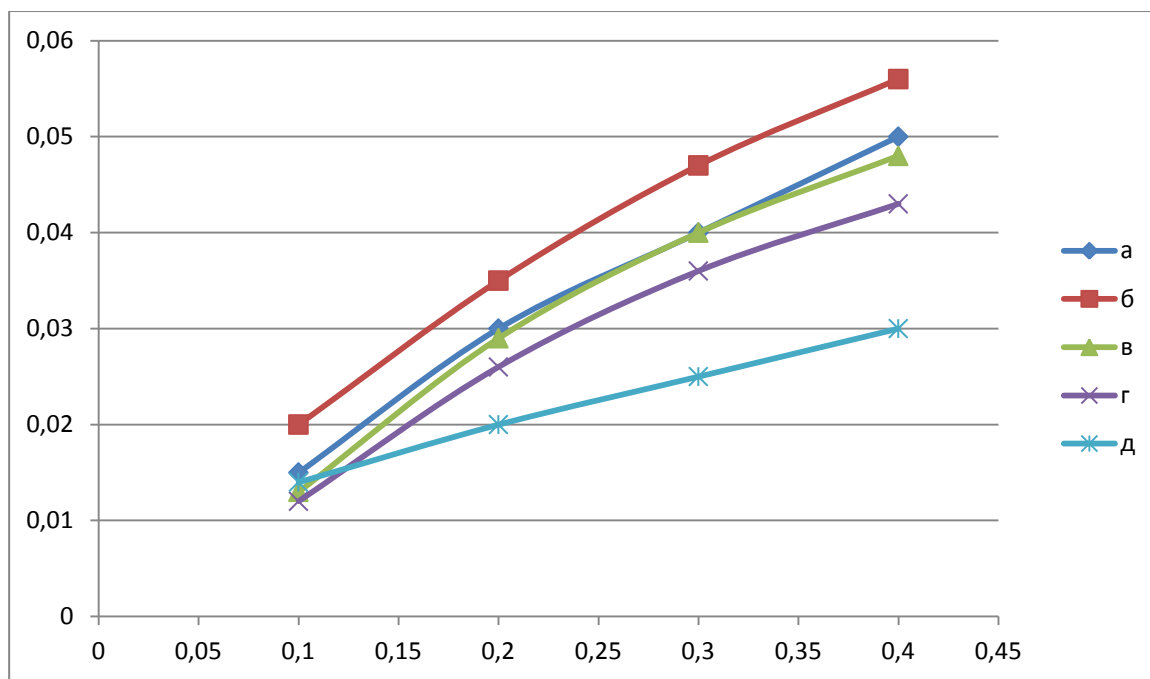


Рис. 4. Осевое смещение обработанных отверстий (в мм.) в зависимости от натяга (в мм.)

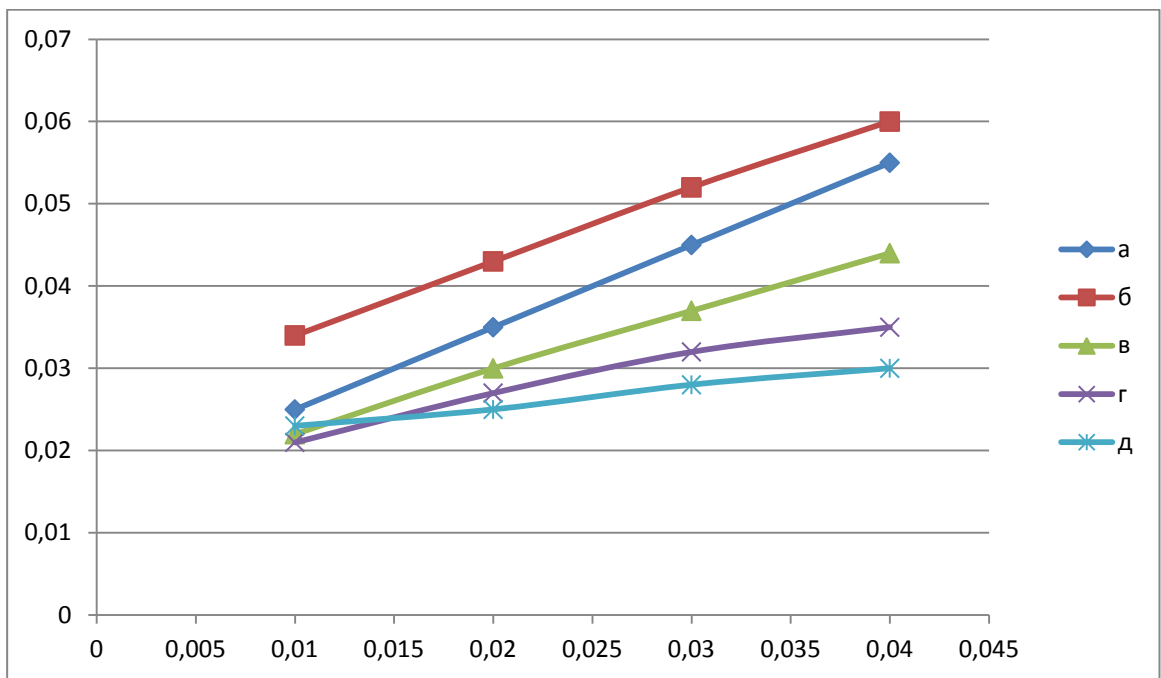


Рис. 5. Осевое смещение обработанных отверстий (в мм.), в зависимости от «наследственного» осевого смещения вызванного предварительной обработкой отверстия (в мм.)

График «а» в рис.4. – обобщенная характеристика осевого смещения для многоэлементных протяжек, в рис.5. – обобщенная характеристика осевого смещения для одноэлементных протяжек; график «б» в рис.4.,5. – оборудование для конструкции [3] прессовое; график «в» в рис.4.,5. – оборудование для конструкции [3] токарный станок; график «г» в рис.4.,5. – оборудование для конструкции [4] токарный станок; график «д» в рис.4.,5. – оборудование для конструкции [5] токарный станок;

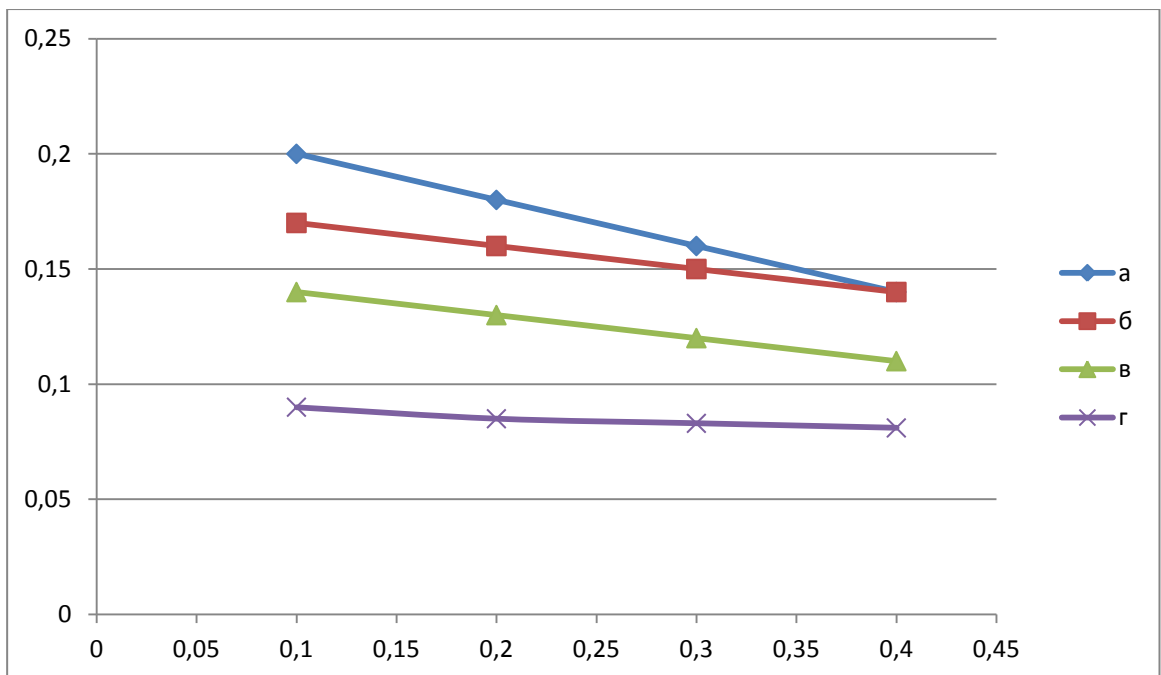


Рис. 6. Погрешность обработки (конусность) (в мм.) в зависимости от натяга (в мм.)

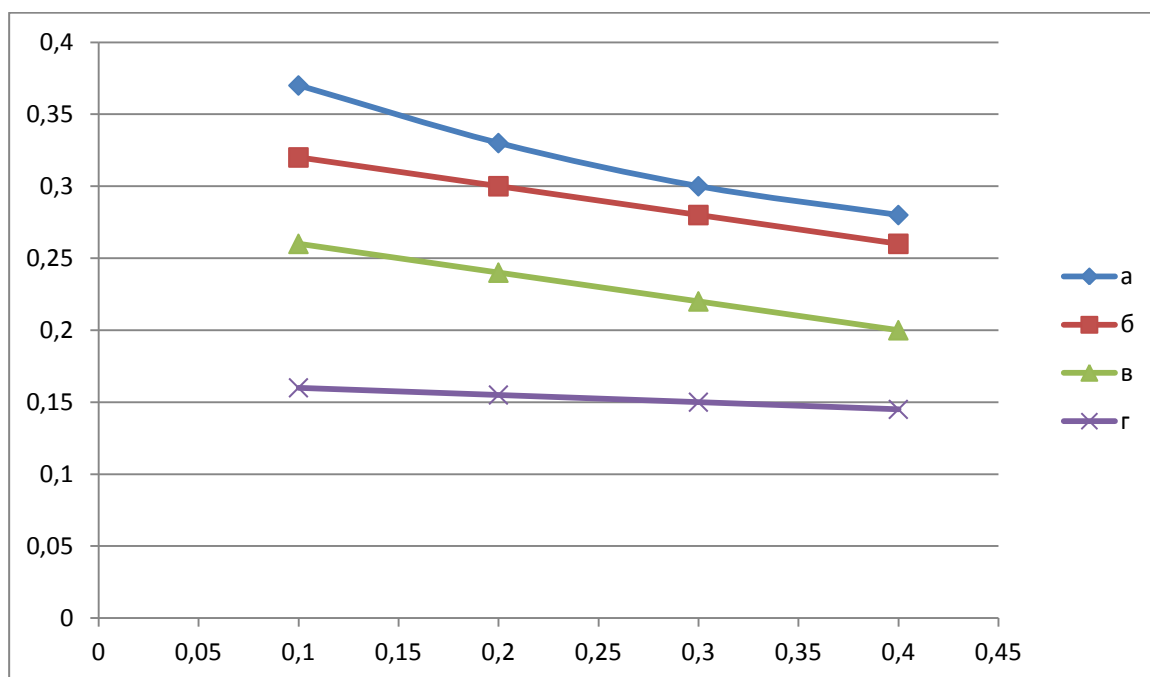


Рис. 7. Погрешность обработки (бочкообразность) (в мм.), в зависимости от натяга (в мм.)

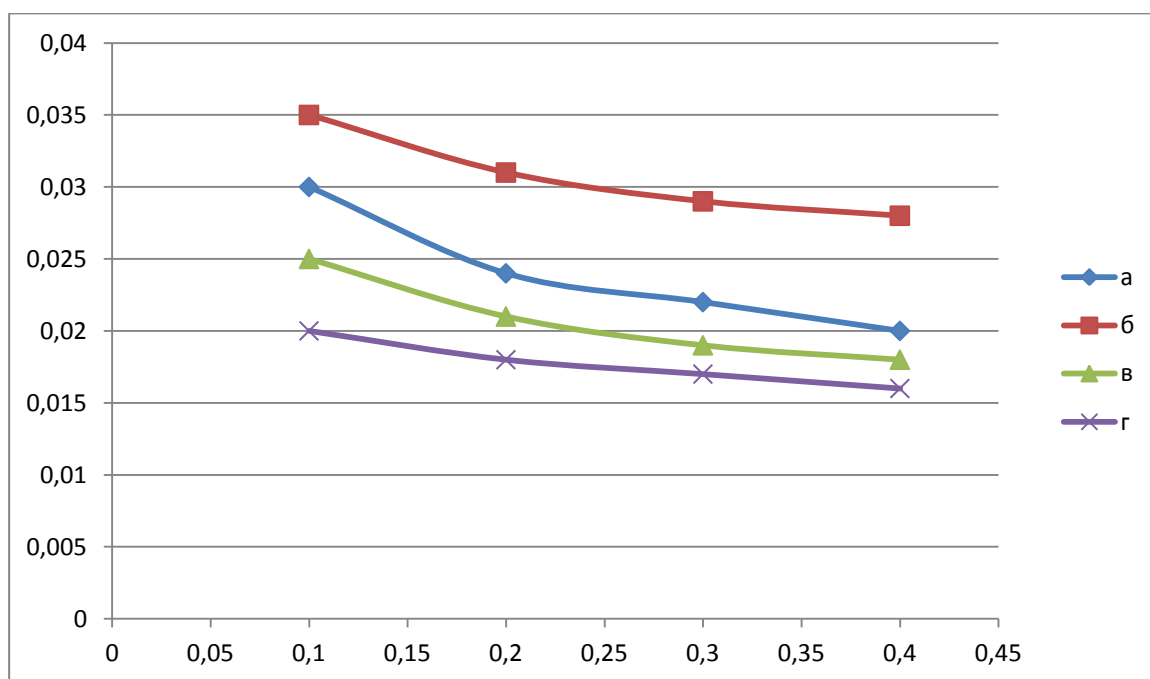


Рис. 8. Погрешность обработки (овальность) (в мм.) в зависимости от натяга (в мм.)

График «а» в рис.6. – обобщенная характеристика (конусности) для многоэлементных протяжек; в рис.7. – обобщенная характеристика (бочкообразность) для многоэлементных протяжек; в рис.8. . – обобщенная характеристика (овальность) для многоэлементных протяжек; график «б» в рис.6. – 8. – для конструкции [3]; график «в» в рис. 6. – 8. – для конструкции [4]; график «г» в рис. 6. – 8. – для конструкции [5]; оборудование для всех предлагаемых конструкций графиков. 6. – 8. токарное оборудование.

На все приведенные, на рис 4 – 8 характеристиках у конструкции [3] имеет влияние люфт штока и второго дна. Это влияние вызвано отклонением оси дорнов в момент обработки отверстия и чем больше люфт, тем значительней он влияет на это отклонение. По этой причине, в качестве ее компенсации была разработана конструкция [4] с направляющей втулкой. Это конструкция в отличие от конструкции [3]; имеет более

жесткую конструкцию и позволяет частично компенсировать влияние люфта штока и второго дна на геометрическую характеристику получаемой поверхности. Конструкция [4] повлияло на характеристику закономерным лучшим образом. У конструкции [4] на всех сравнительных графиках характеристика сдвинута почти линейно, относительно характеристик для конструкции [3], вниз, что указывает на положительное влияние введенной модернизации

Предлагаемая конструкция [5] при работе с «наследственностью» в виде отклонения оси работает аналогично жесткой конструкции многоэлементных протяжных инструментов, которая не позволяет отклониться от оси деформирующему элементу, за счет перенаправления усилий на края тыльной части дорна. Эти усилия не сконцентрированы на оси дорна, а расположены по диаметру задней его плоскости и любое отклонение направления дорна будет вызывать в этом сегменте дорна сжатие соответствующего штока, что вызовет ответную реакцию со стороны всей конструкции в восстановлении этого отклонения.

Эта жесткость конструкции позволяет компенсировать искажения формы геометрической поверхности обработанной поверхности, вызванная в процессе обработки деформирующим элементом (рис 5 ). Отклонения припуска по диаметру, неравномерность толщины стенки заготовки, неравномерность твердости материала и т.д. все что может изменить формы и длину волны внеконтактной деформации, и соответственно вызвать различные искажения формы геометрической поверхности, всему этому будет противодействовать усилия на штоках в направлении обработанной поверхности от оси отверстия. Обратная реакция от обработанной поверхности на поверхность штока также будет направлена на ось отверстия, что создает общее сконцентрированное усилие на деформирующий элемент расположенный строго на оси. Эта система расположения усилия, несмотря на перемещения штоков по оси и диаметру отверстия постоянно самоцентрируется и самонастраивается, что позволяет уменьшить не соосность отверстия и искажения формы геометрической поверхности.

Заключение: Предлагаемые конструкции (рис.1,2,3.), для ремонтного, единичного и мелкосерийного производства, обеспечивают геометрическую точность обрабатываемых отверстий, которые изготавливаются в серийном и массовом производстве при помощи сложных комбинированных инструментов и обеспечивают параметры, такие как: осевое смещение 0,015 – 0,03 мм, конусность 0,07 – 0,17мм, бочкообразность 0,15 – 0,33мм, овальность 0,02 – 0,03 мм.

#### **Список литературы:**

- [1]. Розенберг, А.М. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания/ А.М. Розенберг, О.А. Розенберг. – Киев: Наукова думка, 1990. –320 с.
- [2].Тудакова, Н.М. Дорн для поверхностной пластической деформации внутренних поверхностей/Н.М. Тудакова, В.В. Крайнов, //Труды НГТУ.2016. № 3(114) –с. 150 (5 с.).
- [3]. Патент на изобретение №2533507 «Дорн» Н.М. Тудакова, В.В. Крайнов О.В. Фомичева. дата подачи заявки 12.04. 2013. Опубликовано 20.11.2014.
- [4]. Патент на полезную модель № 153613 «Дорн» Н.М. Тудакова, В.В. Крайнов В.М. Сорокин. дата подачи заявки 28.01. 2015. Опубликовано 30.06.2015.
- [5]. Патент на полезную модель № 159407 «Устройство для дорнования точных отверстий» В.В. Крайнов, Н.М. Тудакова. дата подачи заявки 01.04.2015. Опубликовано 10.02.2016.

## **DORN, CONSTRUCTIONS FOR PPD OF HOLES OF JOINTS OF SHIP PARTS**

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

---

*Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов*

*Секция IX Технология конструкционных материалов, машиноремонта и водоподготовка*



*Key words: Plastic deformation, dorking, wave of non-contact deformation, geometrical accuracy of the treated surface.*

*New variants of the technology for the production of internal cylindrical surfaces by the method of surface plastic deformation and in particular (dovnanie) are considered and new variants of machining through cylindrical holes are proposed on the basis of comparative results, depending on their geometric parameters*