

УДК 541.12

Вершина Г.А., Чигарев А.В., Пилатов А.Ю.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАЗРЕЗНЫХ КОЛЕЦ ИЗ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

Постановка проблемы

В настоящий момент изделия из полимеров все шире заменяют дорогостоящие материалы во многих отраслях промышленности. Сегодня эти изделия применяются не только в оборонной и космической отраслях, но и в химической, нефтегазовой, машиностроительной, электронной промышленности, энергетике – и этот список год от года продолжает расти.

Анализ современного рынка автомобилестроения показывает, что значительная часть выпускаемых изделий изготавливается из нетрадиционных материалов и, в частности, из полимеров или их аналогов, а также увеличивается спрос на разрезные изделия уплотнительного назначения в отрасли автомобилестроения. В 2010–2011 годах для предприятий Украины поставки разрезных колец уплотнительного назначения превысили 1 млн штук в год.

Свойства фторопласта, как одного из наиболее применяемых полимеров, уникальны. Его химическая стойкость к кислотам и щелочам сравнима с золотом. Фторопласт имеет низкий коэффициент трения и достаточно широкие рабочие температурные пределы для пластмасс от $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+260\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

Сегодня производство различных типов фторполимеров ежегодно увеличивается на 3–3,5 %, а для специальных фторполимеров (плавкие фторполимеры и фторкаучуки) – на 7–10 % в год, в то время как спрос на эту продукцию растет в целом на 15–20 % в год.

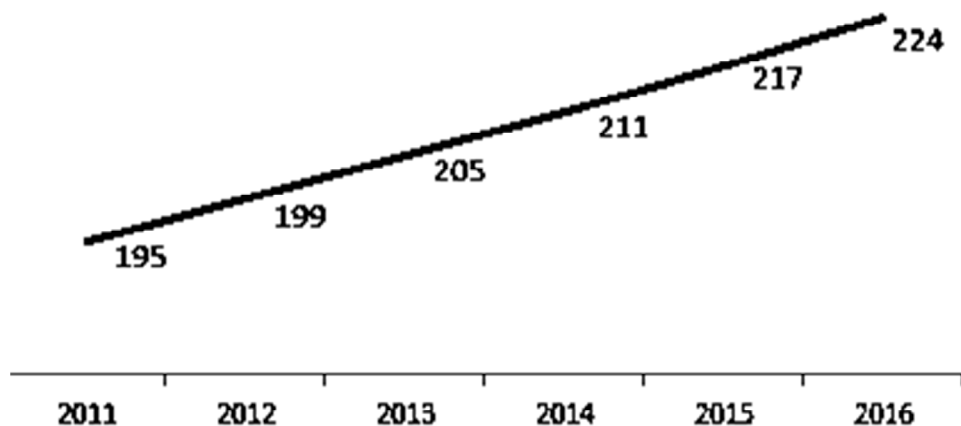


Рисунок 1 – Прогнозный показатель производства фторопластовых изделий в мире на 2011–2016 гг., тыс. тонн/год

Учитывая высокую стоимость фторопласта, широкое развитие получила технология изготовления разрезных фторопластовых колец по специальной технологии, которая позволяет минимизировать отходы при изготовлении неразрезных колец и других уплотнительных и защитных изделий, поскольку допуск заготовки используется на получение фторопластовой ленты, а также существенно повысить производительность за счет автоматизации полного цикла изготовления разрезного кольца.

Анализ исследований и публикаций

Современная технология машиностроения представляет ряд разнообразных способов, описанных в [1], суть которых заключается в наматывании фторопластовой ленты на калибр с последующим ее нагреванием, термофиксацией и разрезкой (рисунок 2). Одинаковые размеры оправок отсутствуют, что зависит от ширины ленты, диаметра кольца и способа намотки.

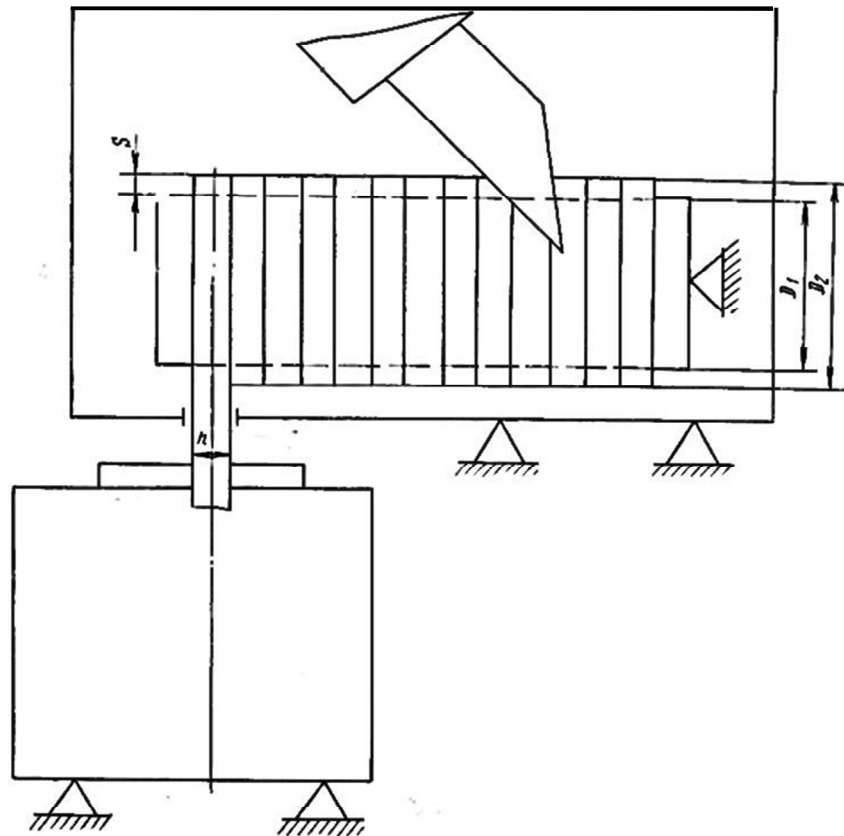


Рисунок 2 – Схема изготовления разрезных колец из полимерного материала [2]

Также для формирования из пруткового шнура кольца шнур подается к формирующему кольцо элементу, а отделение сформированного кольца от остального шнура осуществляется движением пуансона, одновременно с которым кольцо принудительно удаляется из устройства. Данное устройство обеспечивает повышение производительности формирования колец за счет усовершенствованного, по сравнению с аналогами, механизма удаления колец из данного устройства.

К недостаткам указанных способов [1,2] следует отнести: сложность конструкции, большие размеры рассматриваемого устройства, трудности его использования для изготовления разрезных колец из полимерных материалов, то, что для сохранения формы кольца требуется дополнительная термофиксация, а также пониженную точность изготовления.

Следует особо отметить автоматизированный технологический процесс [3] для изготовления разрезных колец из полимерного материала, по которому полимерный материал подают к формообразующему кольцо устройству, предварительно осуществив его разрезание на отрезки длиной, равной длине формируемого кольца. Данная технология [3] реализуется с помощью устройства, которое состоит из механизма подачи – двух роликов, один из которых установлен на подпружиненной опоре, отрезного устройства в виде двух подпружиненных резцов, приводимых в движение от кулачка через двуплечий рычаг, а также формообразующей кольцо полости, куда принудительно подается мерный отрезок шнура после его разрезания.

Следует отметить низкую эффективность известных технических решений в виду наличия прерывистых движений и, как следствие – наличие отходной части приходящейся при резке на каждое кольцо. Размер отхода зависит при этом от скорости протягивания шнура, то есть от производительности данного устройства [3]. Для обеспечения требуемого размера кольца длина мерной части должна быть заведомо большей длины кольца. Кроме этого, данный способ требует наличия термофиксации при нагревании для стабилизации размеров после выделения кольца из формирующего устройства, что изменяет структуру исходного материала и его физико-химические свойства.

Цель статьи

Разработка способа повышенной точности резки по толщине кольца и существенное повышение производительности изготовления колец из полимерных материалов, снижение трудоемкости изготовления разрезных колец из полимерного материала, снижение отходов, снижение энергоемкости производства разрезных колец из полимерного материала.

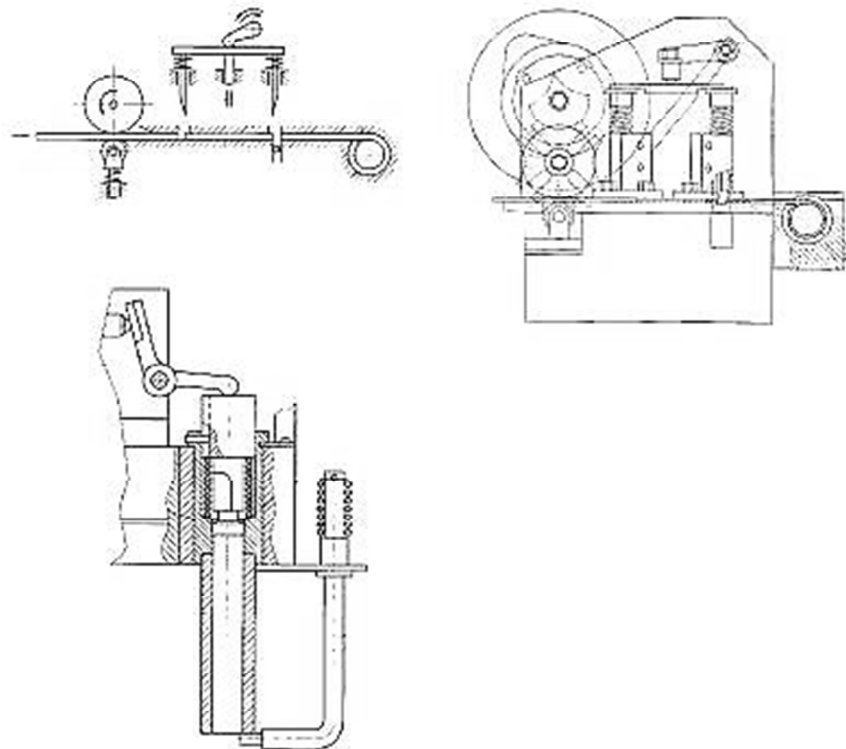


Рисунок 3 – Автоматизированный способ [3] изготовления разрезных колец из полимерного материала

Основной раздел

Основу технологии составляет пластическое деформирование ленты толщиной h , равной высоте кольца радиусом R , из полимерного материала в установившемся режиме, когда лента движется с постоянной скоростью V_0 . Закручивание ленты при ее движении происходит посредством специального упора с формообразующей кромкой, имеющей угол φ (рисунок 4).

Система уравнений (условие пластичности Мизеса, ассоциированный закон пластического течения и интеграл работы), описывающая пластическое деформирование пластины имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_x^2 + M_y^2 - M_x \cdot M_y = M_T \\ \dot{\chi}_x = \lambda(2 \cdot M_x - M_y) \\ \dot{\chi}_y = \lambda(2 \cdot M_y - M_x) \\ \iint M_x \cdot \dot{\chi}_x dx dy = \lambda \\ \iint M_y \cdot \dot{\chi}_y dx dy = \lambda, \end{array} \right. \quad (1)$$

где M_x, M_y – изгибающие моменты относительно осей x, y ;

$\dot{\chi}_x, \dot{\chi}_y$ – скорости кривизны относительно осей x, y ;

λ – коэффициент пропорциональный мощности пластической деформации;

M_T – предельный изгибающий момент на единицу длины сечения ленты.

Учитывая, что изгиб происходит вокруг оси y , тогда:

$$\chi_y = 0; M_y = 0. \quad (2)$$

В этом случае коэффициент пропорциональный мощности пластической деформации определится из (1) с учетом (2) как

$$\lambda = \frac{1}{4 \cdot S M_T^2}, \quad (3)$$

где S – площадь изгибаемого участка ленты.

Скорость V_0 движения ленты определится как

$$V_0 = \dot{\chi}_x \cdot R. \quad (4)$$

Предельный изгибающий момент M_T определится как

$$M_T = \frac{\sigma_T \cdot h^2}{4}, \quad (5)$$

где σ_T – предел текучести полимерного материала.

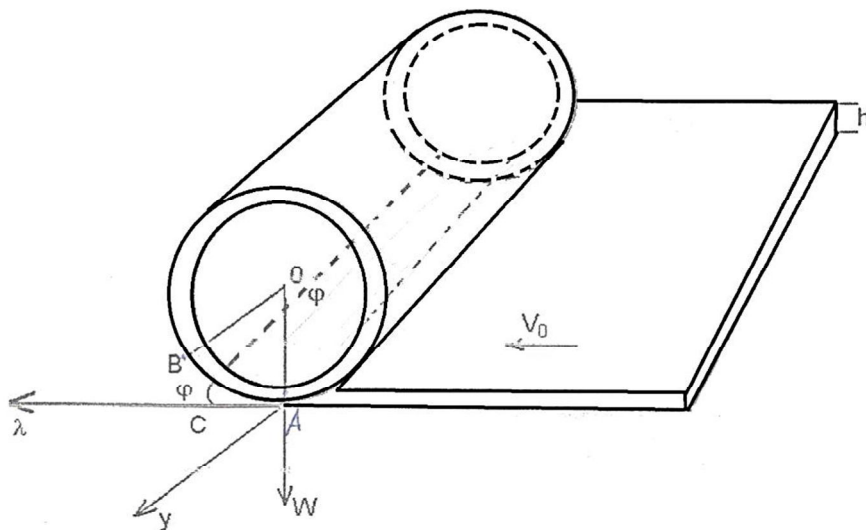


Рисунок 4 – Пластический изгиб ленты из полимерного материала

Учитывая (1) и подставляя (3) и (5) в (4), скорость V_0 ленты определится как

$$V_0 = \frac{2 \cdot R}{S \cdot h^2 \cdot \sigma_T} \quad (6)$$

Выражение (6) устанавливает взаимосвязь между толщиной ленты, радиусом ее закручивания, углом φ упора и пределом текучести σ_T полимерного материала и скорости движения ленты V_0 .

Технология изготовления разрезных колец из полимерных материалов реализуется на специальном станке (рисунок 5), основные конструктивные параметры которого определяются исходя из соотношения (6). Резку шнура 13 производят на части длиной, равной развертке кольца. Придание полученной части шнура 13 формы кольца осуществляют обжатием шнура 13, с приложением постоянного усилия со стороны ведомого ролика 5, механизма 1 подачи с упругой поверхностью 4 и регулируемой эксцентрик 18 опоре 19, при этом с формированием на его окружной поверхности 4 поверхностного контакта со шнуром 13 и последующим протягиванием шнура 13 с повышенным трением через отрезное устройство 2, а резку шнура 13 производят при непрерывно вращающемся ведущем ролике 3. При этом отрезное устройство 2 выполнено в виде двух роликов – ведущего, являющегося одновременно ведущим роликом механизма 1 подачи. Поверхность 4 ведомого ролика 5 выполнена из упругого материала (резины). Кроме этого, с одной стороны ведущего ролика между ведомыми роликами механизма подачи и отрезного устройства установлен прижим 12, пригибающий шнур к ведущему ролику. С другой стороны ведущего ролика установлен упор 14 с формообразующей кромкой 15.

В технологии процессы подачи шнура, его гибка шнура, резка и выход со стороны формообразующей кромки 15 является непрерывными. Это способствует исключению из технологического процесса изготовления кольца вспомогательных ручных операций, что снижает общую трудоемкость процесса и себестоимость изготовления готовой продукции. При этом снятие готового кольца с формирующего устройства обеспечивают установкой упора 14 с формообразующей кромкой 15, обращенной к вращающемуся ведущему ролику. Специальная форма кромки обеспечивает выход сформированной в готовое кольцо 16 отрезной части шнура из отрезного устройства 2. В технологии исключение из технологического процесса, необходимого для формообразования кольца, операции термофиксации его полученных размеров, обуславливает общее снижение энергоемкости выпуска готовых к использованию колец. В данном случае исключаются отходы материала при изготовлении каждого кольца. При этом ведущий ролик и ведомый ролик механизма подачи 1 кинематически соединены упругой передачей 6, что обеспечивает равную линейную скорость этих роликов в зоне контакта.

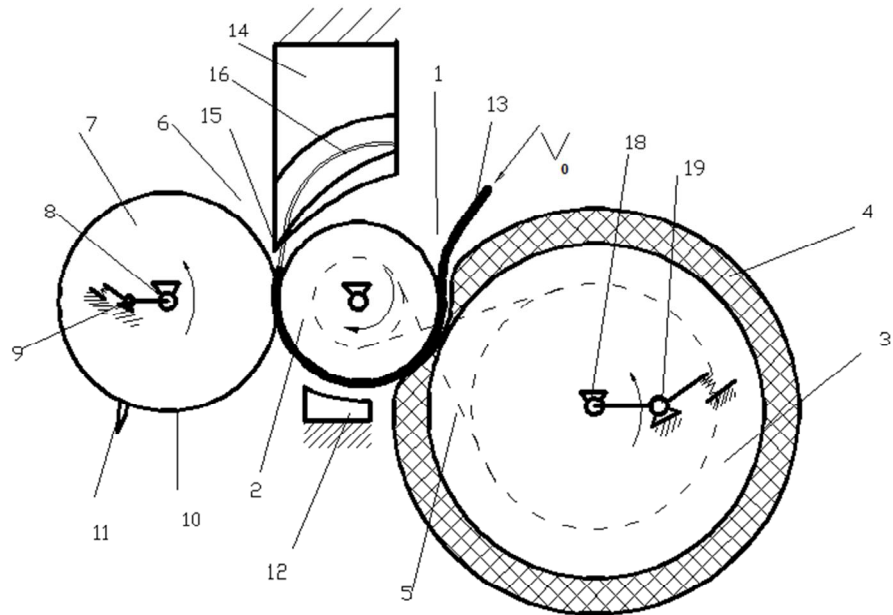


Рисунок 5 – Общая схема способа изготовления разрезных полимерных колец

Таким образом, в технологии повышение точности резки разрезных колец из полимерного материала, в частности фторопласта, достигается за счет минимизации проскальзывания подаваемого шнура в устройстве для осуществления заявляемого способа, а также исключением деформации захватываемого шнура в механизм 1 подачи по высоте, вне зависимости от допуска на высоту получаемого кольца. Повышение производительности осуществляется использованием устройства для реализации способа изготовления разрезных колец из полимерного материала, не предусматривающим дополнительные ручные операции, повышающие трудоемкость изготовления колец 16, а также совмещение процессов резки и гибки исходного материала – шнура.

Способ изготовления разрезных полимерных колец, изготавливаемых с помощью устройства, показанного на рисунке 5, может быть использован в случае, когда ширина a кольца меньше высоты c (рисунок 6). В противном случае технология предусматривает предварительную намотку шнура на оправку диаметром, не превышающим диаметр защитного кольца, проведение термической обработки при температуре $260 \div 320$ °С, охлаждение до температуры окружающей среды. Затем шнур наматывают на оправку, диаметром D , а затем разрезают по винтовой линии с шагом S (рисунок 7).

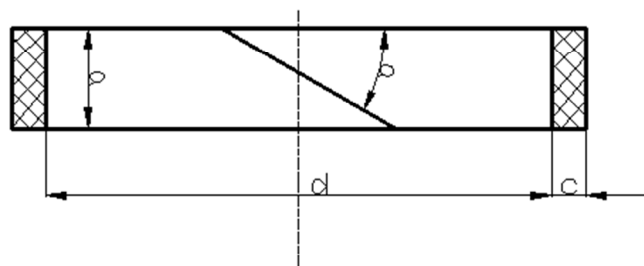


Рисунок 6 – Готовое разрезное кольцо

Если спираль разрезают по винтовой линии в направлении против направления намотки, то диаметр оправки D равен:

$$D = \sqrt{\frac{1}{2\pi^2} \left(\left(\pi d - \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 - 2a^2 \right)} + \sqrt{\left[\frac{1}{2\pi^2} \left(\left(\pi d - \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 - 2a^2 \right) \right]^2 - \frac{a^2}{\pi^4} \left(a^2 + \left(\pi d - \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 \right)}, \quad (7)$$

где a – ширина защитного кольца;
 α – угол разрезки защитного кольца;
 d – внутренний диаметр защитного кольца.

Шаг выбирают для разрезки, удовлетворяющий соотношению

$$S = \pi D \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \beta),$$

где β – угол намотки шнура.

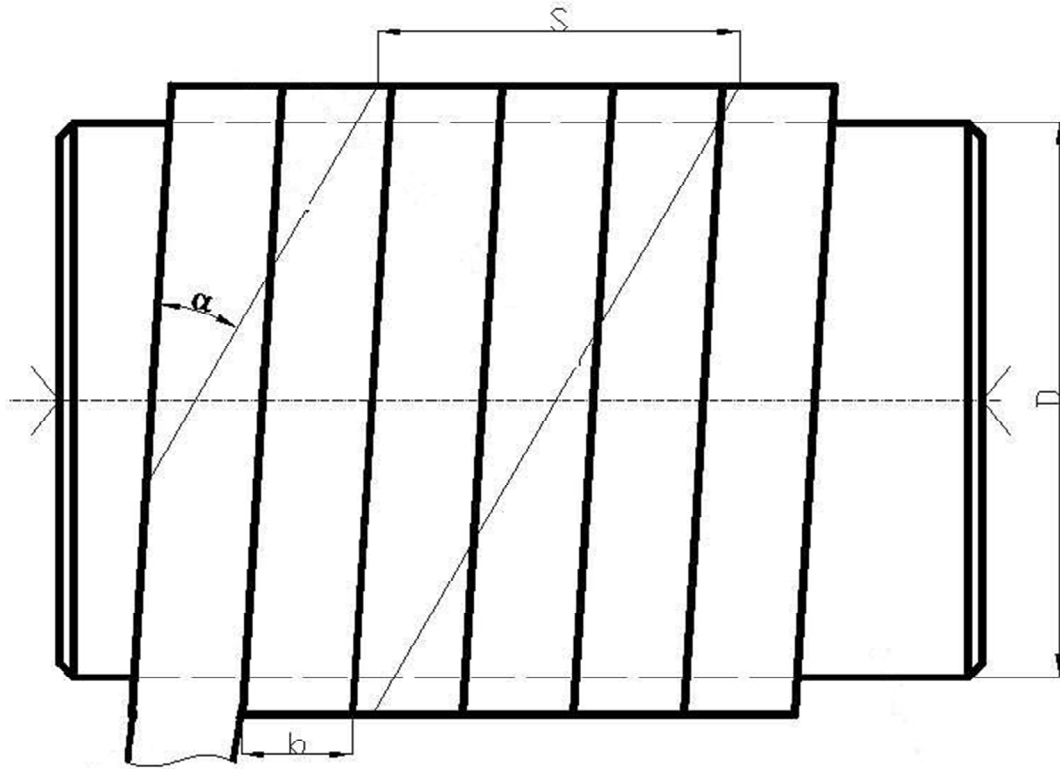


Рисунок 7 – Намотка шнура на оправку

Если спираль разрезают по винтовой линии в одном направлении с направлением намотки, то диаметр оправки D равен:

$$D = \sqrt{\frac{1}{2\pi^2} \left(\left(\pi d + \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 - 2a^2 \right)} + \sqrt{\left[\frac{1}{2\pi^2} \left(\left(\pi d + \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 - 2a^2 \right) \right]^2 - \frac{a^2}{\pi^4} \left(a^2 + \left(\pi d + \frac{a}{\operatorname{tg}\alpha} \right)^2 \right)}, \quad (8)$$

где a – ширина кольца;
 α – угол разрезки кольца;
 d – внутренний диаметр кольца.

В данном случае выбирают шаг для разрезки, который удовлетворяет соотношению:

$$S = \pi D \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \beta),$$

где β – угол намотки шнура.

Формулы (7) и (8) показывают, что диаметры D оправки (рисунок 7) для выполнения требований точности к размеру внутреннего диаметра d кольца (рисунок 6) должны быть различными (рисунок 8).

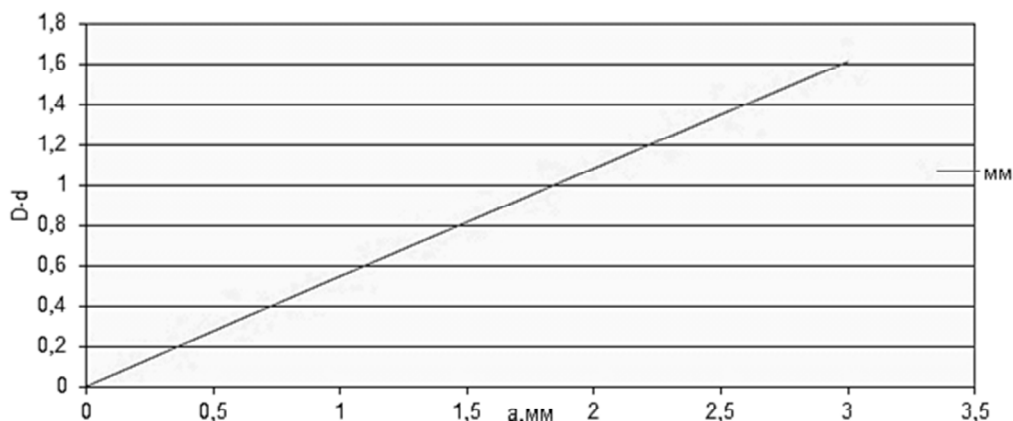


Рисунок 8 – Геометрическое несоответствие внутреннего диаметра защитного кольца к диаметру оправки из-за смещения витков при разрезке спирали против намотки

При изготовлении разрезных колец из полимерного материала получены табличные значения диаметра D оправки для любых заданных размеров разрезного полимерного кольца: внутреннего диаметра d , угла α разрезки кольца, а также ширина кольца a (рисунок 6).

При надлежащей отладке инструмента и процессов термофиксации коэффициент использования, например фторопласта, при производстве защитных колец 1 может достигать 0,95.

Список литературы

1. Вершина Г.А. Технология безотходного и производительного изготовления разрезных колец из фторопластовых заготовок стандартного ряда / Г.А. Вершина, А.Ю. Пилатов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. фізіка-тэхн. навук. – 2010. – № 4. – С. 40–43.
2. Вести национальной академии наук Белоруссии № 4, 2010, серия физико-химических наук, с. 58.
3. Патент ВУ 3359 С1 Республика Беларусь, МПК F 6 F 16J 9/28. Способ изготовления разрезных колец из полимерного материала / Б.М. Самсонов, В.М. Жарнов // заявитель и патентообладатель Минский моторный завод. – № 970311; заявл. 30.12.1998; опубл. 30.06.2000.

Рецензент: к.т.н., доц. Н.А. Мастепан, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 16.07.12

© Вершина Г.А., Чигарев А.В., Пилатов А.Ю., 2012