

Управление шириной щелевого зазора фильтрующей структуры, получаемой методом деформирующего резания

05, май 2011

авторы: Зубков Н. Н., Слепцов А. Д.

УДК 621.91.01, 542.67

МГТУ им. Н.Э. Баумана

zoubkovn@bmstu.ruslepcev@mail.ru

Перспективным типом фильтроэлементов являются щелевые фильтрующие трубы, выполненные из полимерных материалов. Такие фильтроэлементы обладают высокой надежностью, долговечностью, низким гидравлическим сопротивлением, а также способностью к эффективной регенерации противотоком фильтруемой среды.

Получение фильтрующих структур с шириной щелей от 10 до 500 мкм на полимерных материалах (полиэтилен, полипропилен, фторопласт, ПЭТ и др.) возможно с применением метода деформирующего резания (ДР) [1, 2]. Использование метода ДР на обычных токарных станках позволяет изготавливать щелевые фильтрующие трубы из заготовок с внутренними продольными пазами (рис. 1а).

Обработка вращающимся инструментом для ДР по токарно-фрезерной схеме при согласованном вращении стандартной трубной заготовки (рис. 2) позволяет получать ряды сквозных щелей, как параллельные оси трубы, так и винтовые (рис. 1б, в). Трубы с винтовыми рядами сквозных щелей имеют пониженную осевую жесткость и могут значительно деформироваться, что позволяет настраивать ширину щелей на заданную тонкость фильтрации [3].

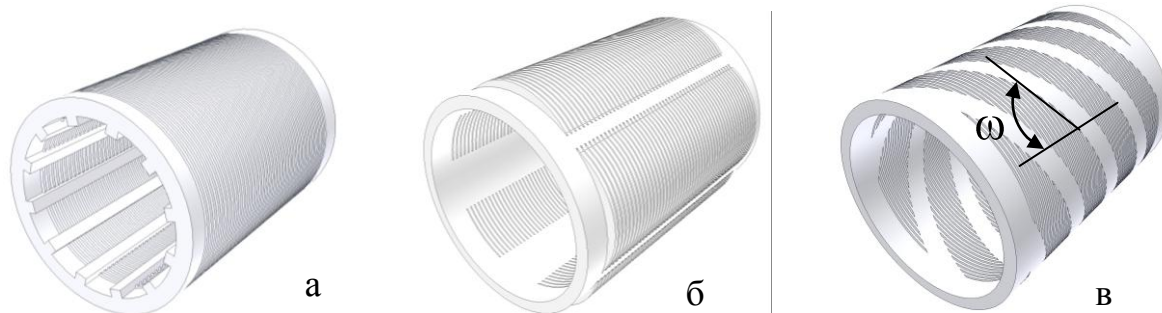


Рис. 1. Полимерные щелевые фильтрующие трубы:

- а - полученная из трубной заготовки специального профиля,
- б - полученная из стандартной трубной заготовки, прямые ряды щелей,
- в - полученная из стандартной трубной заготовки, винтовые ряды щелей

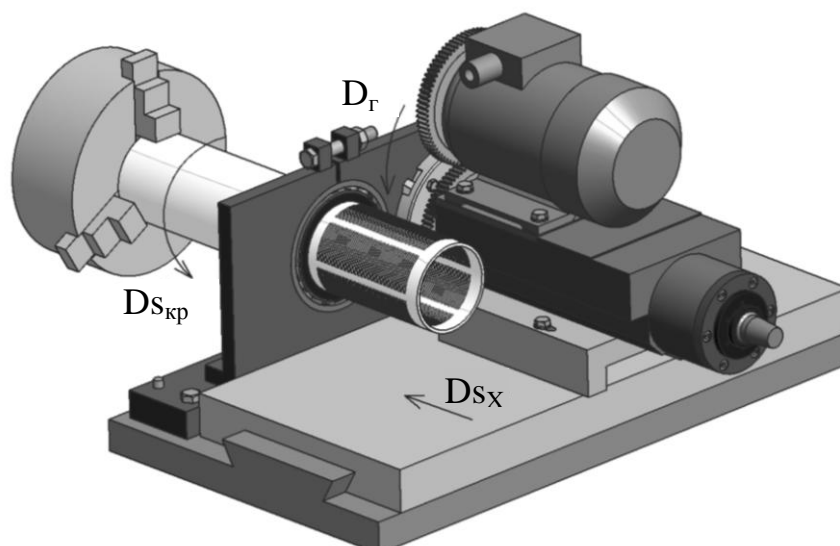


Рис. 2. Схема прорезания рядов сквозных щелей вращающимся инструментом при согласованном вращении заготовки

Основным параметром фильтроэлементов является ширина щелевого зазора (b), которая определяет тонкость фильтрации. При получении фильтрующей структуры методом ДР ширина щелей зависит от подачи инструмента (S_{OX}), главного (φ) и вспомогательного (φ_1) углов инструмента в плане:

$$b = S_{OX} \cdot \sin \varphi_1 - \sin \varphi$$

В большинстве случаев для фильтрующих труб необходимы щели, перпендикулярные оси трубы. В этом случае зависимость для определения ширины щелевого зазора будет иметь вид:

$$b = S_{OX} \cdot 1 - \sin \varphi$$

Фильтрующие трубы, полученные методом ДР, должны иметь гладкие законцовки для их соединения с трубными досками, заглушками или резьбовыми переходниками. Поэтому нарезание сквозных щелей производится с продольной подачей S_{OX} инструмента в три этапа:

- плавное углубление инструмента в заготовку на глубину t ,
- формирование сквозного оребрения на рабочем участке,
- выход инструмента из заготовки.

При этом инструмент для ДР имеет дополнительную радиальную подачу на участках врезания ($DS_{Yвр}$) и выхода ($DS_{Yвых}$) (рис. 3).

Это приводит к изменению толщины подрезаемого слоя (рис.4). На схеме показано прорезание трубной заготовки, имеющей внутренние продольные пазы с толщиной стенки трубы Δ , на токарном станке. Положения инструмента через один оборот заготовки обозначены на схеме римскими цифрами I и III, цифрой II показано теоретическое положение инструмента при отсутствии радиальной подачи врезания. Наличие радиальной подачи $S_{OYвр}$ обуславливает появление разницы глубин внедрения инструмента Δt , численно равной радиальной подаче на оборот $S_{Yвр}$. Это приводит к увеличению толщины подрезаемого слоя на величину:

$$\Delta a = \Delta t \cdot \cos \varphi = S_{OYвр} \cdot \cos \varphi \quad (1)$$

Соответственно, на эту же величину уменьшится ширина межреберного зазора на участке врезания $b_{вр}$:

$$b_{вр} = S_{OXер} \cdot 1 - \sin \varphi - \Delta a$$

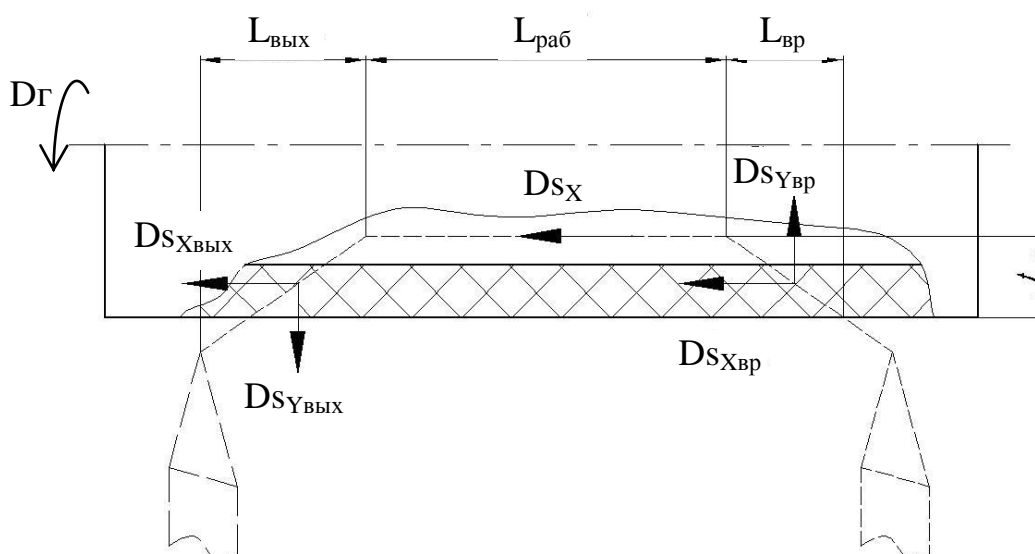


Рис. 3. Траектория движения инструмента для ДР:

- $L_{вр}$, $L_{раб}$, $L_{вых}$ – длина участка врезания, рабочего и выхода соответственно;
- $DS_{Xвр}$, $DS_{Xвых}$ – движение осевой подачи на участках врезания и выхода соответственно;
- $DS_{Yвр}$, $DS_{Yвых}$ – движение радиальной подачи на участках врезания и выхода соответственно;

Возможна ситуация, когда толщина ребра будет превышать значение осевой подачи, и материал подрезанного слоя будет вынужден выдавливаться в радиальном направлении, что недопустимо.

На участке выхода инструмента ширина щелевого зазора аналогичным образом увеличивается на величину Δa :

$$b_{\text{ВЫХ}} = S_{O_{X_{\text{ВЫХ}}}} \cdot 1 - \sin \varphi + \Delta a$$

Увеличение ширины щелей на участке выхода недопустимо, поскольку сквозные щели на участке выхода будут пропускать частицы значительно большего размера, чем на рабочем участке. В случае обработки вращающимся инструментом для ДР по токарно-фрезерной схеме все приведенные зависимости так же справедливы.

Добиться сохранения равенства ширины щелевого зазора на участках врезания и выхода с шириной щелевого зазора на рабочем участке возможно путем увеличения осевой подачи при врезании и уменьшения осевой подачи на участке выхода инструмента по сравнению с величиной осевой подачи на рабочем участке. Разработаны расчетные зависимости, позволяющие рассчитать значение осевой подачи при врезании ($S_{O_{X_{\text{ВР}}}}$) и выходе инструмента ($S_{O_{X_{\text{ВЫХ}}}}$), обеспечивающие постоянство ширины щели. При этом входными данными могут быть как значения радиальной подачи на оборот при врезании и выходе инструмента ($S_{O_{Y_{\text{ВР}}}}$, $S_{O_{Y_{\text{ВЫХ}}}}$), так и длины этих участков ($l_{\text{ВР}}$, $l_{\text{ВЫХ}}$):

поперечных срезах всех участков трубы (рис.6, 7) подтвердило его постоянство и, следовательно, работоспособность данной методики.

Использование алгоритма, обеспечивающего постоянство ширины щелей зазора на всех участках щелевой трубы, позволяет улучшить качество выпускаемых фильтроэлементов, а также существенно снизить вероятность появления брака при их изготовлении.



Рис. 5. Начальный участок полиэтиленовой трубы с зоной внедрения инструмента для ДР

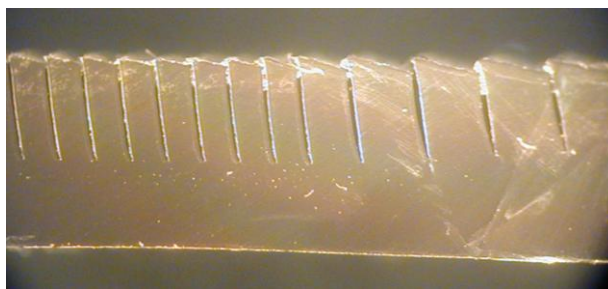


Рис. 6. Сечение переходной зоны между участком внедрения и рабочим:

Ширина щелей 50 мкм. $S_0=0,6$ мм/об, $S_{0вр}=1,06$ мм/об, $t=1,6$ мм

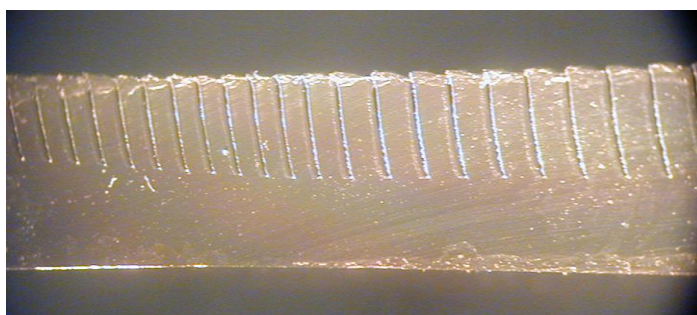


Рис. 7. Сечение переходной зоны между участком выхода и рабочим:

Ширина щелей 50 мкм. $S_0=0,6$ мм/об, $S_{0вых}=0,37$ мм/об, $t=1,6$ мм

В случае получения фильтрующих труб с винтовыми рядами щелей наблюдается неравномерность толщины получаемых ребер по их длине, а, следовательно, и неравномерность ширины щелей (рис.8а). На рис.8б. показана поверхность резания при

получении винтовых рядов щелей, образованная перемещением режущей кромки по траектории движения инструмента относительно заготовки. Как видно из рисунка, сечение подрезаемого слоя, расположенное между двумя витками поверхности резания, имеет переменную толщину. При получении труб с левонаправленными винтовыми рядами щелей наблюдается уменьшение толщины ребра по мере продвижения инструмента в теле заготовки. Для правонаправленных винтовых рядов ситуация обратная – ребро утолщается по длине от точки внедрения инструмента.

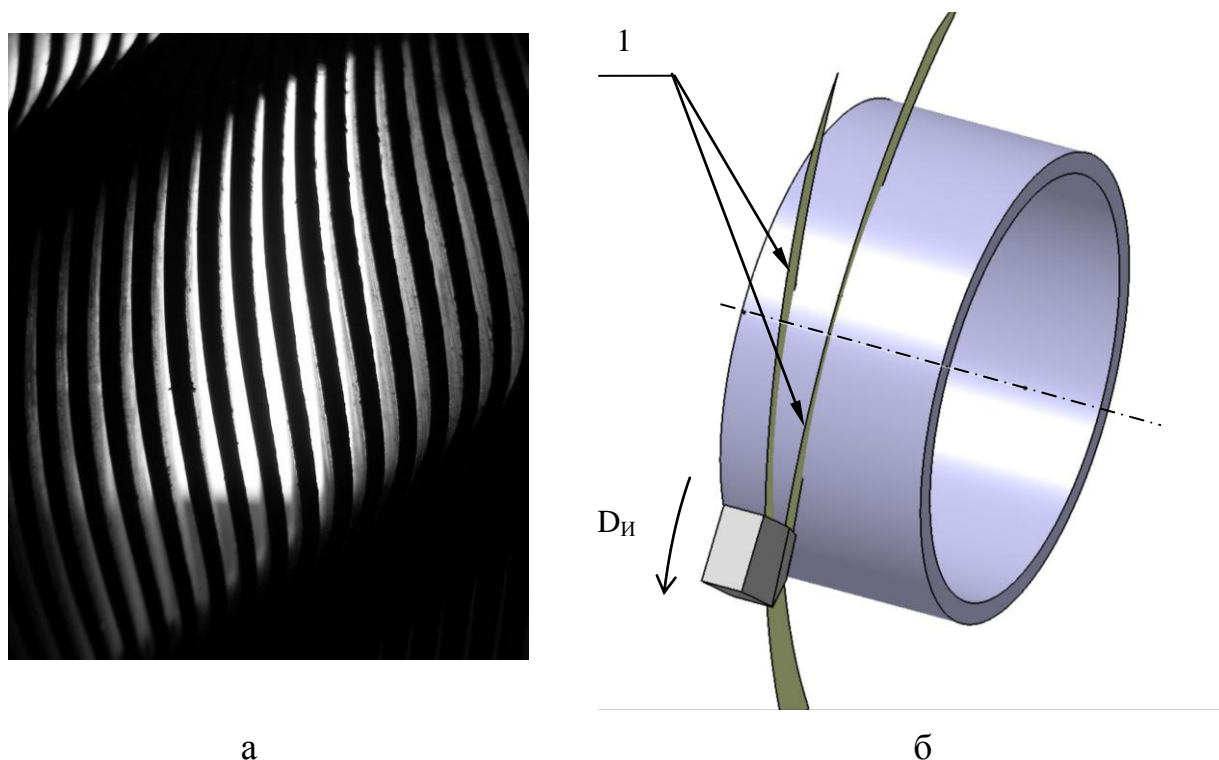


Рис. 8. Форма сквозных щелей в свету (а) и поверхность резания при получении щелей с винтовым расположением (б):

1 – витки поверхности резания, обеспечивающие получение двух соседних щелей

Причиной данной неравномерности является непостоянство глубины внедрения инструмента Δt в ходе прорезания щели. Рассмотрим схему прорезания щелей с винтовым расположением (рис.9). Все движения в данной схеме приложены к инструменту. Витки траектории движения инструмента относительно заготовки при прорезании двух соседних щелей обозначены цифрами 1 и 2. Для расчета разницы глубин внедрения Δt траектория относительного движения инструмента была описана в полярной системе координат с центром в точке O_1 . Искомая величина Δt для каждой точки получаемого ребра находится по следующей зависимости:

$$\Delta t(\tau) = R_{\text{и}} - A \sqrt{2 - \cos \frac{720^\circ \cdot S_{\text{OX}} \text{tg} \omega}{\pi D}} \cos \left(\tau - 90^\circ - \frac{180^\circ \cdot S_{\text{OX}} \text{tg} \omega}{\pi D} \right) - \sqrt{R_{\text{и}}^2 - A^2 \left(2 - \cos \frac{720^\circ \cdot S_{\text{OX}} \text{tg} \omega}{\pi D} \right) \sin^2 \left(\tau - 90^\circ - \frac{180^\circ \cdot S_{\text{OX}} \text{tg} \omega}{\pi D} \right)}$$

где τ – угловая координата инструмента,

ω – угол наклона рядов щелей к оси заготовки,

$R_{\text{и}}$ – радиус вращения инструмента,

S_{OX} – осевая подача инструмента на оборот заготовки,

D – диаметр трубной заготовки,

A – расстояние между осями инструмента и заготовки, которое находится как:

$$A = D/2 + R_{\text{и}} - t.$$

Таким образом, подставляя полученное значение Δt в формулу (1), получаем искомое изменение толщины подрезаемого слоя для каждой точки получаемого ребра.

На рис.10 показаны расчетные и экспериментальные графики изменения толщины ребра по его длине для различных образцов фильтрующих элементов с винтовыми рядами щелей. Координата по длине ребра измерялась от точки врезания инструмента в тело заготовки. Параметры образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры образцов фильтрующих труб с винтовыми рядами щелей

	Образец №1	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Наружный диаметр, мм	50			
Толщина стенки, мм	2,5			
Длина участка со сквозными щелями, мм	450			
Количество рядов щелей	6			
Шаг щелей, мм	0,64		1.1	
Угол наклона винтовых рядов щелей, град	37	54	54	57
Направление винтовых рядов щелей	левое	левое	левое	правое

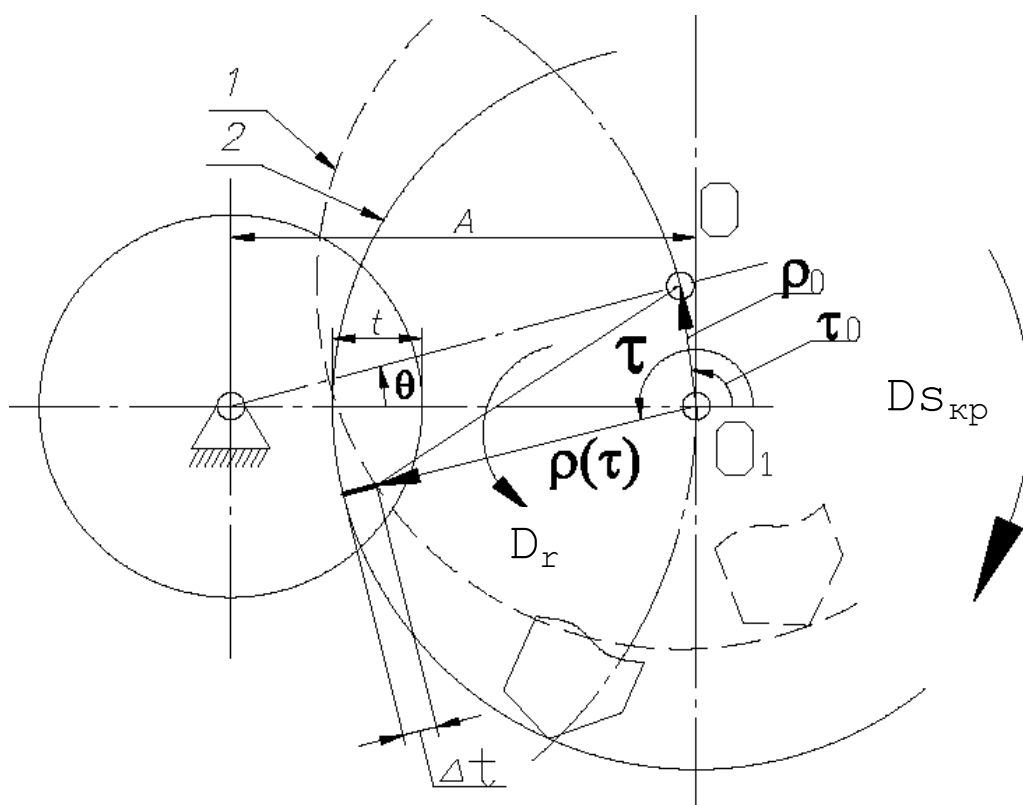


Рис. 9. Схема прорезания трубной заготовки при получении винтовых рядов щелей:

- 1 – траектория инструмента на предыдущем обороте заготовки;
- 2 – траектория инструмента при прорезании рассматриваемой щели

Анализ полученных зависимостей и экспериментальных данных показал, что наибольшее влияние на неравномерность толщины ребра оказывает значение угла наклона ω винтовых рядов щелей к оси трубы. При больших значениях угла ω возможна ситуация, когда максимальное значение толщины ребра превысит величину осевой подачи инструмента, что приводит к удлинению фильтроэлемента и увеличению ширины щелей по сравнению с расчетной. В этом случае настройка таких труб на заданную тонкость фильтрации осуществляется путем удлинения фильтроэлемента от полностью сжатого положения ($b=0$) [3]. Максимальная ширина щелей в этом случае будет равна:

$$b = \frac{\Delta L \cdot p}{L},$$

где ΔL – величина растяжения фильтрующей трубы,

p – шаг щелей в сжатом положении,

L – длина фильтроэлемента в сжатом положении.

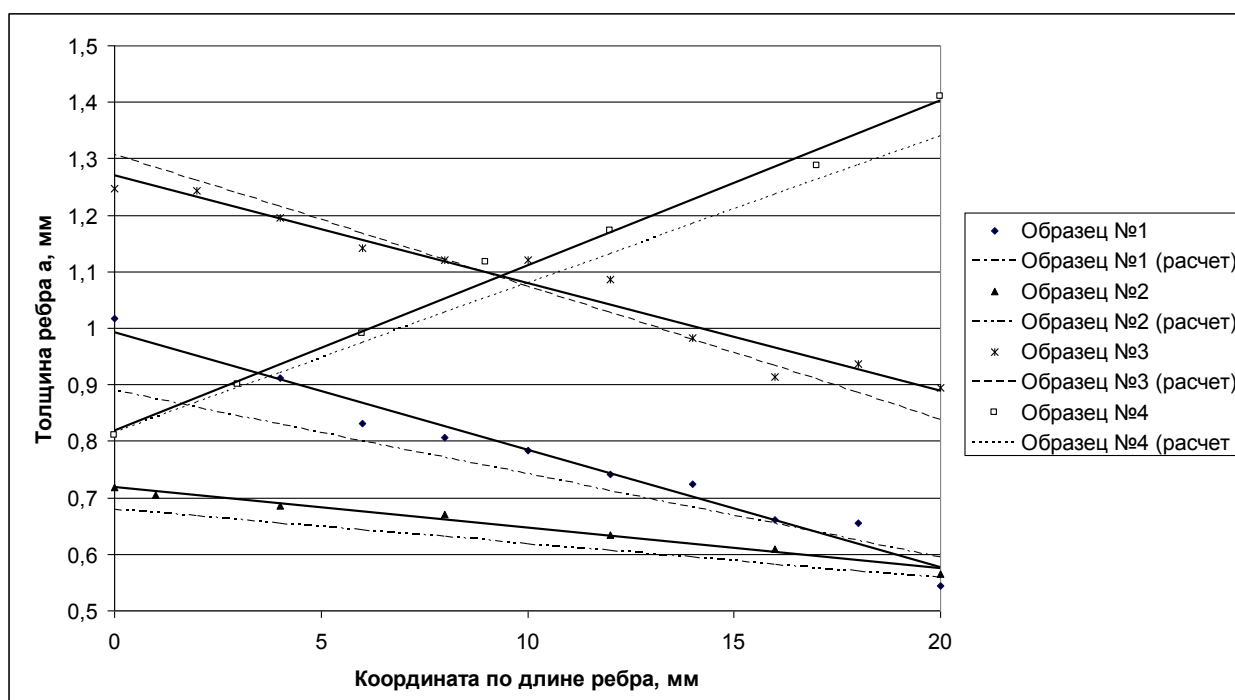


Рис. 10. Экспериментальные и расчетные зависимости изменения толщины ребра по его длине для образцов труб с винтовыми рядами щелей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубков Н.Н. Многофункциональная технология увеличения площади поверхности для повышения теплообменных и технологических свойств деталей // Полет (авиация, ракетная техника и космонавтика). 2003. № 3. – С.41-46.
2. Зубков Н.Н., Слепцов А.Д. Получение микросеток и проницаемых щелевых труб механической обработкой // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2007. № 3. С. 56-60.
3. Зубков Н.Н., Слепцов А.Д. Получение полимерных щелевых фильтрующих труб методом деформирующего резания // Вестник машиностроения. 2010. № 12. С.51-53.