

Рис. 1. Пример графического определения оптимальных режимов сверления по критерию минимальной трудоемкости

Для упрощения практического использования рассмотренной методики в приложении Excel на языке Visual Basic for Application (VBA) разработана компьютерная программа для совместного решения неравенств (23) и определения оптимальных режимов сверления без трудоемких графических построений.

**Заключение.** В ходе проведенных теоретических исследований получены следующие результаты:

- выявлена целесообразность и возможность оптимизации режимов сверления отверстий деталей машин методом линейного программирования;
- обоснована целесообразность использования минутной подачи в качестве объективной функции (критерия) оптимизации режимов сверления;
- разработаны оригинальные математические выражения зависимости ограничивающих параметров сверления от режимов сверления;
- разработана процедура графического определения оптимальных режимов сверления отверстий;
- выполнена апробация методики определения оптимальных режимов сверления на конкретном примере.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Горанский, Г.К. Автоматизация технического нормирования станочных работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ / Г.К. Горанский, Е.В. Владимиров, Л.Н. Ламбин – М., 1970.
2. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностроительных и приборостроительных специальностей вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с., ил.
3. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. – М.: Экономика, 1990. – Часть 1 и 2.
4. Семенченко, И.И. Проектирование металлорежущих инструментов / И.И. Семенченко, В.М. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машгиз, 1962. – 952 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя в 2-х т. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001.
6. Сборник задач, упражнений и практических заданий по технологии машиностроения / В.И. Аверченков [и др.] – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 312 с.
7. Ящерицин, П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов – Мн.: Высш. шк., 1990. – 512 с.: ил.

Материал поступил в редакцию 04.12.13

#### MEDVEDEV O.A., FU CHAO Choice of criterion of optimization and restrictions of the mode of drilling of openings with spiral drills

The technique of determining the optimum modes of drilling twist drills. By analyzing the characteristics of the drilling identified a convenient and objective criterion optimization, the most important technical limitations drilling modes and developed a mathematical model of the process of drilling. Application of this method can increase the reliability and efficiency of drilling operations.

УДК 539.21

**Остриков О.М., Иноземцева Е.В.**

### РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА, ПОДВЕРГНУТОГО ОДНООСНОМУ РАСТЯЖЕНИЮ ИЛИ СЖАТИЮ, ПРИ НАЛИЧИИ В НЕМ УПРУГОГО ЛИНЗОВИДНОГО ДВОЙНИКА

**Введение.** Упругое двойникование было открыто Р.И. Гарбером при исследовании колец Ньютона в процессе деформирования

выпуклой линзой пластины из двойникующегося материала [1]. Отличительной особенностью упругих механических двойников

**Остриков Олег Михайлович**, к.ф.-м.н., зав. кафедрой «Инженерная графика» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

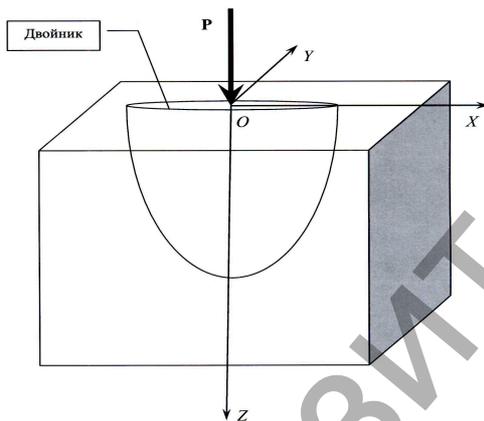
**Иноземцева Елена Владимировна**, магистр технических наук, ассистент кафедры «Инженерная графика» Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого.

Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого, 246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

является то, что при снятии нагрузки они исчезают [1–3]. Эта особенность упругого двойникования представляет практический интерес в плане разработки технологии управления физическими свойствами двойникующихся материалов. Двойниковые границы имеют ширину нескольких межатомных расстояний [4], но являются концентраторами больших внутренних напряжений, которые активируют как дислокационные, так и диффузионные процессы, приводя к локальному изменению свойств материала. Полученная благодаря двойниковым границам избыточная плотность дислокаций, легирующего компонента или примесных атомов создает после снятия нагрузки и исчезновения упругого двойника локальное (в том числе и размером порядка нанометра) неравновесное состояние. Области с неравновесным состоянием с помощью упругого двойникования можно создавать в двойникующемся материале упорядоченно, задавая материалу требуемые свойства.

Для расчета распределения деформирующих нагрузок с целью задания требуемой двойниковой структуры необходимо развитие методов механики деформируемого твердого тела применительно к двойникующимся материалам. В работах [2, 3] в качестве таких методов использовались методы механики разрушения, что целесообразно, так как двойникование и разрушение – родственные процессы. Однако главным недостатком существующей теории тонкого упругого двойника является отсутствие имеющих важное практическое значение расчетов полей напряжений, обусловленных упругим двойникованием. Устранение этого недостатка и стало целью данной работы.

**Постановка задачи.** Пусть под действием сосредоточенной нагрузки  $P$  образовался тонкий двойник линзовидной формы (рис. 1). Выберем декартову систему координат так, чтобы направление оси  $Z$  совпадало с направлением действия нагрузки  $P$ , а оси  $X$  и  $Y$  – так, как это показано на рис. 1.



**Рис. 1.** Схематическое изображение формирования упругого двойника под действием сосредоточенной нагрузки  $P$

Тогда внутренние напряжения, созданные двойником и нагрузкой, в приближении принципа суперпозиции, могут быть рассчитаны по формуле:

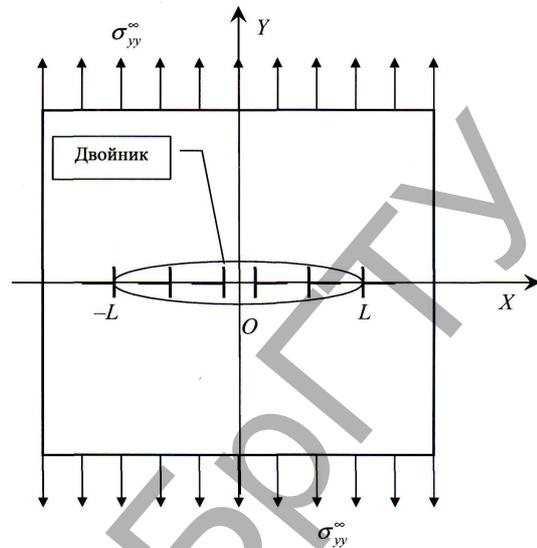
$$\sigma_{ij}(x, y) = \sigma_{ij}^{tw}(x, y) + \sigma_{ij}^e(x, y), \quad (1)$$

где  $\sigma_{ij}^e(x, y)$  – внутренние напряжения, созданные сосредоточенной нагрузкой;  $\sigma_{ij}^{tw}(x, y)$  – внутренние напряжения, обусловленные упругим двойникованием, которые при сопутствующем одноосном растяжении вдоль оси  $y$ , как это показано на рис. 2, могут быть рассчитаны по формулам:

$$\sigma_{xx}^{tw}(x, y) = \frac{\sigma_{yy}^{\infty}}{\pi} \int_{-L}^L \frac{(x-\xi)((x-\xi)^2 - (y-f(\xi))^2)}{((x-\xi)^2 + (y-f(\xi))^2)^2} \frac{\xi}{\sqrt{L^2 - \xi^2}} d\xi; \quad (2)$$

$$\sigma_{yy}^{tw}(x, y) = \sigma_{yy}^{\infty} + \frac{\sigma_{yy}^{\infty}}{\pi} \int_{-L}^L \frac{(x-\xi)((x-\xi)^2 + 3(y-f(\xi))^2)}{((x-\xi)^2 + (y-f(\xi))^2)^2} \frac{\xi}{\sqrt{L^2 - \xi^2}} d\xi; \quad (3)$$

$$\sigma_{xy}^{tw}(x, y) = \frac{\sigma_{yy}^{\infty}}{\pi} \int_{-L}^L \frac{(y-f(\xi))((x-\xi)^2 - (y-f(\xi))^2)}{((x-\xi)^2 + (y-f(\xi))^2)^2} \frac{\xi}{\sqrt{L^2 - \xi^2}} d\xi. \quad (4)$$



**Рис. 2.** Дислокационная модель тонкого линзовидного двойника в плоскости  $XOY$  и характер распределения напряжений  $\sigma_{yy}^{\infty}$ . Сосредоточенная сила находится в начале декартовой системы координат

Здесь  $\sigma_{yy}^{\infty}$  – напряжения на бесконечности, обусловленные одноосным растяжением вдоль оси  $y$  кристалла с упругим линзовидным двойником;  $L$  – половина длины двойника;  $\xi$  – параметр интегрирования;  $f(\xi)$  – функция, с помощью которой задается форма средней линии двойника (линии внутри двойника, равноудаленной от двух его границ).

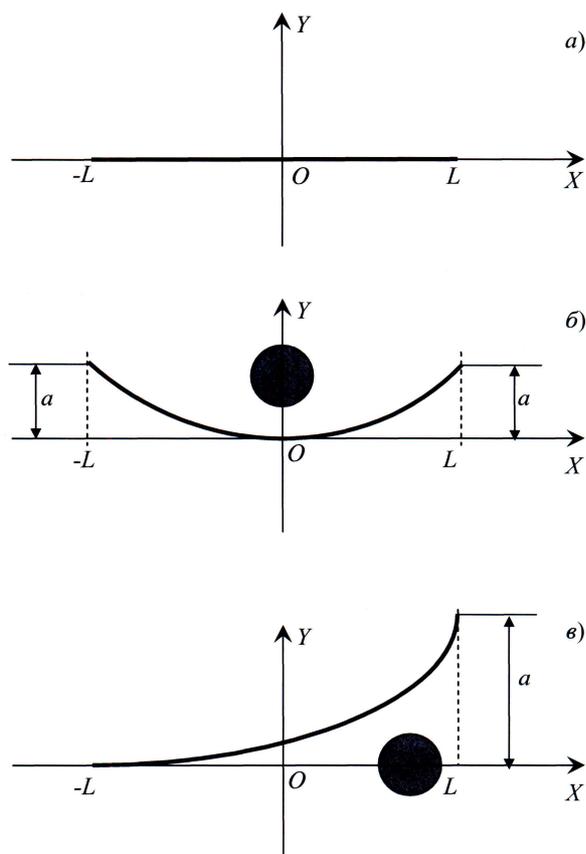
Формулы (2)–(4) получены на основании соотношений, имеющих место в нелинейной механике разрушения [5].

В бездефектных кристаллах средняя линия линзовидного двойника представляет собой отрезок прямой (рис. 3, а). Свяжем начало декартовой системы координат с серединой этого отрезка и ось  $x$  направим вдоль него. Тогда очевидно будем иметь  $f(\xi) = 0$ .

Если в области действия сосредоточенной нагрузки имеется стопор, или источник внутренних напряжений, то упругий двойник, как правило, огибает его [2, 3]. При этом искривляется средняя линия двойника (рис. 3, б и в). Такое искривление средней линии упругого двойника удобно описывать параболической функцией. Если стопор находится на оси  $y$  (рис. 3, б), то вершина параболы находится в области начала декартовой системы координат и функция  $f(\xi)$  примет вид:

$$f(\xi) = \frac{a\xi^2}{L^2}, \quad (5)$$

где  $a$  – отклонение вершины двойника от оси  $x$ ;  $L$  – проекция средней линии двойника на ось  $X$  (рис. 3, б).



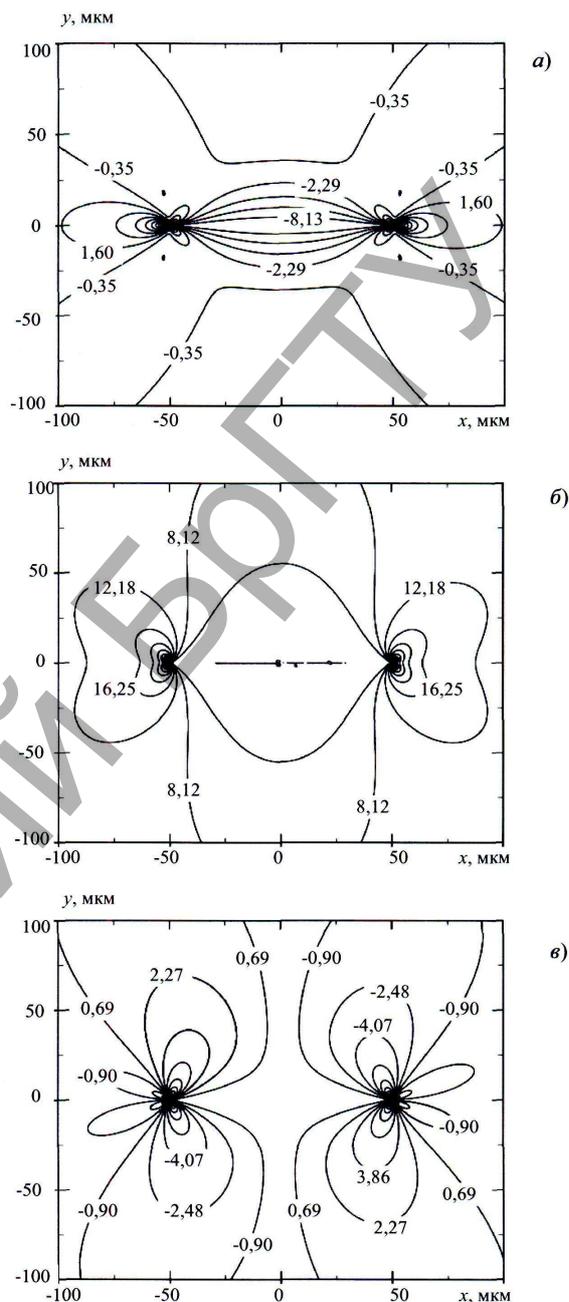
**Рис. 3.** Схематическое изображение вариантов гибания упругим двойником стопора (стопор – серый круг): а) при отсутствии в области деформирования стопора; б) стопор на оси  $y$ , перпендикулярной направлению развития двойника; в) стопор на оси  $x$ , ориентированной вдоль направления развития двойника

В случае, когда стопор находится на оси  $x$  (рис. 3, в), вершина параболы находится в окрестности точки с координатами  $(-L, 0)$ . Тогда функцию  $f(\xi)$  можно представить в виде:

$$f(\xi) = \frac{a(L + \xi)^2}{4L^2} \quad (6)$$

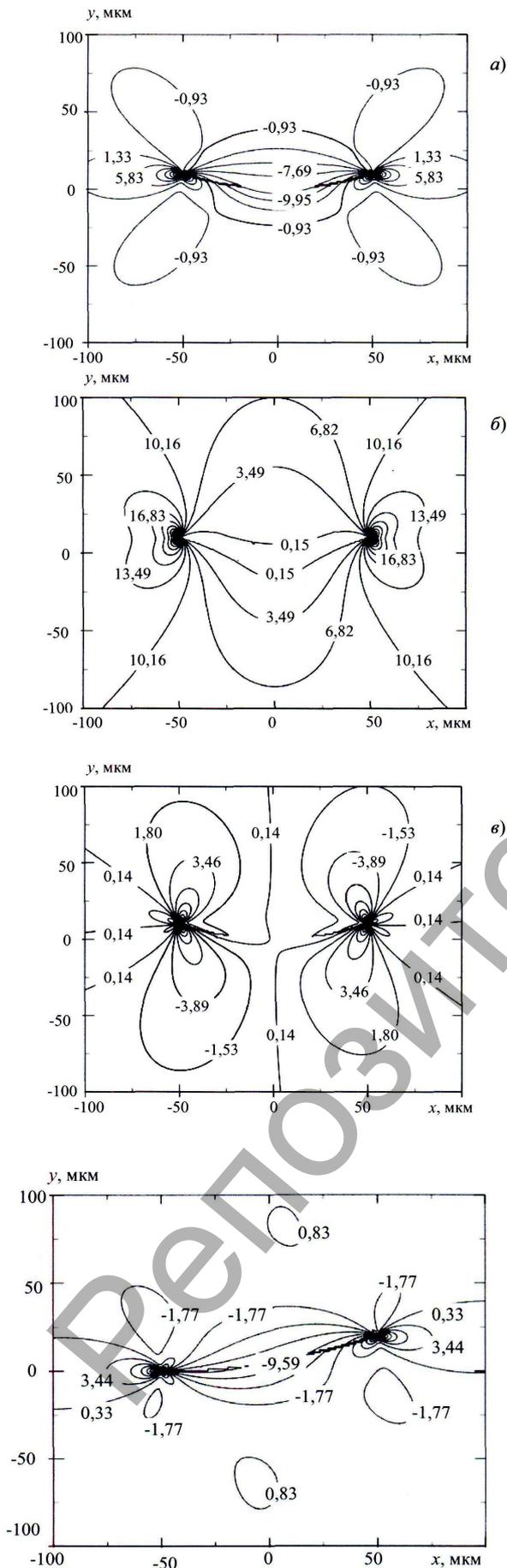
**Результаты и их обсуждение.** Результаты расчетов представлены на рис. 4–6. При расчетах принималось:  $L = 50$  мкм;  $a = 10$  мкм (для случая, представленного на рис. 3, б);  $a = 20$  мкм (для случая, представленного на рис. 3, в);  $\sigma_{yy}^\infty = 10$  МПа.

На рис. 4 показано распределение компонент тензора напряжений в случае прямолинейной средней линии упругого линзовидного двойника. Видно, что как нормальные  $\sigma_{xx}^{tw}(x, y)$  и  $\sigma_{yy}^{tw}(x, y)$  (рис. 4, а и б), так и сдвиговые  $\sigma_{xy}^{tw}(x, y)$  (рис. 4, в) напряжения локализируются у двух вершин двойника. В данном случае обе области локализации напряжений находятся на оси  $x$ . Не наблюдается локализации напряжений на границах двойника, как это имело место в случае остаточных клиновидных двойников с некогерентными границами [6]. Это указывает на то, что степень некогерентности границ упругого двойника невысокая. Следовательно, на границах такого двойника малое количество двойникоующих дислокаций, способствующих локализации напряжений. Локализация напряжений у вершин двойника, таким образом, указывает на то, что у вершин рассматриваемого упругого линзовидного двойника плотность двойникоующих дислокаций наибольшая.



**Рис. 4.** Распределение напряжений у тонкого линзовидного двойника в бездефектной области кристалла (МПа): а)  $\sigma_{xx}^{tw}(x, y)$ ; б)  $\sigma_{yy}^{tw}(x, y)$ ; в)  $\sigma_{xy}^{tw}(x, y)$

При наличии в области формирования упругого двойника стопора или источника внутренних напряжений наблюдается искривление двойника. Если стопор расположен так, как это показано на рис. 3, б, то двойник гнется его таким образом, что две его вершины отклоняются от оси  $x$ . В этом случае локализация напряжений наблюдается не только у вершин двойника, но и у части его границ в области, прилегающей к вершинам двойника (рис. 5). Это указывает на рост степени некогерентности двойниковых границ и увеличение на них плотности двойникоующих дислокаций.



**Рис. 5.** Распределение напряжений у тонкого линзовидного двойника при наличии включения на оси  $y$  (МПа): а)  $\sigma_{xx}^{tw}(x, y)$ ; б)  $\sigma_{yy}^{tw}(x, y)$ ; в)  $\sigma_{xy}^{tw}(x, y)$

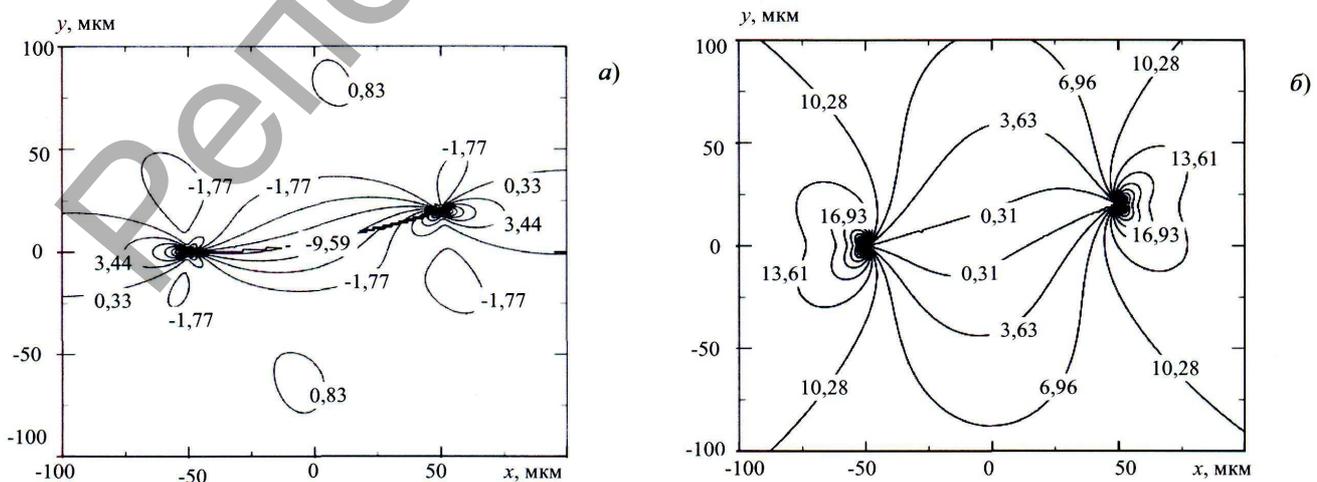
В случае наличия стопора у одной из вершин двойника (рис. 3, в), растет плотность двойникоующих дислокаций на участке границы, прилегающем к этой вершине (рис. 6).

**Заключение.** Таким образом, на основании дислокационного подхода, с использованием методов нелинейной механики разрушения, разработан метод расчета напряжений у упругого линзовидного двойника в случае одноосного растяжения призматического образца. Показано, что при упругом двойниковании напряжения локализуются у вершин двойника. Напряжения также локализуются и на искривленных границах упругого двойника в прилегающей к вершине области.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Гарбер, Р.И. Механизм двойникования кальцита и натронной селитры при пластической деформации // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 1947. – Т. 17, № 1. – С. 47–62.
2. Косевич, А.М. Дислокационная теория упругого двойникования кристаллов / А.М. Косевич, В.С. Бойко // Успехи физических наук. – 1971. – Т. 104, № 2. – С. 101–255.
3. Косевич, А.М. Дислокации в теории упругости. – Киев: Наук. думка, 1978. – 220 с.
4. Шепелевич, В.Г. Структурно-фазовые превращения в металлах. – Минск: БГУ, 2007. – 167 с.
5. Астафьев, В.И. Нелинейная механика разрушения / В.И. Астафьев, Ю.Н. Радаев, Л.В. Степанова. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2001. – 562 с.
6. Остриков, О.М. Механика двойникования твердых тел: монография. – Гомель: Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», 2008. – 301 с.

Материал поступил в редакцию 12.08.13



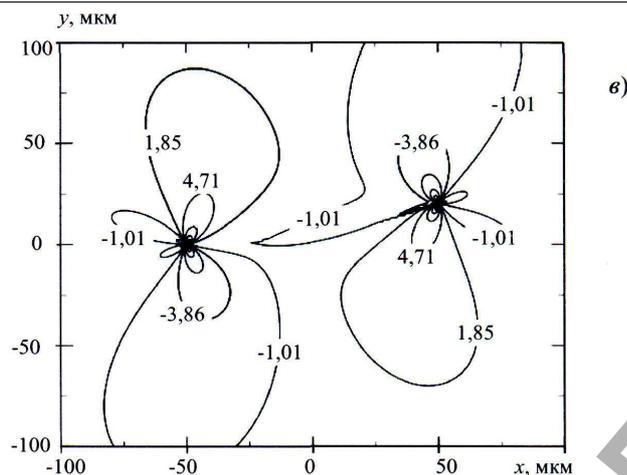


Рис. 6. Распределение напряжений у тонкого линзовидного двойника при наличии включения на оси x (МПа): а)  $\sigma_{xx}^{tw}(x, y)$ ; б)  $\sigma_{yy}^{tw}(x, y)$ ; в)  $\sigma_{xy}^{tw}(x, y)$

OSTRIKOV O.M., INOZEMTSEVA E.V. Calculation intense the deformed condition of the solid body subjected to monoaxial stretching, in the presence in it the elastic linzovidny double

The method of calculation of tension at the elastic double is developed. It is shown that in case of an elastic dvoynikovaniye of tension are localized at tops of the linzovidny double and at his bent borders. Rectilinear sites of the double of tension don't concentrate.

УДК 621. 43

Кострицкий В.В., Лисовский А.Л.

### СОЗДАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТНОГО ТРЕНИЯ

**Введение.** Микро рельеф на внутренней поверхности гильзы в первую очередь должен снижать трение в паре «поршень–цилиндр», т.е. способствовать возникновению на всем пути поршня режима жидкостного трения.

О режиме жидкостного трения можно говорить, когда движущиеся поверхности полностью разделены пленкой смазки и непосредственный контакт элементов пары трения отсутствует. Пока такая пленка цела, материал движущихся поверхностей и их шероховатость не имеют значения. Поэтому от микро рельефа внутренней поверхности гильзы требуется, чтобы эта пленка сохранялась на всем пути движения поршня, как бы прилипла к внутренней поверхности гильзы, т.е. чтобы не было проскальзывания смазки относительно поверхностей (рис. 1).

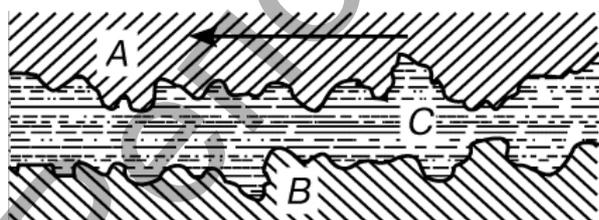


Рис. 1. Условие жидкостного трения: А – поршень; В – цилиндр; С – смазка

Наиболее энергоемким по критерию механических потерь и самым изнашиваемым сопряжением цилиндропоршневой группы

(ЦПГ) является пара «поршневое кольцо–цилиндр». По причине малой площади контактирующей поверхности интенсивность изнашивания кольца в несколько раз выше интенсивности изнашивания цилиндра, что приводит при неблагоприятных условиях эксплуатации к достаточно быстрой утрате кольцом начального профиля [1]. Поэтому дальнейший расчет будет произведен именно для этого сопряжения.

Если предположить, что образование несущего масляного слоя в сопряжении «поршневое кольцо–цилиндр» аналогичны гидродинамическим процессам, возникающим в подшипниках скольжения, то в основу гидродинамического расчета этого сопряжения может быть положено уравнение Рейнольдса для плоского потока жидкости, определяющее изменение давления в нем при бесконечно большой ширине потока в направлении, перпендикулярном направлению скорости  $v$  движения пластины [2].

$$P = 6 \cdot \mu \cdot v \cdot \frac{L^2}{H_1^2} \cdot \frac{1}{\delta^2} \cdot \left[ \ln \ln(1 + \delta) - 2 \cdot \frac{\delta}{2 + \delta} \right]. \quad (1)$$

Из решения этого уравнения можно получить выражение для подъемной силы или реакции смазочного материала в зазоре смазываемых деталей сопряжения «поршневое кольцо–цилиндр». С учетом ряда упрощений для сопряжения «поршневое кольцо–цилиндр» уравнение будет иметь следующий вид [3]:

$$P = \mu \cdot v \cdot \frac{L^2 (H_2 - H_1)}{2 \cdot H_1^3}. \quad (2)$$

В формуле (2) такие параметры как  $\mu$  (коэффициент вязкости) и  $v$  (скорость движения поршня) известны из условия работы

Кострицкий Виталий Владимирович, инженер, аспирант кафедры технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Лисовский Александр Леонидович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии конструкционных материалов Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, Витебская обл., г. Новополоцк, ул. Блохина 29.