

УДК 621.7/9.048.7

М. И. Михайлов, В. В. Мельников

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Министерство образования Республики Беларусь, пр. Октября 48, 246746 Гомель,
Республика Беларусь, +375 (032) 24 77 54, Mihailov@gstu.by

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫТЯЖНЫХ КОНУСОВ СТАНА ТОНКОГО ВОЛОЧЕНИЯ

Исследовано напряженно-деформированное состояние вытяжных конусов стана тонкого волочения. Выполнен анализ влияния износостойкого покрытия рабочих поверхностей на напряжения и перемещения конусов. Установлена долговечность работы конусов.

Ключевые слова: стан тонкого волочения; вытяжные конуса; работоспособность.

Рис. 8. Библиогр.: 12 назв.

M. I. Mikhailov, V. V. Melnikov

Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, Ministry of Education of the Republic of Belarus,
48 October Ave., 246746 Gomel, the Republic of Belarus, +375 (232) 24 77 54, Mihailov@gstu.by

IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF EXHAUST CONES OF A FINE-DRAWING MILL

The tense-deformed state of exhaust cones of the fine-drawing mill has been investigated. The analysis of the effect of wear-resistant coating work surfaces on the tension and movement of the cones has been done. The durability of the work of a cone has been established.

Key words: fine-drawing mill; exhaust cones; efficiency.

Fig. 8. Ref.: 12 titles.

Введение. Стан тонкого волочения предназначен для изготовления стальной высоко и среднеуглеродистой проволоки круглого сечения, с наличием на поверхности проволоки металлического покрытия (латунь, медь, цинк и др.), методом многократного волочения через волоки с противонапряжением проволоки за счет проскальзывания на промежуточных шкивах, с исходным диаметром 0,85...2,0 мм до диаметра готовой продукции 0,15...0,4 мм.

Основным элементом является конус вытяжной, который представляет собой металлический конус, изготовленный из специальной хромистой стали, разделенной на дорожки (ступени волочения), с полированной рабочей поверхностью [1].

Теоретические исследования процесса изнашивания показали, что за счет изменения параметров состояния поверхностного слоя деталей можно в значительной мере управлять их износостойкостью [2—9]. Полученные соответствующие зависимости на основе теории равновесного состояния поверхностей в режиме установившегося трения указывают, что для сокращения длительности процесса приработки необходимо при разработке конструкции деталей машин назначать параметры состояния поверхностного слоя близкими к «равновесным», которые зависят от конкретных условий эксплуатации [10].

Наряду с теоретическими, получен целый ряд статистических моделей формирования характеристик трения и изнашивания в зависимости от параметров состояния поверхностного слоя [9].

Аналогичные исследования проведены по контактной жёсткости соединений и ряду других эксплуатационных показателей. Контактная жёсткость является одним из важнейших эксплуатационных свойств деталей, определяющим надёжность и точность оборудования и оснастки. Так, контактные деформации в суппортах токарных станков составляют 80...90 %

общих перемещений, в одностоечных координатно-расточных и вертикально-фрезерных станках — до 70 %, в двухстоечных карусельных станках — до 40 %. Оценка влияния параметров качества поверхностного слоя на эксплуатационные свойства деталей машин широко представлена в работе [11].

Следует особо отметить, что при решении задач конструктора действующие эксплуатационные факторы (нагрузка, скорость и др.) учитываются величинами, усредненными по поверхностям контактирования. В связи с этим параметры качества регламентируются жёстко, т. е. как постоянные для всей поверхности.

В последнее время поведение таких систем рассматривают с позиций синергетики — науки о самоорганизующихся системах, где изменение причины трактуется как бифуркация, т. е. катастрофа [12]. Сам этот термин не характеризует явление как обязательно отрицательное, вредное. По отношению к поверхностному слою технологический процесс следует рассматривать как бифуркацию. Процесс самоорганизации возникает в постбифуркационный период. Опираясь на принципы синергетики, можно утверждать, что сложные системы в постбифуркационный период «теряют свою память» (например, исключение вредной технологической наследственности). С таких позиций логично рассматривать и процессы приработки соединений с сопутствующими им явлениями: вибрации, схватывание, безызносность и др.

В связи с бурным развитием микроэлектроники и ЭВМ, проникновением их практически во все области инженерной деятельности остро стал вопрос о компьютеризации технологических исследований, которая обеспечит качественный и количественный скачок в этой области. Примером здесь может служить программный метод испытания металлорежущих станков, разработанный А. С. Прониковым и развитый В. П. Фёдоровым применительно к технологическим системам обработки и к исследованиям эксплуатационных свойств [11].

Параметры качества поверхностного слоя и ЭС в настоящее время имеют достаточно полное и надёжное метрологическое обеспечение на базе использования компьютеризованных измерительных систем [9].

Целью данной работы является повышение работоспособности конусов, установленных на волочильных станах.

Основная часть. Методика исследования. Основные исходные данные: временное сопротивление разрыву заготовки, $\sigma_{b\text{ заг}} = 1\,310\text{ Н/мм}^2$; скорость на выходе стана — 15 м/с; КПД привода — 0,75; усилие размотки — 80 Н; коэффициент трения по шкиву — 0,085.

Усилие волочения определялось по формуле [1]:

$$F = 0,5 \sqrt{\frac{b_3}{100}} d_{\text{пр}}^2 \sigma_{b\text{ заг}},$$

$$\text{где } b_3 = 1 - \left(\frac{d_{\text{пр.3}}}{d_{\text{заг}}} \right)^2 \cdot 100.$$

$$F_{\text{н.3}} = 0,5 \sqrt{\frac{14,1}{100}} 1,82^2 \cdot 1335 = 829,9\text{ Н}.$$

Силовой расчет проводился в программном комплексе САПР — *SolidWorks*, а именно в системе анализа конструкций — *SolidWorks Simulation (COSMOSWorks)*.

Исследуемый узел представляет собой сборную конструкцию, состоящую из отдельных сборочных единиц: вала, конуса, подшипников (рисунок 1). Конус крепится на вал с помощью шпоночного соединения и фиксируется болтом с шайбой. Узел привода конуса закреплен консольно в корпусе ванны волочения стана. Для проектирования 3D-модели узла привода конуса отдельно создавались детали, входящие в этот узел. Представим 3D-модель конуса, спроектированного в *SolidWorks* (рисунок 2).

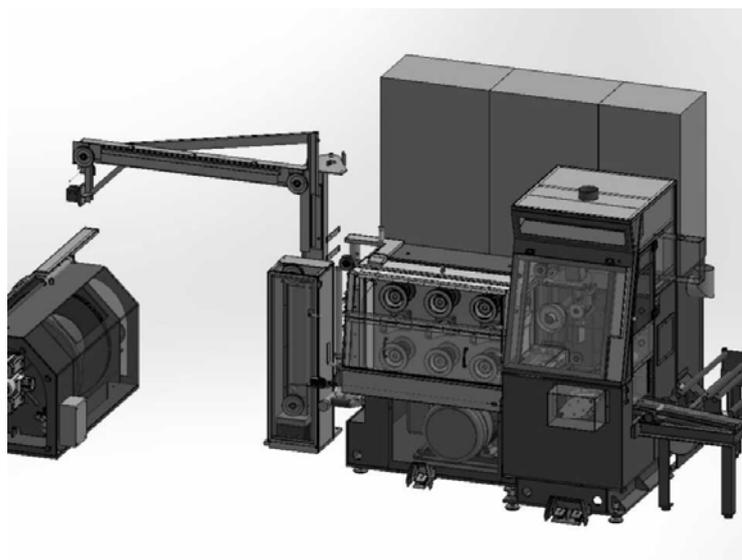
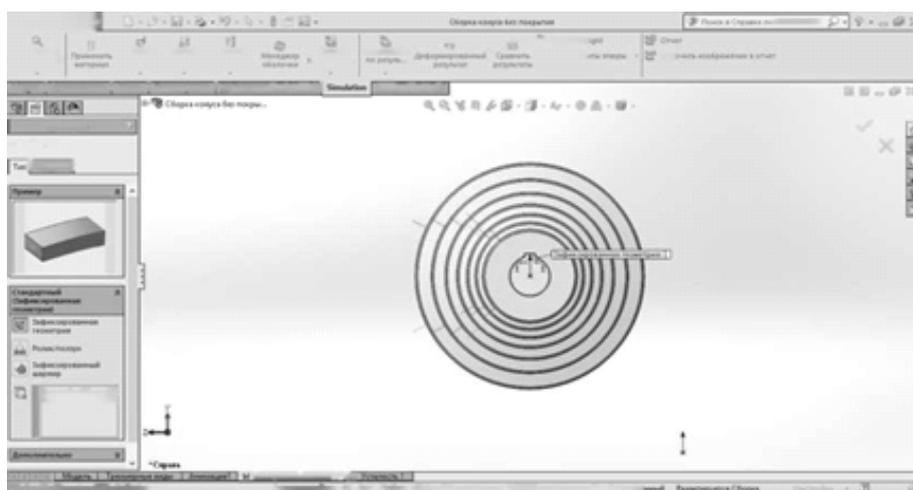
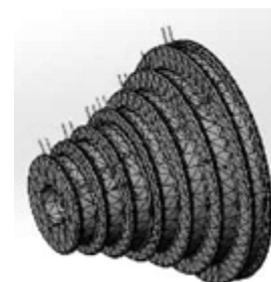


Рисунок 1. — Стан тонкого волочения (3D-модель)



а)



б)

Рисунок 2. — Схема приложения нагрузок, действующих от волочения (а), и сетка конечных элементов исследуемой модели конуса (б)

Анализ результатов моделирования. Результаты эквивалентных напряжений, возникающих от сил волочения, представлены на рисунке 3. Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение было на минимальном диаметре и составило $1,78 \cdot 10^6$ Па.

На рисунке 3, б, в, г, представлены напряжения по осям X , Y , Z . Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение по оси X было на 3-й и 4-й канавке конуса и составило $1,15 \cdot 10^6$ Па.

На рисунке 3, в, г, видно, что максимальное напряжение по оси Y было на минимальном диаметре и составило $8,3 \cdot 10^5$ Па, а по оси Z составило $5,9 \cdot 10^5$ Па.

Представлены результаты расчетов эквивалентных перемещений, возникающих от сил волочения (рисунок 4). Анализ результатов позволил установить, что максимальное эквивалентное перемещение было на максимальном диаметре и составило $7,08 \cdot 10^{-4}$ мм.

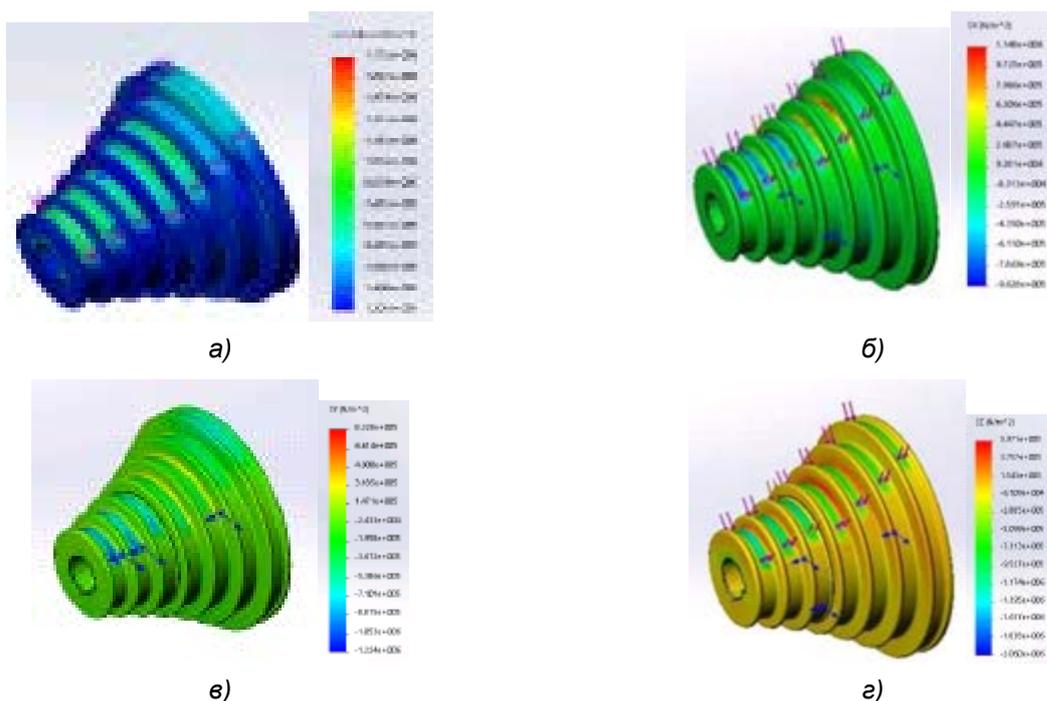


Рисунок 3. — Картины распределения эквивалентных напряжений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

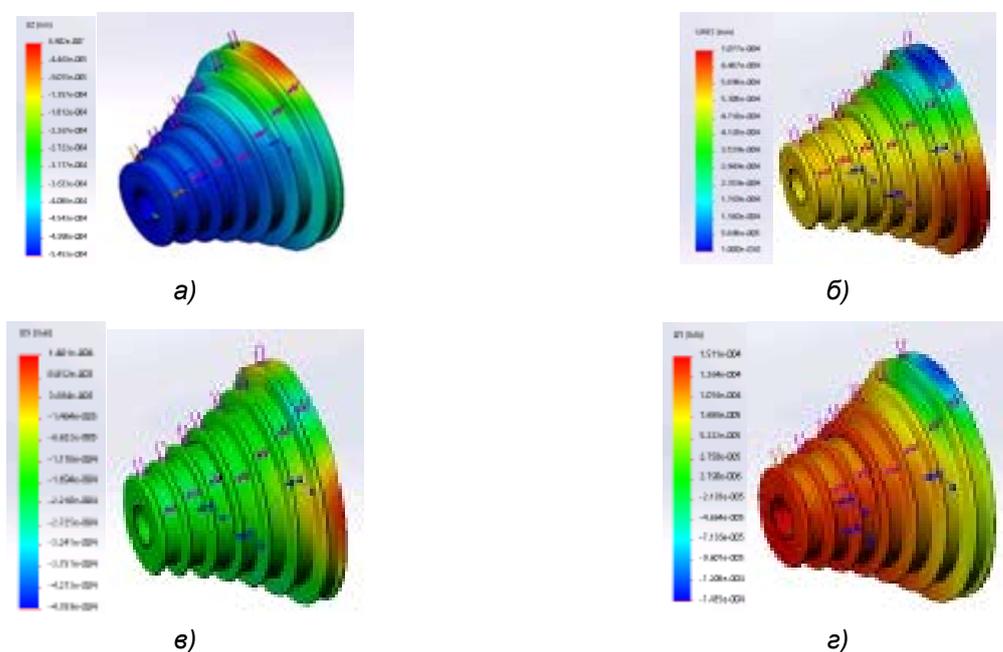


Рисунок 4. — Картины распределения эквивалентных перемещений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

На рисунке 4, б, в, г, представлены перемещения по осям X, Y, Z. Анализ результатов позволил установить, что максимальное перемещение по оси X было на максимальном диаметре и составило $1,4 \cdot 10^{-4}$ мм, а максимальное перемещение по оси Y составило $1,51 \cdot 10^{-4}$ мм, по оси Z — $8,9 \cdot 10^{-7}$ мм.

Для повышения работоспособности канавки конуса вытяжного стана использовалось защитное покрытие на основе карбида титана толщиной 1 мм.

Результаты расчета напряжений, возникающих от сил волочения, представлены на рисунке 5. Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение было на минимальном диаметре и составило $4,8 \cdot 10^7$ Па.

Представлены напряжения по осям X , Y , Z (см. рисунок 5, б, в, г). Анализ результатов позволил установить, что максимальное напряжение по оси X было в защитном слое на минимальном диаметре конуса и составило $5,4 \cdot 10^7$ Па, а максимальное напряжение оси Y — $2,5 \cdot 10^7$ Па, по оси Z — $3,3 \cdot 10^7$ Па.

Результат расчета перемещений представлен на рисунке 6. Анализ результатов позволил установить, что максимальное эквивалентное перемещение было на минимальном диаметре и составило $1,2 \cdot 10^{-2}$ мм.

На рисунке 6, б, в, г, представлены перемещения по осям X , Y , Z . Анализ результатов позволил установить, что максимальное перемещение по оси X было на максимальном диаметре и составило $2,2 \cdot 10^{-3}$ мм, максимальное перемещение по оси Y составило $3,6 \cdot 10^{-3}$ мм, по оси Z — $2,7 \cdot 10^{-4}$ мм.

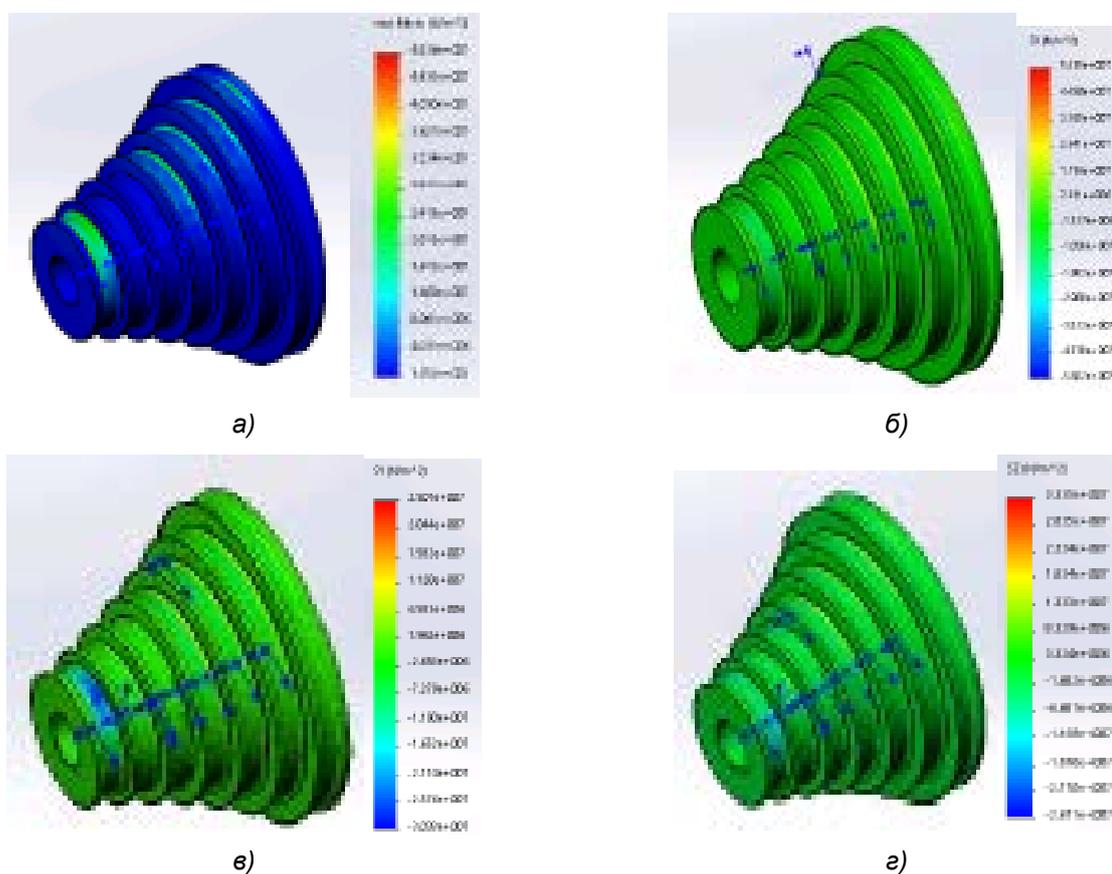


Рисунок 5. — Картины распределения эквивалентных напряжений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

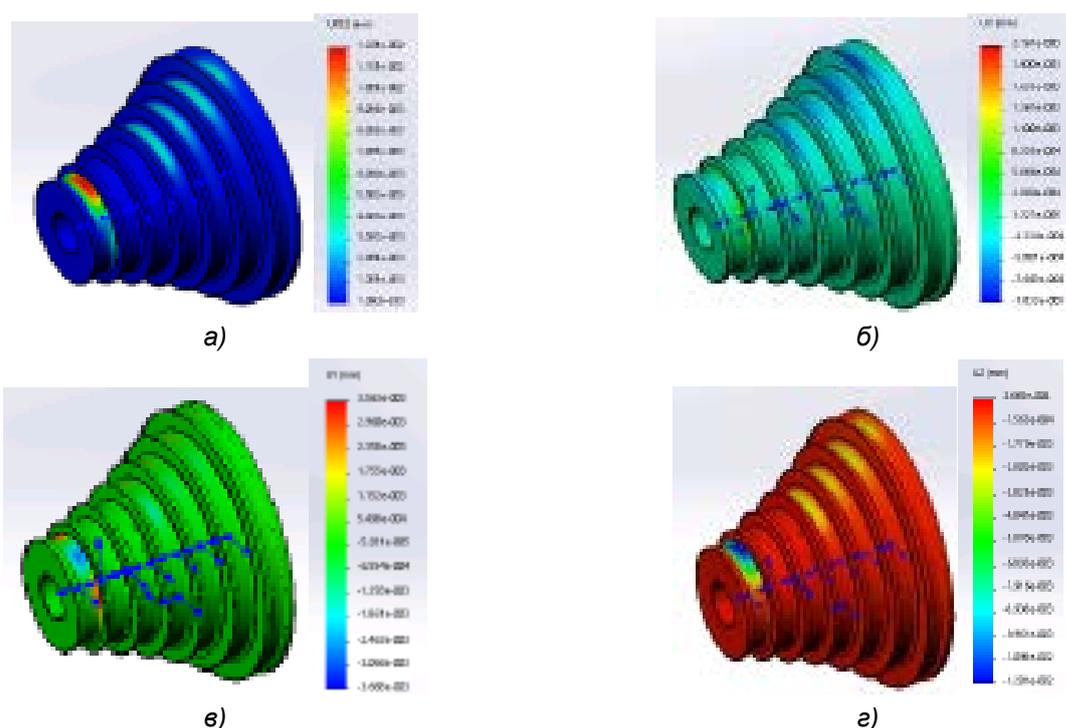


Рисунок 6. — Картина распределения эквивалентных перемещений (а) по оси X (б), оси Y (в), оси Z (г)

Результаты расчетов повреждения конуса без покрытия и с покрытием, возникающих от сил волочения, представлены на рисунке 7. Анализ результатов позволил установить, что первые разрушения конуса без покрытия начнутся после 11 684 циклов, а с покрытием — после 40 360 циклов.

Сравнивая исследования напряженно-деформированного состояния конусов, можно сделать вывод, что перемещения у конуса с покрытием в 2 раза меньше.

Нанесение защитного слоя на основе карбида титана толщиной 1 мм увеличивает работоспособность конуса в 3,5 раза.

Дорожка волочильного конуса подвергается интенсивному износу в процессе эксплуатации: во-первых, в результате осевого скольжения проволоки, во-вторых, по причине изгиба проволоки при набегании на конус, а следовательно, сжатия и скольжения внутренней поверхности проволоки.

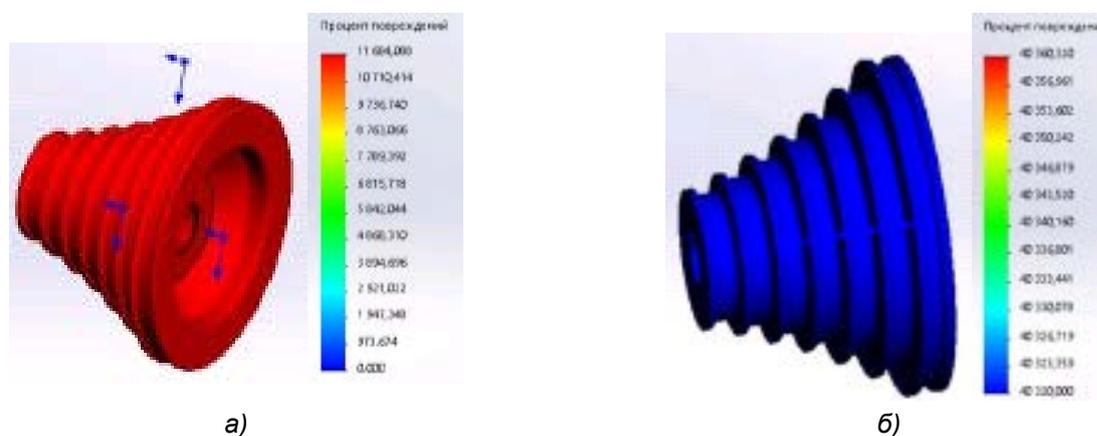


Рисунок 7. — Картины распределения повреждений конусов: без покрытия (а), с покрытием (б)

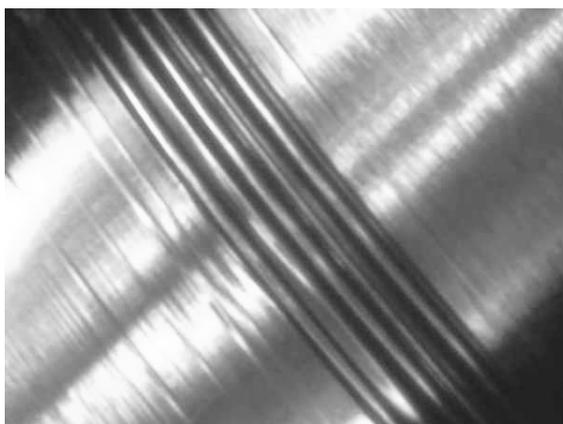


Рисунок 8. — Вид рабочей поверхности конуса

В результате работы конуса в производственных условиях произошел износ канавки (рисунок 8), характер которого согласуется с результатами теоретических исследований.

Заключение. В результате исследований было установлено, что первые повреждения у конуса без покрытия начнутся после 11 684 циклов, а у конуса с покрытием — после 40 360 циклов. Нанесение защитного слоя на основе карбида титана толщиной 1 мм уменьшает износ канавки конуса в 3,5 раза.

Исследования напряженно-деформированного состояния конусов показывают, что эквивалентные перемещения у конуса с покрытием в 2 раза меньше. Это приводит к уменьшению технологического уклона канавки, что позволяет повысить работоспособность конуса.

Список цитируемых источников

1. Горловский, М. Б. Справочник волочильщика проволоки / М. Б. Горловский, В. Н. Меркачев. — М. : Металлургия, 1993. — 336 с.
2. Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э. В. Рыжов, А. Г. Суслов, В. П. Фёдоров. — М. : Машиностроение, 1979. — 174 с.
3. Сулима, А. М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулима, В. А. Шулов, Ю. Д. Ягодкин. — М. : Машиностроение, 1988. — 240 с.
4. Комбалов, В. С. Влияние шероховатости твёрдых тел на трение и износ / В. С. Комбалов. — М. : Наука, 1974. — 112 с.
5. Дунин-Барковский, И. В. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности / И. В. Дунин-Барковский, А. Н. Карташова. — М. : Машиностроение, 1978. — 232 с.
6. Моргаленко, А. П. Технологическое обеспечение износостойкости поверхностей трения скольжения комбинированной обработкой на основе применения твёрдых нитридсодержащих покрытий : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / А. П. Моргаленко. — М., 1989. — 241 л.
7. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. — М. : Машиностроение, 2002. — 684 с.
8. Рыжов, Э. В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э. В. Рыжов, С. А. Клименко, О. Г. Гуцаленко. — Киев : Наук. думка, 1994. — 184 с.
9. Суслов, А. Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко. — М. : Машиностроение, 2006. — 448 с.
10. Дальский, А. М. Поверхностный слой деталей машин в условиях самоорганизации технологических систем / А. М. Дальский // Инженер. журн. Справочник. — 2003. — № 9. — Приложение № 9. Инженерия поверхности. — С. 13—15.
11. Проников, А. С. Программный метод испытания технологического оборудования по параметрам качества и надёжности / А. С. Проников // Вестн. машиностроения. — 1984. — № 3. — С. 51—56.
12. Заковоротный, В. Л. Синергетический принцип при управлении движением трибосистем / В. Л. Заковоротный. — М. : Станкин, 2000. — 195 с.

Поступил в редакцию 23.05.2019