

зователя ОШС-4000/125. – Мариуполь, 2007. – 22 с. 22. Программа экспертного обследования технического состояния металлоконструкций отвалообразователя ОШС-4000/125 (черт. 126.00.00.000) – Мариуполь, 2011. – 32с. 23. *Зенкевич О.К.* Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с. 24. *Соколов С.А.* Металлические конструкции подъемно-транспортных машин / С.А. Соколов – Санкт-Петербург: Политехника, 2005. – 422 с. 25. *Ицкович Г.М.* Сопротивление материалов / Г.М. Ицкович – М.: Высшая школа, 1960. – 529 с. 26. *Писаренко Г.С.* Сопротивление материалов / Г.С. Писаренко, В.А. Агарев, А.Л. Квитка и др. – Киев: Вища школа, 1979. – 693 с. 27. Справочник металлиста. Том 2. / Под ред. *Н.С. Ачеркана.* – М.: Машгиз, 1958.

Поступила в редколлегию 30.06.12

УДК 621.43:62-192

**В. Н. ШЕРЕМЕТ**, асп. каф. ТММиСАПР, НТУ „ХПИ”, Харьков;  
**О.В. ВЕРЕТЕЛЬНИК**, мл. науч. сотр. каф. ТММиСАПР, НТУ „ХПИ”;  
**Б.Я. ЛИТВИН**, ген. директор ХЗТО, Харьков;  
**А.И. ШЕЙКО**, зам. гл инж. ГП „Завод им. Малышева”, Харьков;  
**С.А. КРАВЧЕНКО**, к.т.н., ст.науч.сотр. каф. ДВС НТУ „ХПИ”

### ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ДАВЛЕНИЙ В СОПРЯЖЕНИИ ДЕТАЛЕЙ С ДИСКРЕТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

У статті описані результати дослідження особливостей напружено-деформованого стану при контактній взаємодії деталей, поверхні яких дискретно зміцнені. Виявлено суттєву нерівномірність розподілу контактної тиску на контактній поверхні.

**Ключові слова:** дискретне зміцнення, напружено-деформований стан, контактний тиск, контактна поверхня.

В статье описаны результаты исследования особенностей напряженно-деформированного состояния при контактном взаимодействии деталей, поверхности которых дискретно упрочнены. Выявлена существенная неравномерность распределения контактного давления на контактной поверхности.

**Ключевые слова:** дискретное упрочнение, напряженно-деформированное состояние, контактное давление, контактная поверхность.

In the paper results are described for research of features of stressed-deformed state at contact interaction of details which surfaces are discretely strengthened. The substantial irregularity of contact pressure distribution is detected on contact surface.

**Keywords:** discrete strengthening, tensely-deformed state, pin pressure, pin surface.

**Введение.** Одним из наиболее эффективных методов повышения прочностных и трибологических свойств тяжело нагруженных деталей машиностроительных конструкций является метод дискретного упрочнения [1-5]. Он превосходит конкурирующие с ним способы упрочнения поверхности деталей тем, что вместо континуальной модификации поверхностного слоя в данной

© В. Н. Шеремет, О.В. Веретельник, Б.Я. Литвин, А.И. Шейко, С.А. Кравченко

технологии предложен метод нанесения электроискровым способом архипелага дискретных зон упрочнения. Эксперименты на обработанных таким способом деталях показали, что, в отличие от других методов, предложенная технология приводит не к разнонаправленному изменению трибологических и прочностных характеристик обработанных деталей, а к их одновременному росту. При этом в настоящее время отсутствует достаточно подробный анализ особенностей, привносимых на микроуровне, в процесс контактного взаимодействия дискретно упрочненных деталей. Эта актуальная задача частично решена и описана в представленной работе.

**Расчетная модель.** В качестве исследуемого объекта был рассмотрен фрагмент двух контактирующих упругих тел, одно из которых содержит полуовальную зону включения с размерами 0,6x0,6x0,4 мм. Это и есть зона дискретного упрочнения. Она состоит из высоколегированного материала (сталь 12Х18Н10Т), а материал основного материала – чугун ТУ Д70.05.ДТ:1978. Из исследуемой системы вычленен отдельный фрагмент (рис. 1). По размерам в плане он соответствует ¼ элементарной ячейки, которой замощена поверхность дискретно упрочненной детали. По глубине фрагмент ограничен 10-ю размерами характерного размера в плане. По боковым поверхностям фрагмента заданы условия симметрии, нижняя грань закреплена, верхняя – нагружена равномерно распределенным давлением  $p = 100$  МПа, а по сопряженным граням моделируются условия контактного взаимодействия без трения.

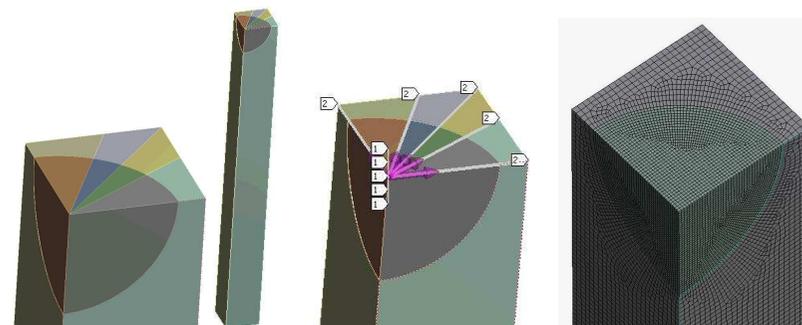


Рис. 1 – Расчетные схемы для задачи анализа НДС фрагмента детали с зоной дискретного упрочнения при действии на поверхность распределенного давления  $p=100$  МПа

**Результаты тестовых расчетов.** На рис. 2-4 представлены картины распределения компонент напряженно-деформированного состояния в исследованном фрагменте системы взаимодействующих тел, одно из которых содержит зону дискретного упрочнения.

Представленные картины распределения контактных давлений свидетельствуют о существенной их неравномерности. При этом большая часть действующей нагрузки прижатия тел, приходящаяся на отдельно взятый

фрагмент, содержащий одну зону дискретного упрочненного материала, передается через эту зону.

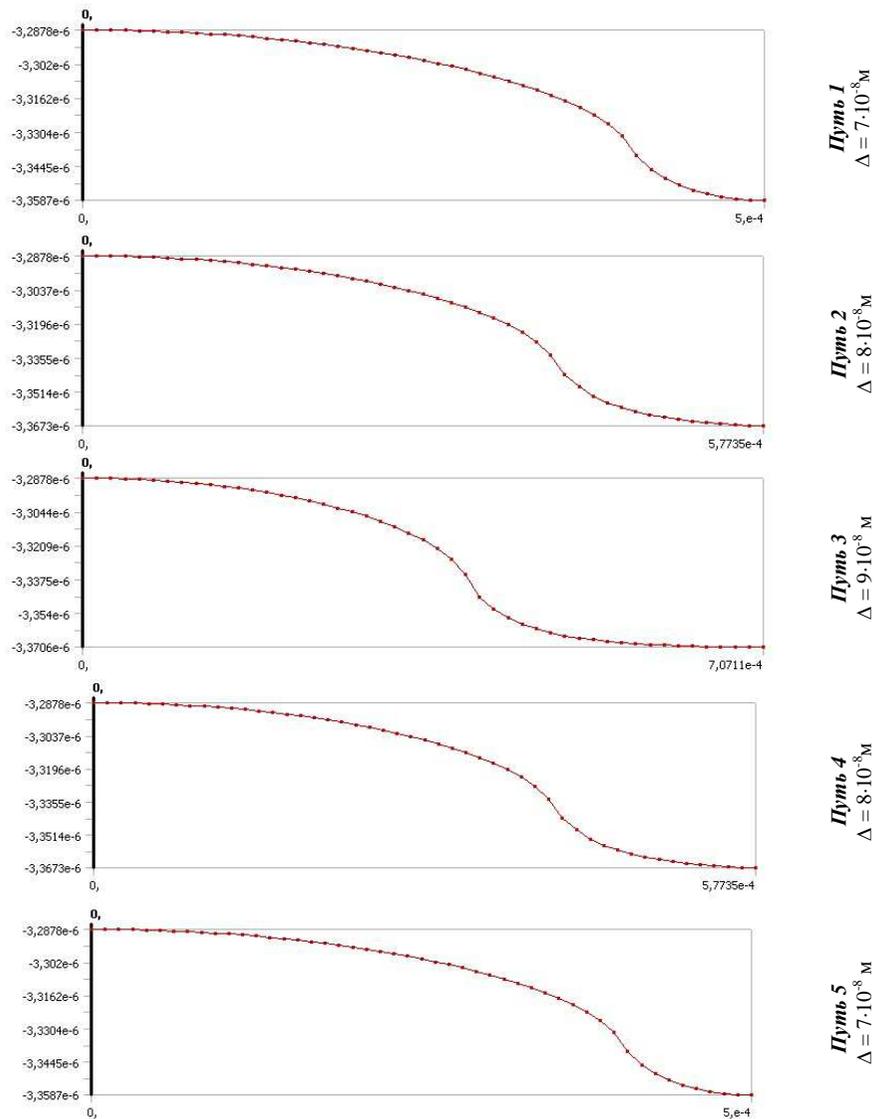


Рис. 2 – Распределение профилей деформированной поверхности вдоль путей 1-5 (см. рис. 1)

В области контакта неупрочненного материала с неупрочненным материалом

другой детали контактные давления намного ниже. Соответственно, в этой области – более благоприятные условия для аккумуляции смазочного материала, циркулирующего в лабиринте между зонами дискретного упрочнения.

Принимая во внимание, что поверхность зоны дискретного упрочнения имеет низкий коэффициент трения в сопряжении с поверхностью основного материала, получаем в итоге выигрыш по интегральному значению усилий трения. Кроме того, за счет более высоких механических свойств легированного материала зоны дискретного упрочнения (по сравнению со свойствами основного материала) некоторое увеличение действующих в ней напряжений (по сравнению со случаем отсутствия зон дискретного упрочнения) нивелируется с точки зрения прочности. В дополнение можно отметить также, что верхний слой материала зон дискретного упрочнения, содержащий значительные остаточные напряжения после технологической операции дискретного упрочнения, удаляется путем шлифования. Это значит, что в итоге снижается уровень суммарных напряжений (от внешних усилий и от остаточного напряженного состояния). В качестве окончательного результата получается улучшение и трибологических, и прочностных характеристик.

**Заключение.** Проведенные тестовые расчеты напряженно-деформированного состояния деталей машиностроительных конструкций, обработанных методом дискретного упрочнения, свидетельствуют о благоприятном сочетании эффектов, вызванном такой технологической операцией. В дальнейшем планируется усложнить расчетные модели, применяемые для численного моделирования напряженно-деформированного состояния системы дискретно упрочненных тел. С применением таких усовершенствованных моделей можно будет более точно рассчитать напряженно-деформированное состояние тел на поверхности и по глубине, а, соответственно, и разработать обоснованные рекомендации по выбору параметров применяемого процесса дискретного упрочнения.

**Список литературы:** 1. Гончаров В.Г. Дискретная обработка – эффективный способ упрочнения деталей машин / Б.В. Савченко, В.Г. Гончаров, А.Н. Леоненко // Механіка та машинобудування. – 2010. – №1. – С. 44-49. 2. Гончаров В.Г. Исследование изменения характеристик трения по глубине дискретного слоя / В.Г. Гончаров, А.К. Олейник, Г.Г. Гринченко // Збірник наукових праць Запорізького національного техніч. ун-ту. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – С. 100–101. 3. Ткачук М.А. Розробка наукових основ створення спрят-

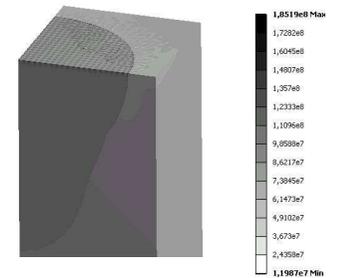


Рис. 3 – Распределения эквивалентных напряжений по Мизесу

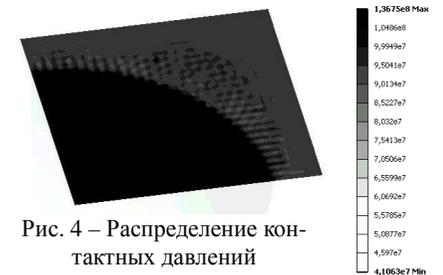


Рис. 4 – Распределение контактных давлений

ливих поверхневих дискретно-континуальних полів напружень у високонавантажених елементах машин / М.А. Ткачук, В.М. Шеремет, Г.В. Ткачук, А.В. Грабовський // *Механіка та машинобудування*. – 2009. – №1. – С. 147-156. 4. *Шеремет В.М.* Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин з дискретним зміщенням / В.М. Шеремет, М.А. Ткачук, Т.О. Васильєва // *Вісник НТУ «ХП»*. Тем. вип.: *Машинознавство та САПР*. – 2010. – №19. – С. 150-155. 5. *Шеремет В.Н.* Повышение ресурса тяжело нагруженных элементов ДВС путем дискретного упрочнения деталей. Моделирование напряженно-деформированного состояния / В.Н. Шеремет, Н.А. Ткачук, В.Г. Гончаров // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2010. – №2. – С. 118-123.

*Поступила в редакцию 5.10.12*

УДК 539.3

**A. ZOLOCHEVSKY**, Dr. Sc., NTU “KHPI”,  
**A. V. GRABOVSKIY**, Dr., NTU “KHPI”,  
**L. PARKHOMENKO**, Kharkov State University of Food Technology and Trade,  
**Y. S. LIN**, Dr., Arizona State University, USA

#### **TRANSIENT ANALYSIS OF OXYGEN NON-STOICHIOMETRY AND CHEMICALLY INDUCED STRESSES IN PEROVSKITE-TYPE CERAMIC MEMBRANES FOR OXYGEN SEPARATION**

Розроблено модель, що встановлює зв'язок між хімічно обумовленими деформаціями у перовскитових оксидах та кисневою нестехіометрією. Використовуючи рівняння Фіка другого роду, початкові та граничні умови при контакті з повітрям та синтетичним газом, а також в непроникувній частині мембрани, сформульовано початково-граничну задачу дифузії вакансій кисню у трубчастій мембрані з перовскитової кераміки. Повітря проходить через зовнішню поверхню трубчастої мембрани, газ сусіджений на її внутрішній поверхні. Розглянуто перенос вакансій кисню в інтерфейсі між внутрішньою поверхнею мембрани і оточуючим газом. Представлено граничну задачу для визначення хімічно обумовлених деформацій та напружень в трубчастій перовскитовій мембрані під дією хімічного градієнту кисню. Модель впроваджено в комп'ютерні структурні інструменти для аналізу розподілу хімічно обумовлених напружень в проникних для кисню мембранних системах. Розглянуто чисельний приклад та обговорено перерозподіл у часі нестехіометрії, часткового кисневого тиску та хімічно обумовлених напружень у трубчастій мембрані.

**Ключові слова:** напруга; перовскіт; керамічна мембрана; відокремлення кисню

Разработана модель, которая устанавливает связь между химически обусловленными деформациями в перовскитоподобных оксидах и кислородной нестехиометрией. Используя уравнение Фика второго рода, начальные и граничные условия при контакте с воздухом и синтетическим газом, а также в непроницаемой части мембраны, сформулирована начально-граничная задача диффузии вакансий кислорода в трубчатой мембране из перовскитоподобной керамики. Воздух проходит через внешнюю поверхность трубчатой мембраны, газ сосредоточен на ее внутренней поверхности. Рассмотрен перенос вакансий кислорода в интерфейсе между внутренней поверхностью мембраны и окружающим газом. Представлена граничная задача для определения химически обусловленных деформаций и напряжений в трубчатой перовскитоподобной мембране под действием химического градиента кислорода. Модель внедрена в компьютерные структурные инструменты для анализа распределения химически обусловленных напряжений в проникающих для кислорода мембранных системах. Рассмотрен численный пример и обсуждено перераспределение во времени нестехиометрии, частичного кислородного давления и химически обусловленных напряжений в трубчатой мембране.

© A. Zolochovsky, A. V. Grabovskiy, L. Parkhomenko, Y. S. Lin