

На рис. 5 представлена визуализация сцены взлета самолета-амфибии [5]. Следует отметить, что самолет-амфибию можно смоделировать и в других трехмерных системах, однако, данная графическая система позволяет изготовить конструкторскую документацию моделируемого объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Красильникова Г., Самсонов В., Тарелкин С. Автоматизация инженерно-графических работ. – СПб.: Питер, 2000. – 256 с.
2. Чекмарев А.А., Верховский А.В., Пузиков А.А. Начертательная геометрия. Инженерная и машинная графика / Под ред. А.А. Чекмарева. – М.: Высш. шк., 1999. – 154 с.
3. Аббасов И.Б. Создаем чертежи на компьютере в AutoCAD 2007/2008: Учебное пособие. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 136 с.
4. Ткачев Д.А. AutoCAD 2007. – СПб.: Питер; Киев, ВНУ, 2007. 464 с.
5. Аббасов И.Б. Компьютерная модель самолета-амфибии // Компьютерное моделирование 2008: Труды IX международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 24-25 июня 2008). – СПб.: СПбГПУ. Изд-во Политехн. ун-та. 2008. – С. 45-47.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: igkd@egf.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-794.

Кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна.

Доцент.

Abbaasov Iftikhar Balakishi

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”

E-mail: igkd@egf.tsure.ru.

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: 8(8634)371-794.

Department of Engineering Drawing and Computer Design.

Associate professor.

УДК 621.515+669:539.67

**В.И. Бутенко, А.Д. Захарченко, Л.В. Гусакова, Р.Г. Шаповалов,
В.Н. Подножкина**

ПЕРСПЕКТИВЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Рассмотрены основные направления обеспечения требуемых эксплуатационных свойств деталей машин, дано им физическое обоснование и определены области их возможного применения.

Дислокации; наноструктурный слой, свободные электроны, система, силы резания, шлифование, напряжения, структура.

**V.I. Butenko, A.D. Zakharchenko, L.V. Gusakova, R.G. Shapovalov,
V.N. Podnozhkina**

PROSPECTS OF MANAGEMENT OF OPERATIONAL PROPERTIES OF DETAILS OF MACHINES

The basic directions of maintenance of required operational properties of details of machines are considered, the physical substantiation is given by him and the areas of their possible application determined.

Dislocations, a nanostructure layer, free electrons, system, forces of cutting, grinding, pressure, structure.

В работе [1] представлена электронно-дислокационная теория контактного взаимодействия поверхностей твёрдых тел, согласно которой контактное взаимодействие материалов твёрдых кристаллических тел обусловлено процессами движения свободных электронов и дислокаций приводящих к формированию контактной ЭДС и промежуточного наноструктурного слоя, определяющих поведение материалов в заданных условиях эксплуатации. Практическое воплощение этой теории в практику металлообработки деталей машин и эксплуатацию открывает новые перспективы в управлении эксплуатационными показателями поверхностного слоя.

В практике современного машиностроения определились следующие основные направления управления эксплуатационными свойствами деталей машин: материаловедческое, конструкторское, технологическое и эксплуатационное.

Материаловедческое направление связывается с созданием конструкционных материалов кластерного типа, обладающих способностью приспосабливаться к конкретным условиям эксплуатации. В этом направлении выделяется микролегирование стали сильными карбидообразующими элементами (титана, бора и других), приводящее к образованию субмикродисперсной структуры [2]. Исследования показывают, что такие добавки способствуют увеличению числа центров зарождения цементита в стали и образованию большого количества дисперсных частиц цементитной фазы.

Другим направлением создания новых управляемых структур сталей сплавов может быть использован способ равноканального многоугольного прессования, позволяющего получать наноструктуры конструкционных материалов [2,3].

Установлено, что с накоплением деформации происходит дробление чешуйчатой структуры с одновременным уменьшением как минимального размера зёрен, так и максимального. Однородность проработки и размерная однородность зёрен повышается по мере увеличения суммарной степени деформации сдвигом вплоть до формирования субмикрокристаллической (СМК) структуры размером 0,3...0,5 мкм. Средний размер зёрен при этом уменьшается от 12,2 мкм (исходное состояние) до 1,3 мкм (15 циклов). Дальнейшее увеличение суммарной деформации (23 цикла) приводит к существенному снижению этой

характеристики до 0,825 мкм, коэффициент неоднородности размера зёрен по сечению образца (d_{\max}/d_{cp}) уменьшается, соответственно, от 6,5 до 1,21. Одновременно с уменьшением абсолютной величины зёрен и повышением однородности структуры растёт общее количество субмикронных зёрен, тогда как доля зёрен с размером 0,3...0,5 мкм (23 цикла) составляет 37,5%.

Представляет определённый теоретический интерес и практическую значимость технологическое направление создания управляемых структур методом бездеформационной упрочняющей термической обработки в магнитном поле. Действительно, если исходной фазой стали является железоуглеродистый аустенит, то его парамагнитное состояние в макромасштабе характеризуется полным разупрочнением электронных спинов, при этом свободная энергия становится минимальной [2,4]. Измерения магнитной восприимчивости χ аустенита стали с содержанием углерода 0,8% показали, что при температуре выше 820 °С γ – фаза железа находится в парамагнитном состоянии, зависимость $1/\chi$ (Т) линейная и описывается законом Кюри-Вейсса. Однако при температуре ниже 820 °С наблюдается нелинейное возрастание магнитной восприимчивости χ . Такое изменение магнитных свойств γ -фазы железа связано с самопроизвольным возникновением флуктуаций дальнего ферромагнитного порядка (кластеры, «рой» спинов), которые представляют собой малые (однодоменные) ферромагнитные области, возникающие и аннигилирующие по статистическим законам.

В последнее время процессы высокоэффективной обработки конструкционных материалов рассматриваются с системных позиций как последовательности преобразований вещества, энергии и энтропии в материальных и информационных подсистемах, направленные на изменение точности и качества поверхностей и физико-механических свойств материала детали.

Для анализа путей интенсификации формирования управляемых структур и фаз поверхностных слоёв деталей в обрабатывающей системе выделяются нестабильные переменные (температура, давление, сила тока, магнитная индукция и др.), которые подчиняют себе развитие и эволюцию стабильных в данном процессе параметров. Такой подход позволяет рассматривать любую структуру как самостабилизирующейся энергетической обусловленностью комплекс. при эволюции чередование переходов системы из устойчивого в неустойчивое состояние сопровождается сменой масштабного уровня процесса поглощения энергии и образованием диссипативных структур [2].

В этом направлении весьма перспективным является разработка нанотехнологий и создание на их основе наноматериалов, обладающих возможностями управления эксплуатационными свойствами деталей машин. Например, установлено, что высокими эксплуатационными свойствами обладает нанокристаллический материал гексанит на основе нитрида бора ($K_{1c}=(15-18)\text{МПа}\cdot\text{м}^{0.5}$), получаемый методом высоких давлений при высоких температурах и используемый для высокочистой обработки резанием. Проводятся исследования в области инструментальных наноматериалов (твёрдые алмазы, быстрорежущие стали, чистовой инструмент из нанокристаллов алмаза, новые сверхтвёрдые материалы и др.). Добавки нанопорошков карбида вольфрама

((5-8)%) к стандартным твёрдым сплавам повышают однородность структуры и снижают разброс значений прочности.

Весьма перспективным направлением обеспечения эксплуатационных свойств деталей машин является конструкторское, базирующееся на статической теории предела выносливости. Известно, что статистическая теория предела выносливости составляет часть проблемы обоснования так называемой кривой усталости, устанавливающей связь между действующим напряжением и числом циклов, необходимым до полного разрушения. Эта теория позволяет предсказать усталостную прочность конструкций при низких уровнях напряжений на основании их прочности при высоких уровнях напряжений и, таким образом, является теоретической основой для разработки ускоренных методов испытаний на усталость, методов предсказания долговечности реальных конструкций на основании относительно простых программных испытаний.

Основным уравнением теории подобия является функция, распределения средств выносливости детали $I = F(P)$, а в качестве основного критерия подобия рассматривается отношение $\theta = L/\bar{G}$ параметра опасного сечения или его наиболее напряжённой части к относительному градиенту.

Величина критерия подобия θ значительно зависит от конструктивных форм деталей и концентраторов напряжений. В свою очередь на величину коэффициента концентрации существенное влияние оказывает размер детали.

Экспериментом установлено, что влияние размера при изгибе с вращением значительно больше, чем при кручении. Наиболее вероятным объяснением снижения предела усталости при увеличении размера является влияние остаточных напряжений, возникающих в деталях после термообработки или после некоторых видов механической обработки. Распространена концепция дефектов, которая состоит в том, что все материалы содержат внутренние нарушения сплошности, за счёт чего возникает концентрация напряжений.

При технологическом обеспечении эксплуатационных показателей деталей машин особое внимание уделяется совершенствованию процессов шлифования, которые относятся к нестационарным процессам. Колебания силы резания, температуры и других параметров шлифования вызывают колебания шероховатости обработанной поверхности детали, твёрдости материала поверхностного слоя и величины технологических остаточных напряжений. Исключить или свести до минимума явление нестационарности процесса шлифования можно оптимизацией режимов резания, используя методику расчёта их по критерию накопленной в обрабатываемом материале энергии [5].

Современное состояние металлообрабатывающего производства и развитие технологии даёт основание считать, что существуют реальные возможности получать бездефектные поверхности шлифованных деталей. Получение бездефектных поверхностей особенно важно добиваться при шлифовании сложнопрофильных деталей из труднообрабатываемых хромоникелевых сталей, титановых и алюминиевых сплавов, а также сплавов на никелевой основе.

Выбор того или иного направления обеспечения бездефектного шлифования поверхностей деталей машин зависит от состояния технологического оборудования конкретного производства, конфигурации обрабатываемой детали, её материала, готовности производства к внедрению новых технологий и

других факторов. При этом принципиально важным является совместное решение конструкторских технологических и экономических вопросов, возникающих при осуществлении мероприятий по бездефектному шлифованию поверхностей деталей машин.

Следует также отметить, что все рассмотренные направления обеспечения бездефектного шлифования поверхностей деталей машин оказывают комплексное влияние на эксплуатационные параметры качества поверхностного слоя.

Перспективными в технологии машиностроения могут стать направления обеспечения бездефектного шлифования, использующие достижения нанотехнологий, особенно при разработке способов активизации СОТС. Управляемое расщепление веществ, подаваемых в зону обработки, до атомов с последующим построением кластеров позволит производить перестройку кристаллической структуры материала поверхностного слоя обрабатываемой детали с обеспечением заданных эксплуатационных свойств. Одновременно станет возможным создание незасаливающихся шлифовальных кругов. Большие возможности также открываются в разработке и использовании систем автоматизированного управления процессами механической обработки деталей, прежде всего шлифования, повышения их роли в общем эксплуатационно-технологическом процессе.

Среди перспективных технологических направлений управления эксплуатационными свойствами деталей машин следует выделить разработку процесса комбинированной обработки поверхностей деталей машин, включающей создание заданной структуры материала путём легирования его высококонцентрированными источниками энергии (например, лазером) [6] с последующей отделочной или отделочно-упрочняющей обработкой.

Оптимизационного алгоритма выбора технологических параметров лазерной обработки поверхностей деталей, которая может быть реализована на любом машиностроительном предприятии. Применение отделочной или отделочно-упрочняющей обработки позволяет обеспечить эксплуатационную шероховатость поверхностей деталей и стабилизировать величину и знак технологических остаточных напряжений в материале поверхностного слоя.

В качестве перспективных эксплуатационных направлений управления свойствами контактируемых деталей машин можно считать следующее:

- ◆ применение эффективных смазочных композиций, обеспечивающих режим безызносности;
- ◆ управляющее воздействие на процессы изнашивания материалов электромагнитными полями и другими излучениями [7];
- ◆ создание в зоне контакта поверхностей деталей машин электрического противотока, компенсирующего возникающую ЭДС напряжения;
- ◆ использование эффектов реверсивности и рекуперативности ЭДС.

Важнейшим эксплуатационным направлением влияния на характеристики контактного взаимодействия поверхностей деталей машин является учёт поверхностных эффектов при приближении к нанометрическому масштабному уровню промежуточного слоя. Исследования показывают, что для особо тонких кристаллов нанометрических размеров практически все атомы на поверхности, что свидетельствует о том, что поверхностные напряжения ответ-

ственны за упругие модели контактирующих материалов. Сравнительный анализ различных схем контактного взаимодействия поверхностей твёрдых кристаллических тел показывает, что поверхностные эффекты в меньшей степени влияют на дискретность наночастиц. Этот фактор может быть использован для управления физико-механическими свойствами материалов поверхностных слоёв контактируемых деталей [1].

При разработке перспективных направлений управления эксплуатационными свойствами деталей машин на всех этапах их «жизненного пути» важно учитывать изменения модуля упругости (модуля Юнга) материала от различных факторов, в т.ч. температуры, прилагаемой нагрузки, химического состава, магнитного упорядочения в кристаллических решётках и других. Широкие возможности в управлении эксплуатационными свойствами принадлежат электропластическому и фотопластическому эффектам в металлах. Их использование особенно перспективно при разработке технологий в точном машиностроении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бутенко В.И.* Электронно-дислокационная теория контактного взаимодействия поверхностей твёрдых тел. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2007. – 208 с.
2. *Бутенко В.И.* Физико-механические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 264 с.
3. *Матросов Н.И., Сенникова Л.Ф., Дугадко А.Б. и др.* Формирование субмикроскопического состояния материалов способом равноканального многоугольного прессования. (В кн.: Машиностроение и техносфера XXI века. Сборник трудов X Международной научно-технической конференции.) Том 2. – Донецк, 2003. – С. 222–226.
4. *Пустовойт В.И., Холодова С.Н.* Бездеформационная упрочняющая технология термообработки мелких стержневых деталей в магнитном поле // Вестник ДГТУ. Т. 3(17). – Ростов-на-Дону, 2003. – С. 338–343.
5. *Бутенко В.И.* Бездефектное шлифование поверхностей деталей машин (библиотека технолога). – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 60 с.
6. *Семенцов А.М.* Массоперенос элементов в технологических процессах лазерной обработки. – М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2006. – 147 с.
7. *Бутенко В.И.* Износ деталей трибосистем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – 236 с.

Бутенко Виктор Иванович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: 8(8634)371-622.

Кафедра механики.

Профессор.

Захарченко Анатолий Данилович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.
Тел.: 8(8634)371-622.
Кафедра механики.
Инженер.

Гусакова Лиана Валерьевна
Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.
Тел.: 8(8634)371-622.
Кафедра механики.
Ассистент.

Подножкина Валентина Николаевна
Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.
Тел.: 8(8634)371-622.
Кафедра механики.
Старший преподаватель.

Butenko Viktor Ivanovich
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: 8(8634)371-622.
Department of Mechanics.
Professor.

Zakharchenko Anatoly Danilovich
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: 8(8634)371-622.
Department of Mechanics.
Main Engineer.

Gusakova Liana Valeryevna
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: 8(8634)371-622.

Department of Mechanics.
Assistant.

Shapovalov Roman Grigoryevich
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: 8(8634)371-622.
Department of Mechanics.
Associate professor.

Valentina Nikolayevna Podnozhkina
Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: mkk@egf.tsure.ru.
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.
Phone: 8(8634)371-622.
Department of Mechanics.
Senior teacher.

УДК 629.735.35

И.В. Борисов, С.А. Паршенцев, А.В. Ципенко

**УЧЕТ ПОТОКА НЕСУЩЕГО ВИНТА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
ПОЛЕТА ВЕРТОЛЕТА С ГРУЗОМ НА ВНЕШНЕЙ ПОДВЕСКЕ**

В статье предлагается методика для правильного прогнозирования колебаний груза на внешней подвеске вертолета с учетом индуктивного потока несущего винта, определяемого с использованием пакета программ Flow Vision методом подбора распределения скорости по радиусу лопасти винта таким образом, чтобы итоговая струя совпадала с экспериментально наблюдаемой струей при соответствующей полетной скорости вертолета.

Внешняя подвеска грузов; индуктивный поток несущего винта; колебания груза на внешней подвеске.

I.V. Borisov, S.A. Parshentsev, A.V. Tsipenko

**TAKING ACCOUNT OF MAIN ROTOR FLOW BY MODELLING OF FLY
OF THE HELICOPTER WITH AN EXTERNAL LOAD**

In the article we offer methods to prognosticate correctly helicopter external load vibrations taking into account main rotor inductive flow, which is detected by means of the Flow Vision program package using method of selecting of velocity distribution along propeller blade radius so that the final flow coincides with the experimentally observed flow by appropriate helicopter fly velocity.

External load; main rotor inductive flow; external load vibrations.