

долей вероятности, оказывает несущественное влияние на аэроупругое поведение лопатки турбомашин.

5. Заключение

Представленные результаты численного моделирования термоупругих колебаний турбинных лопаток с охлаждением демонстрируют достаточную адекватность выбранного численного метода интегрирования уравнений термоупругости. Данный метод позволяет моделировать колебания лопаток турбомашин с учетом важных тепловых явлений в турбомашине. В то же время полученные результаты ставят под сомнение необходимость использования уравнений термоупругости в лопатках при решении задач аэроупругости, при этом не умаляя важности термоупругих явлений для задач прочности и термодинамики турбомашин. Дальнейшее развитие метода заключается в использовании его для решения проблемы аэротермоупругости турбомашин.

Список литературы: 1. *Воробьев Ю.С.* Влияние температурной неоднородности на колебания охлаждаемых монокристаллических лопаток газовых турбин / Ю.С. Воробьев, К.Ю. Дьяконенко, С.Б. Кулишов, А.Н. Скрицкий // Вестник двигателестроения. – №3 – 2009. – С.140-143. 2. *Победря Б.Е.* Численные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 366 с. 3. *Купрадзе В.Д.* Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости. – М.: Наука. – 1976. – 664 с. 4. *Коваленко А.Д.* Термоупругость. – К.: Вища школа. – 1975. – 216 с. 5. *Новицкий В.* Динамические задачи термоупругости. – М. Мир – 1970. – 256 с. 6. *Быков Ю.А.* Численное моделирование течения в решетке колеблющихся профилей с учетом теплообмена. / Пробл. машиностроения. – 2009. – Т.12, №5 – С. 36-41. 7. *Быков Ю.А.* Численное моделирование упругих колебаний лопаток турбомашин / Ю. А. Быков, В. И. Гнесин // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – №3/7. – 2011. – С.62-65. 8. *Bolcs A.* Aeroelasticity in Turbomachines. Comparison of Theoretical and Experimental Cascade Results / A. Bolcs, T.H. Fransson // Communication du Laboratoire de Thermique Appliquée et de Turbomachines, Lausanne, EPFL. – 1986. – №13. – 230 p.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 621.9- 621.98

И.А. ДУДНИКОВ, канд. техн. наук, доц., декан, ПГАА, г. Полтава

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ ДЕТАЛЕЙ

Даётся классификация технологических процессов улучшения качества материала поверхностных слоёв деталей сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: качество поверхности, износостойкость, упрочнение, надёжность.

Дається класифікація технологічних процесів покращення якості матеріалу поверхневих шарів деталей сільськогосподарських машин.

Ключові слова: якість поверхні, зносостійкість, зміцнення, надійність.

Classification of technological processes of improvement of quality of material of superficial layers of details of agricultural machines is given.

Keywords: quality of surface, wearproofness, work-hardening, reliability.

1. Введение

Для современных машин характерны такие направления повышения их надёжности: применение прогрессивных технологических процессов

восстановления деталей и сборочных единиц, позволяющих существенно улучшить их качественные показатели; применение более прочных материалов, обеспечивающих повышенную износостойкость; разработка упрочняющих технологий поверхности ответственных деталей [1].

Для повышения долговечности деталей применяются различные технологические процессы упрочнения: физико-химическая обработка рабочих поверхностей деталей, термическая, поверхностное пластическое деформирование, наплавка поверхностей, гальванические покрытия, электроэрозионное легирование (ЭЭЛ) и др.

Основной задачей перечисленных методов является повышение качественных параметров поверхностного слоя: повышение твердости и микротвёрдости обрабатываемого материала деталей, снижение шероховатости, повышение износостойкости и восстановление изношенных поверхностей и т.п.

2. Постановка проблемы

С целью увеличения надёжности и долговечности деталей машин, путем придания их поверхностному слою требуемых физико-механических свойств, в машиностроении широко используют различные методы поверхностного пластического деформирования, являющиеся одним из наиболее простых и эффективных методов упрочнения. При этом в поверхностном слое происходят структурные изменения, повышается его твердость и прочность, образуются благоприятные сжимающие напряжения, снижается шероховатость обрабатываемых поверхностей. Это способствует повышению надёжности и долговечности деталей, в особенности подвергаемых абразивному износу в процессе эксплуатации.

Несмотря на большое количество используемых методов, универсального, пригодного для всего многообразия изготавливаемых деталей не существует.

В связи с этим, в каждом отдельном случае для конкретных деталей подбирают тот или иной метод, в наибольшей мере удовлетворяющий требованию повышения их эксплуатационных характеристик, учитывая его экономическую целесообразность.

3. Анализ основных исследований и публикаций по данной проблеме

Для получения высокой твердости поверхностного слоя детали с сохранением вязкой сердцевины, что обеспечивает защитные свойства поверхности с механической прочностью основы, применяют поверхностную закалку или химико-термическую обработку. Среди ряда методов поверхностной закалки (в расплавленных металлах, электроток высокой частоты, пламенная закалка), в практике наиболее широкое применение нашел способ высокочастотной закалки при нагреве поверхностного слоя детали переменным током высокой частоты (ТВЧ).

К основным преимуществам данного метода можно отнести: возможность контролировать глубину закалённого слоя от долей миллиметра до 10мм, минимальное коробление. Закалка ТВЧ применяется только в массовом и крупносерийном производстве из-за высокой стоимости оборудования и самого технологического процесса [2].

Одним из направлений повышения износостойкости деталей является создание на их поверхностях слоев химических соединений, свойства которых отличаются от свойств основных металлов. К такой категории методов следует отнести: цементацию, азотирование, хромирование и ряд других, которые в основном находят применение в машиностроении преимущественно для улучшения противозадирных и антифрикционных качеств деталей машин, которые работают в тяжёлых условиях трения.

При цементации, в результате насыщения поверхностного слоя деталей углеродом, получается высокоуглеродистый поверхностный слой (0,5-2,5мм) и мягкая сердцевина [3].

Основной недостаток цементации – возникновение в поверхностном цементированном слое напряжений сжатия, а в сердцевине – напряжений растяжения, что приводит к значительной деформации детали.

Процесс азотирования (диффузионное насыщение азотом поверхностей стальных деталей) проводят при температуре 500-600°С в шахтной электрической печи. Продолжительность выдержки в зависимости от требуемой глубины слоя и температуры процесса задают из расчёта 15ч на 0,1мм азотированного слоя.

В результате наличия в азотированном слое остаточных напряжений сжатия предел выносливости деталей значительно повышается.

Азотированию подвергаются детали, от которых требуется высокая износостойкость и микротвёрдость поверхностного слоя и стойкость к коррозии.

В последнее время получил распространение в промышленности процесс азотирования ионизированным азотом в плазме тлеющего разряда – ионное азотирование (ИА).

Преимущества данного метода по сравнению с обычным жидкостным и газовым азотированием состоит в возможности целенаправленного контроля структуры получаемого поверхностного слоя, меньшее коробление, экологическая безопасность процесса, сокращение продолжительности обработки.

Борирование – процесс диффузионного насыщения поверхности детали соединениями бора в виде боридов железа, применяют для повышения износостойкости деталей в том числе работающих при знакопеременных и ударных нагрузках или в агрессивных и абразивных средах.

Технологический процесс хромирования обычно используют для повышения жаро-, износо-, кавитационной и коррозионной стойкости деталей машин в машиностроительной, химической, приборостроительной и других отраслях промышленности. Хромирование повышает окалиностойкость. Твёрдость хромированного слоя повышается с увеличением содержания углерода и может достигать HV1300 при глубине слоя до 0,3мм.

Недостатком метода являются: малая толщина слоя при большой продолжительности и сложности процесса, коробление деталей.

Металлизация напылением заключается в распылении расплавленного металла струёй сжатого воздуха и осаждении его на предварительно подготовленную поверхность детали.

Несмотря на достаточную простоту и производительность, метод имеет существенные недостатки: высокая пористость (до 10%), снижение сопротивления усталости, неудовлетворительная работа в условиях трения без смазки. Применяется, как правило, для восстановления шеек валов, коленвалов, вкладышей подшипников и т.п.

Для упрочнения и нанесения защитных покрытий в машиностроении применяют метод ЭЭЛ – перенесение легирующего материала анода на легируемую поверхность при искровом разряде в воздушной среде. Этим методом можно в широких пределах изменять механические, термическая, и другие свойства рабочих поверхностей деталей.

К основным особенностям ЭЭЛ следует отнести локальную обработку поверхности, высокую прочность сцепления нанесенного материала с основой, отсутствие необходимости специальной подготовки поверхности [4].

Недостатками метода являются: возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, снижение усталостной прочности.

Метод лазерного термоупрочнения поверхности детали основан на использовании явления высокоскоростного разогрева металла под давлением лазерного луча до температур, превышающих температуру фазовых превращений и последующего высокоскоростного охлаждения за счёт отвода тепла с поверхности в основную массу металла [5].

При обработке лучом лазера, как и при обычной закалке, в поверхностном слое образуется мартенсит и остаточный аустенит. Микротвёрдость в зоне обработки повышается за счёт того, что в зоне быстрого нагрева и охлаждения образуется более мелкозернистый мартенсит. Глубина упрочненного слоя достигает 0,2мм.

К преимуществам можно отнести: возможность высокопроизводительного упрочнения локальных участков деталей в местах их интенсивного износа; отсутствие деформации детали и возможность обработки без увеличения шероховатости, что создает возможность исключить финишную обработку.

Недостатки метода: невозможность восстановления размеров изношенных участков, низкая производительность упрочнения больших площадей поверхности, необходимость в сложной оснастке.

4. Результаты исследований

Поверхностное пластическое деформирование, основанное на механическом методе холодного упрочнения, выполняется с целью повышения сопротивления усталости и твердости поверхностного слоя металла и формирования в нем направленных внутренних напряжений, преимущественно сжимающих напряжений, а также регламентированного рельефа микронеровностей на поверхности.

Наклёп (уплотнение) поверхностного слоя металла способствует повышению износостойкости деталей, уменьшает смятие и истирание поверхностей при наличии их контакта, и взаимное внедрение поверхностных слоев, возникающее при их механическом и молекулярном взаимодействии.

Имеются следующие способы поверхностного пластического деформирования: поверхностное обкатывание (раскатывание) роликом или

шариком, поверхностное дернование, дробеструйная обработка, чеканка, вибрационная обработка.

Сказанные способы обработки деталей имеют следующие преимущества перед другими: простота технологического процесса, небольшая трудоемкость, возможность упрочнения деталей любой формы и размеров, возможность изменения глубины упрочнения, высокая твердость упрочненных слоев.

Наиболее эффективными и перспективными, с точки зрения дальнейшего развития и использования, являются методы динамического упрочнения, базирующиеся на динамическом воздействии (ударе) инструментов или инструмента с обрабатываемой поверхностью деталей. Характерные представители этой группы методов – дробеструйная обработка и вибрационная упрочняющая обработка.

Сущность дробеструйной упрочняющей обработки состоит в том, что на подлежащую обработке поверхность детали направляется поток движущийся с большой скоростью дроби, которая при соударении пластически деформирует обрабатываемую поверхность детали. Основное преимущество дробеструйной обработки – сочетание высокой производительности процесса с обеспечением высокого уровня показателей качества упрочняющей обработки (толщина упрочнённого слоя при обработке деталей до 1мм, степень наклепа 35...40%, уровень остаточных напряжений сжатия в материале поверхностного слоя детали – до 750...800МПа).

Основой вибрационного упрочнения является динамический характер протекания процесса, сопровождающийся множеством микроударов частиц обрабатывающей среды по поверхности обрабатываемой детали и обеспечивающий пластическое деформирование поверхностного слоя.

Наиболее наглядны преимущества методов виброупрочнения при обработке деталей сложной конфигурации, упрочнении внутренних поверхностей деталей, обработке больших партий мелких деталей.

Методы ППД, принадлежащие к группе динамического упрочнения, благодаря наличию ударного взаимодействия инструмента с деталью, в сравнении с другими методами, обеспечивают более высокую степень упрочнения и уровень остаточных напряжений сжатия, что, в конечном итоге, способствует повышению усталостной прочности деталей, в особенности, подвергаемых в процессе эксплуатации знакопеременным циклическим нагружениям.

Высокая производительность методов упрочнения этой группы способствовала их распространению как в различных отраслях машиностроения, так и в ремонте производстве при восстановлении деталей машин.

Вибрационная обработка деталей способствует повышению пластичности их материала. На пластичность оказывает влияние не только схема главных напряжений, но и абсолютная их величина, которая характеризуется средним давлением. Чем больше абсолютная величина, которая характеризуется средним давлением. Чем больше абсолютная величина среднего давления сжатия, тем выше пластичность. Это можно объяснить тем, что при высоком давлении металл уплотняется, всевозможные нарушения целостности ликвидируются,

межкристаллическая деформация затрудняется, а внутрикристаллическая облегчается, что увеличивает пластичность и сопротивление деформации [6].

Установлено, что чем меньшую роль в схеме главных напряжений играют растягивающие напряжения и чем большую – играют сжимающие, тем большую способность к пластической деформации проявляет металл.

Следует отменить, что в настоящее время существует большое количество различных методов повышения поверхностных слоев деталей, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки (таблица).

Таблица. Достоинства и недостатки технологических методов повышения качества поверхностных слоев.

Характеристика качества поверхностного слоя	Методы повышения качества поверхностного слоя
Достоинства	
1. Повышение твердости	Закалка ТВЧ, цементация, термодиффузионное хромирование, наплавка, вибрационная обработка
2. Повышение износостойкости	Вибрационная обработка, цементация, азотирование, термодиффузионное хромирование, гальванопокрытия, ЭЭЛ
3. Повышение коррозионной стойкости	Вибрационная обработка, ИА, азотирование, термодиффузионное хромирование, гальванопокрытия, ЭЭЛ
4. Возможность восстановления изношенных поверхностей	Вибрационная обработка, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, ЭЭЛ
5. Повышение усталостной прочности	Вибрационная обработка, закалка ТВЧ, цементация, ИА, термодиффузионное хромирование, ППД
6. Снижение шероховатости	Вибрационная обработка, ППД
7. Экологическая безопасность	Вибрационная обработка, ТВЧ, ИА, ППД, ЭЭЛ
Недостатки	
1. Коробление	Закалка ТВЧ, цементация, ИА, термодиффузионное хромирование, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением
2. Увеличение шероховатости	Наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, ЭЭЛ
3. Снижение усталостной прочности	Наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением, ЭЭЛ
4. Невозможность восстановления изношенных поверхностей	Закалка ТВЧ, цементация, азотирование, ИА, термодиффузионное хромирование
5. Повышенная экологическая безопасность	Цементация, азотирование, термодиффузионное хромирование, наплавка, гальванопокрытия, металлизация напылением

5. Выводы

Проведенные исследования, позволили, обоснованно, из всех рассмотренных методов повышения качества поверхностных слоев деталей выделить, как наиболее перспективный, метод вибрационного упрочнения, который обладает практически всеми достоинствами перечисленных выше методов, а во многих случаях превосходит их.

Список литературы: 1.Постанова Кабінету Міністрів України від 30 травня 2007 р. № 785 "Про затвердження Державної цільової програми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі на період до 2011 року". 2. *Гуляев А.П.* Металловедение / А.П. Гуляев. –М.: Металлургия, 1977. – 646 с. 3.*Полевой С.Н.* Упрочнение металлов/ С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. –М.: Машинностроение, 1986. – 319 с. 4.*Верхутов А.Д.* Технология электроискрового легирования металлических покрытий/ А.Д. Верхутов, И.М. Муха. –К.: Техника, 1982. – 181 с. 5.*Коваленко А.Д.* Упрочнение деталей пучком лазера/ А.Д. Коваленко, Л.Ф. Головкин, Г.В. Меркулов, А.И. Стрижак. К.: Техника, 1981. – 131 с. 6.*Дудніков І.А.* Розрахунок напруженого стану відновлюваних циліндричних деталей / І.А. Дудніков, О.І. Біловод // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця. - 2005. – №1.-35-37.

Поступила в редколлегию 27.08.2011

УДК 66.087.2 : 544. 567

І.А.КРАВЕЦЬ, докт.техн.наук, проф., голов. наук. співр., Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ

А.П. АНДРІЄВСЬКИЙ, канд. військ. наук, ст. наук. співр. науково-дослідного відділу, підполковник, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

М.О. МИКОЛЕНКО, нач. управління, полковник, управління Північного територіального командування внутрішніх військ Міністерства внутрішніх справ України, Київ

І.П. МУСІЄНКО, інспектор Головної технічної інспекції Міністерства оборони України, підполковник, Головна технічна інспекція Міністерства оборони України, Київ

СПОСІБ ЗБІЛЬШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

В статті обґрунтовано рекомендації щодо застосування електромагнітної й електрохімічної технології з метою збільшення терміну використання експлуатаційних матеріалів, покращення технічного стану та збільшення експлуатаційного ресурсу пар тертя агрегатів транспортних засобів військових формувань України.

Ключові слова: технічний стан, пара тертя, експлуатаційні матеріали

В статье обосновано рекомендации по применению электромагнитной и электрохимической технологии с целью увеличения срока использования эксплуатационных материалов, улучшения технического состояния и увеличения эксплуатационного ресурса пар трения агрегатов транспортных войсковых формирований Украины.

Ключевые слова: техническое состояние, пара трения, эксплуатационные материалы