

профилю и шагу поверхность зубьев обязательно шлифуется. Для снятия положительных напряжений на поверхности зуба после шлифования ее подвергают обязательному пластическому упрочнению (дробеструйный наклон). Перспективна технологическая операция виброшлифование на специальных виброустановках. Все технологические операции позволяют снизить высоту микронеровностей поверхности до $R_a \approx 0,2$ мкм, повысить контактную и изгибную прочность, противозадирную стойкость и сопротивление изнашиванию.

За счет повышения коэффициента перекрытия в косозубых передачах за счет увеличения длины контактных линий жесткость в зацеплении косозубой передачи будет выше, чем в прямозубой. Тогда при одинаковой степени точности расчетная динамическая добавка при высоких скоростях будет больше. Но при этом окружная скорость, когда колеса достигают максимальной динамической добавки будет больше у косозубых цилиндрических передач.

Перспективный путь снижения коэффициента динамичности – это уменьшение жесткости зацепления за счет применения «высоких» зубьев, то есть применения колес с коэффициентом торцового перекрытия больше двух. Технологический прием – поднутрение зубьев для выхода шлифовального круга также снизит жесткость зацепления. Все это можно оценить, применяя информационные технологии для расчета на прочность. Также используя эти методы можно дать рекомендации по применению степени точности, для реализации коэффициента торцового перекрытия больше двух.

Еще можно отметить эффект снижения коэффициента динамичности до единицы при высоких скоростях, который наблюдается при испытаниях. Это можно объяснить тем, что время в контакте зуба меньше времени деформации. И при достаточном нагружении, при высокой скорости, при 5 или 6 степени точности изготовления коэффициент динамичности можно принимать равным единице.

УДК 531.7:681.5

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОПАТОК ТУРБИН

Алексенцев Е.И.¹, Шаврин П.А.², Федосеев О.Б.²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²Тольяттинский государственный университет

AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING GEOMETRIC PARAMETERS OF TURBINE BLADES

Aleksentsev E.I., Shavri P.A., Fedoseev O.B. The problem of developing the automated system for measuring geometric parameters and surface quality of turbine blades is considered. Two approaches are in the basis of the concept. The first one is a deep modernization of existing POMKL by its equipment with differential sensors and control and identification system. For further processing the signals are integrated into real-time environment of Matlab/Simulink. The high resolution and sensitivity in combination with the relative simplicity of implementation give a conceptual framework for creating high-speed multi-channel measurement system. Alternative solution provides an optical system for monitoring the processing quality of curved surfaces, designed on the principle: a movable light source - a satellite receiver. Both the systems in conjunction with the devices for measuring roughness such as portable profilometer can be mutually reinforcing components of a unique automated measurement system for evaluation the geometric parameters and quality of turbine blades.

Как известно, лопатки турбин компрессорных установок и газотурбинных двигателей отличаются достаточно сложной геометрией с изменяющимися параметрами

кривизны и кручения вдоль поверхности. При этом неточности изготовления, приводящие к отклонениям основных параметров от расчетных величин, вызывают появление

недопустимых колебаний рабочего тела при эксплуатации, что, в свою очередь, ведет к увеличению расхода топлива, значительному усилению шума, снижению надежности и, как следствие, сокращению срока службы установки. В условиях усиливающейся конкуренции и ужесточения требований международных стандартов отмеченные обстоятельства играют доминирующую роль для сохранения существующих и освоения новых потребительских рынков. Задача измерения геометрических характеристик существенно осложняется достаточно широким номенклатурным рядом изготавливаемых лопаток, различающихся в несколько раз по своим основным параметрам. При этом даже в условиях мелкосерийного производства по многим позициям счет идет на тысячи.

В этой ситуации очевидную актуальность представляет задача разработки достаточно универсальной автоматизированной системы измерения геометрических параметров и качества обработки поверхности лопаток турбин, обладающей необходимыми точностью и быстродействием для обеспечения требуемой интенсивности технологического процесса и, в конечном счете, повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции.

В качестве одного из подходов к решению этой задачи предлагается автоматизированная измерительная система контроля геометрии лопаток на основе глубокой модернизации хорошо зарекомендовавших себя на протяжении ряда лет, однако устаревших, приборов оптико-механического контроля лопаток (ПОМКЛ). Иначе говоря, существующие ПОМКЛ оснащаются дифференциальными электромеханическими датчиками с системой обработки и отображения информации (СООИ). Ядром СООИ является модуль предварительной обработки сигнала датчика, представляющий собой, по сути, быстродействующий идентификатор параметров системы «датчик - измеряемый объект», построенный на принципах нелинейной адаптации с применением алгоритмов управления и идентификации на предельных циклах. Существенная особенность применяемых алгоритмов состоит в нечувствительности замкнутой системы к параметрической неопределенности и, в частности, к неточности изготовления датчика, а также в инвариантности к различным внешним воз-

мущениям, включая температурные колебания, запыленность, изменения влажности, влияние внешних электромагнитных полей и т.д. При этом совокупный коэффициент усиления по каждому каналу, определяющий разрешающую способность и чувствительность прибора, может достигать 120-140 дБ и более. В сочетании с относительной простотой реализации принципиальной схемы, эквивалентной нескольким операционным усилителям, это обстоятельство дает концептуальную основу для создания высококачественной быстродействующей многоканальной измерительной системы.

Для дальнейшей обработки сигналы отклонений измерительных щупов дифференциальных датчиков интегрируются в вычислительную среду среды Matlab/Simulink с помощью комплекса программно-аппаратных средств реального времени Real-Time-Windows-Target или xPC-Target. Причем последний выполнен в виде одноплатного компьютера в минимальной комплектации, ориентированного исключительно на целевые приложения. Мощные вычислительные и графические возможности пакета Matlab/Simulink предоставляют широкое поле для приложений в части обработки измеряемого сигнала и определения геометрических характеристик поверхности, таких как параметры кривизны, кручения и т.д., в том числе, в реальном времени.

Вариант реализации измерительной системы предусматривает создание единого приложения для отображения основных геометрических характеристик в удобном для пользователя интерфейсе в виде исполняемого файла без привязки к какому-либо специализированному программному обеспечению.

Одним из существенных недостатков предлагаемой конструкции, наряду с ее очевидными преимуществами, является дискретный характер проводимых измерений. Понятно, что высшие гармонические составляющие отклонения от номинального профиля в этом случае могут быть определены с точностью до шага размещения датчиков в каждом измерительном сечении и, собственно, шага дискретизации самих измерительных сечений. Как следствие, одна из важнейших характеристик качества обработки поверхности – волнистость – может быть оценена в ограниченном объеме, не говоря

уже о получении регулярных функциональных зависимостей волнистости вдоль основных направляющих лопатки. Эти зависимости несут важную информацию об изменении упруго-колебательных свойств системы «станок – деталь» в ходе обработки и могут быть использованы для текущей настройки режимов работы технологического оборудования.

Альтернативный вариант решения задачи оценки геометрии лопатки, лишенный указанных недостатков, однако обладающий, возможно, меньшим быстродействием, представляет систему оптического мониторинга качества обработки криволинейной поверхности, построенную по принципу: подвижный источник света – приемник-сателлит. В этом случае, если при сканировании поверхности источник света, например, лазерный светодиод формирует семейство параллельных прямых, то приемник-сателлит, следуя за отраженным лучом будет описывать некоторое семейство кривых линий, дающее полную геометрическую характеристику поверхности, включая параметры волнистости, а при большом разрешении и шероховато-

сти. По сути, появляется возможность получения в целом или в части некоторого аналитического отображения, однозначно характеризующего всю технологическую цепочку процесса производства детали вплоть до конечной операции. Реализация предлагаемого принципа может быть осуществлена в декартовой или цилиндрической системе координат.

В то же время, при всей своей очевидной универсальности предлагаемая система оптического мониторинга обладает ограниченным быстродействием, сопоставимым со скоростью печати на струйном или матричном принтере. Тем не менее, обе рассматриваемые системы в сочетании с приборами измерения шероховатости, например, портативными профилометрами могут стать взаимодополняющими компонентами единого измерительного комплекса оценки геометрии и качества обработки поверхностей лопаток турбин, как, впрочем, и любых других криволинейных поверхностей.

УДК 621.436

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКТИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК В ТВС НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Русаков М.М., Бортников Л.Н., Павлов Д.А., Петров Р.Э.

Тольяттинский государственный университет

Несмотря на существование различных энергоэффективных электрических и гибридных, в том числе использующих нетрадиционные термодинамические циклы (циклы Аткинсона, Миллера, Стирлинга), транспортных силовых установок, традиционные двигатели внутреннего сгорания по-прежнему остаются конкурентоспособными. Что обусловлено рядом причин, таких как отработанная технология проектирования, производства, сравнительно низкая стоимость единицы продукции, развитая инфраструктура обслуживания, а так же имеющийся потенциал их дальнейшего развития. Достаточно эффективным подходом к повышению топливной экономичности ДВС

считается их перевод на питание бедными смесями, однако известные методы, такие как непосредственный впрыск топлива, послойное разделение заряда и т.д. не обеспечивают дешевизны конструкции, простоты обслуживания, запуска при низких температурах окружающей среды, требуемого ресурса [1].

Более перспективным, но менее изученным и апробированным способом является применение малых добавок к основному топливу, промоторов, увеличивающих химическую активность топливовоздушной смеси, полноту и скорость сгорания, что в свою очередь приводит к повышению КПД двигателя и снижению концентрации нормируе-