

Общая экономия от применения разработанного механизма составила 990 тыс. руб./год. При этом сократилось потребление воды на 130 т/год, солянки на 26 т/год и хром лоскута кожи на 120 кг.

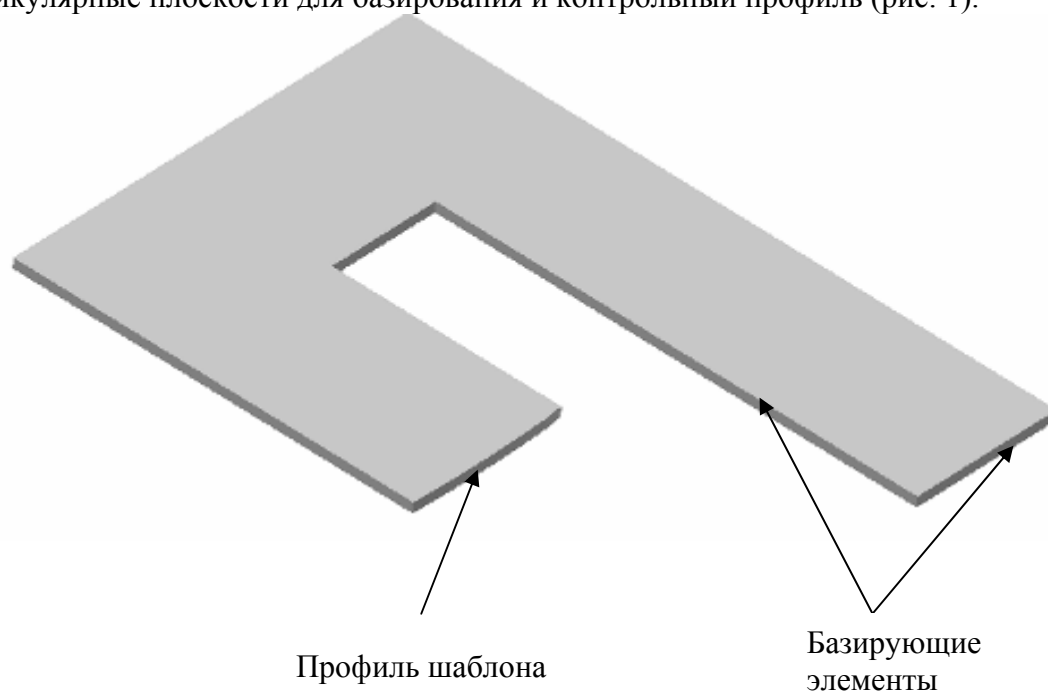
### **Контроль шаблонов по математическим моделям на модернизированном микроскопе**

к.т.н., проф. Суслин В.П., Шутер М.Г.  
МГТУ «МАМИ»

*Модернизация микроскопа включает установку оптических отсчетных систем по координатам  $X$ ,  $Y$ , оснащение персональным компьютером и современной измерительной программой GeoАРМ-2D, замену объектива контактной измерительной головкой фирмы Renishaw. Применение микроскопа в режиме контактных измерений имеет существенные преимущества: снижается нагрузка на оператора, повышается производительность его работы и объективность результатов контроля. Указанные преимущества особенно ощутимы при контроле шаблонов по математическим моделям.*

На предприятиях, выпускающих газотурбинные двигатели, в производстве лопаток задействовано большое количество шаблонов для контроля сечений. Шаблоны после изготовления и периодически в процессе эксплуатации проходят метрологическую проверку на правильность геометрии.

Шаблон изготовлен из листового металла толщиной 4-5 мм, имеет две узкие, взаимно перпендикулярные плоскости для базирования и контрольный профиль (рис. 1).



**Рис. 1. Конструкция шаблона.**

В измерениях шаблон рассматривается как плоская конструкция, в которой базисуемые элементы являются прямыми, а профиль шаблона представляет собой плоскую кривую. При этом профиль шаблона задан на чертеже таблично координатами  $X$ ,  $Y$  его точек.

Система координат шаблона выстроена следующим образом: ось  $X$  направлена по более длинной из базисуемых прямых, а начало координат находится в точке пересечения базисуемых прямых. Именно в этой системе координат определен на чертеже профиль шаблона.

Традиционно для контроля шаблонов используются инструментальные микроскопы.

Расположением шаблона и настройками микроскопа устанавливается система координат микроскопа так, чтобы она совпала с системой координат шаблона. Затем с помощью микроподачи устанавливается координата  $Y$  табличной точки, а микроподачей по оси  $X$  визир микроскопа позиционируется на кромке профиля шаблона. Значение координаты  $X$  списывается с цифрового индикатора или с экрана компьютера и определяется его отклонение от номинального значения. Эти операции проводятся для всех табличных точек, число которых может достигать до нескольких десятков. На основании полученных отклонений делается вывод о годности или негодности шаблона.

Описанный процесс контроля шаблонов чрезвычайно трудоемок, напрягает зрение оператора, не обеспечивает высокой точности измерений. Поэтому возникла идея усовершенствовать его за счет модернизации микроскопа и применения специального программного обеспечения.

Модернизация заключалась в замене объектива контактной измерительной головкой фирмы Renishaw, которая используется на координатно-измерительных машинах, установке оптических линеек фирмы СКБ ИС по осям  $X$ ,  $Y$  измерительного процессора и блока сопряжения с персональным компьютером, разработанных в лаборатории САПР. В качестве программного обеспечения использованы разработанные в лаборатории САПР пакет ГеоАРМ-2D – двумерная версия измерительной программы ГеоАРМ и пакет ГеоКон для контроля по математическим моделям, доработанный для выполнения операций строго в плоскости [1], [2].

После модернизации микроскоп прошел метрологическую аттестацию по специально разработанной программе для определения предельных погрешностей ощупывающей головки и измерения длины.

Погрешность ощупывающей головки определена путем статистической обработки результатов измерений окружности по 20 точкам образцового кольца в 16 положениях на столе, расположенным равномерно по плоскости стола. Она составила  $\pm 1,2$  мкм.

Определение погрешностей измерений длины производилось путем измерений концевых мер длины (КМД), располагаемых параллельно координатным осям и по двум диагоналям плоскости измерений. Вдоль каждой координатной оси КМД располагались в трех положениях: в центре стола и на краях рабочей зоны. По диагоналям КМД располагались в центре стола.

В каждом положении производилось измерение КМД следующих длин:

- вдоль оси  $X$  и по диагоналям 20, 40, 60, 80, 150 мм;
- вдоль оси  $Y$  20, 40, 60, 80 мм.

Измерение длины КМД проводилось путем определения расстояния между прямой и точкой, измеренных на рабочих плоскостях КМД. Расстояние было скомпенсировано на диаметр наконечника.

Каждая КМД в конкретном положении измерялась три раза с определением каждый раз ошибки измерения длины  $\Delta i(L_j)$  мкм, где  $i$  – номер измерения КМД,  $L_j$  – длина  $j$ -ой КМД.

В результате статистической обработки результатов измерений были определены коэффициенты формулы для предельной погрешности прибора в зависимости от измеряемой длины:

$$\Delta = \pm (2,2 + L/70) \text{ мкм, где } L - \text{измеряемая длина в мм.}$$

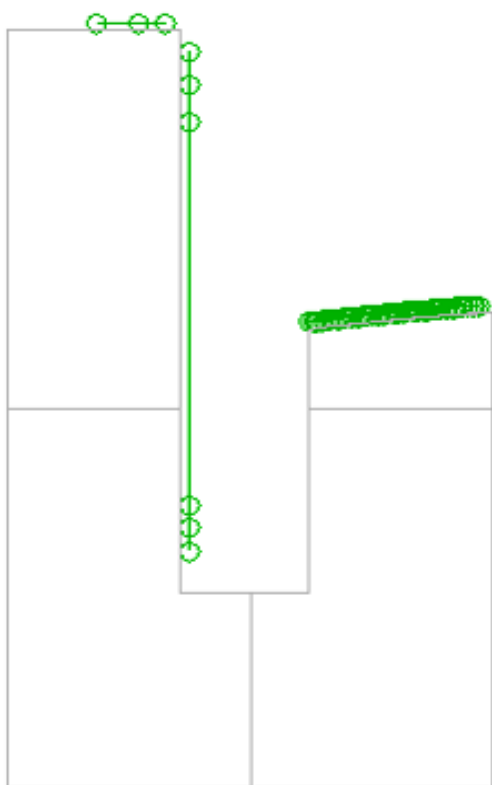
Полученные метрологические характеристики допускают применение прибора для контроля шаблонов, верхний и нижний допуски у которых равны соответственно 0.000 мм и  $-0.010$  мм.

Процесс контроля шаблона на модернизированном микроскопе производится следующим образом. Шаблон закрепляется на столике микроскопа. Запускается программа ГеоАРМ-2D, с помощью которой выполняются последующие действия. Производится измерение двух базирующих прямых путем касания соответствующих плоскостей наконечником контактной измерительной головки с компенсацией радиуса наконечника. Находится точка пересечения прямых. Начало системы координат измерений помещается в эту точку, а ось  $X$

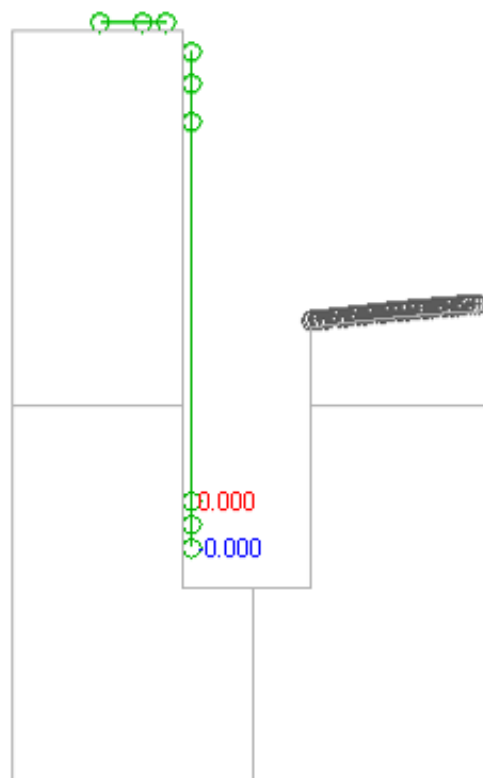
устанавливается по более длинной прямой. Затем производится измерение произвольных точек профиля шаблона в режиме полигона (ломаной линии). Точки измерения вдоль каждой из прямых также преобразуются в полигон. Координаты точек трех полигонов выводятся в файл для контроля по математической модели.

Запускается программа ГеоКон, которая читает из файла математическую модель шаблона в формате IGES или STL, и из другого файла – координаты точек обмера шаблона. Если математическая модель шаблона создана в той же системе координат, в которой проводились обмеры шаблона, то точки обмера и математической модели сразу оказываются совмещены, как показано на рис. 2, где кружочками обозначены положения наконечника измерительной головки.

Сначала требуется оценить правильность базирования. Для этого нужно сделать неактивными обмеры профиля шаблона и посмотреть только отклонения в точках обмера базисуемых элементов (рис. 3). На диаграмму отклонений выведено значения максимального и минимального отклонений от математической модели точек обмера базисуемых элементов.



**Рис. 2. Математическая модель и точки обмера.**



**Рис. 3. Отклонения базисуемых элементов.**

В данном случае отклонения менее 1 мкм, поэтому можно считать, что базирование при измерениях шаблона выполнено с высокой точностью.

Теперь нужно сделать активными обмеры профиля шаблона и посмотреть его отклонения от математической модели. Получим диаграмму, показанную на рис. 4.

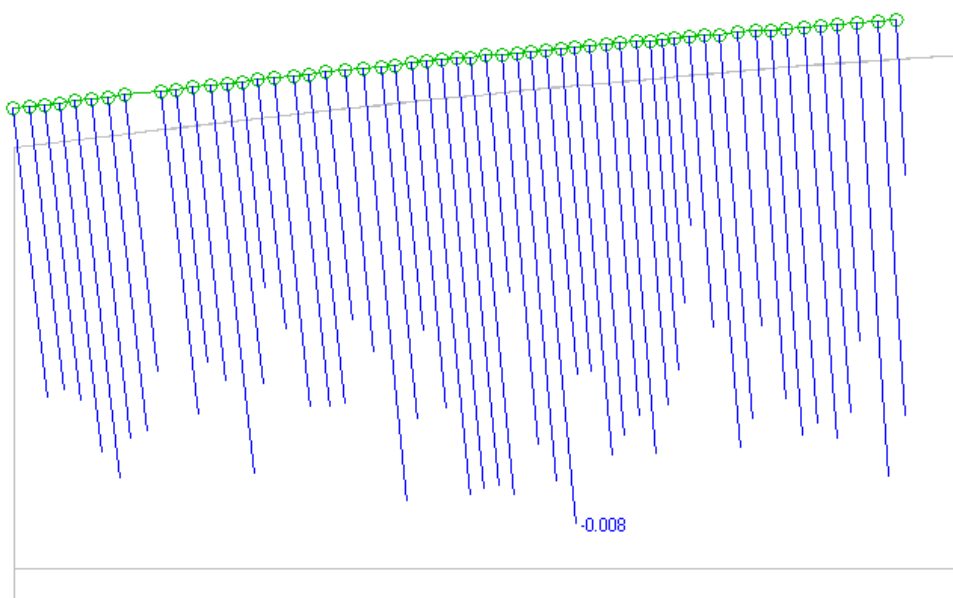
Все отклонения точек профиля шаблона отрицательные (в тело шаблона), минимальное отклонение составляет – 8 мкм при допустимом – 10 мкм, следовательно, шаблон признается годным.

Диаграмма отклонений может быть выведена на принтер в виде отчета о геометрическом контроле с соответствующими реквизитами: наименование и шифр детали, верхний и нижний допуски, дата и время и т.д. Графический отчет является наглядным и убедительным производственным документом.

Контроль шаблонов на модернизированном микроскопе в режиме контактных измерений имеет существенные преимущества по сравнению с контролем в оптическом режиме:

- Производительность в несколько раз выше.

- Комфортнее работать оператору – не требуется точное позиционирование по координатам X,Y и существенно ниже нагрузка на зрение.
- Результаты контроля более объективны, так как отсутствует субъективный фактор, имеющий место при позиционировании визира на кромке шаблона.
- На модернизированном микроскопе возможно выполнение любых линейных и угловых измерений плоских деталей. Большие преимущества дает применение измерительной программы ГеоАРМ-2D, имеющей все функции современного программного обеспечения координатно-измерительных машин, адаптированной для измерений в плоскости.



**Рис. 4. Диаграмма отклонений профиля шаблона.**

Что касается контроля по математическим моделям, то, кроме шаблонов, возможно его применение для копиров, вырубных штампов и других деталей с криволинейными контурами.

#### Литература

1. Суслин В.П., Макаров А.И., Джунковский А.В., Шутер М.Г. Программы измерений и контроля деталей автомобильной техники. //«Автомобильная промышленность», № 3, 2005 г., с.39-40.
2. Суслин В.П., Суслин А.В., Макаров А.И. Геометрический контроль изделий сложной формы. // "САПР и графика" № 9, 1999 г., с.76-78.

#### **Метод экспериментального исследования рабочей зоны магнитного сепаратора с получением прямых данных силы захвата**

д.т.н., проф. Сандуляк А.В., к.т.н., доц. Сандуляк А.А., Ершова В.А.,  
д.т.н., проф. Нюнин Б.Н., Пугачева М.Н.  
МГТУ «МАМИ»

*Опробованы различные (в том числе не зарекомендовавший себя баллистический) методы определения силовых характеристик рабочей зоны очистного аппарата. Разработан и реализован новый метод, основанный на принудительном дрейфе феррочастицы по дистанционно позиционируемой площадке сквозь эту зону (с последующим вычислением нормальной составляющей силы захвата)*

В сыпучих средах различных производств (сырье, готовая продукция) практически всегда содержатся ферровключения. Они ухудшают качество этих сред, уменьшают надежность и долговечность работы оборудования, отрицательно влияют на технологические и экологи-