

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ БАЗИРОВАНИЕМ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ**

*А.В. Щурова*

Изучена возможность восстановления шеек роторов турбин путем обработки изношенных поверхностей базированием их на обрабатываемую поверхность. Задача обусловлена необходимостью восстановления таких роторов непосредственно в местах их эксплуатации, что предполагает доставку туда оборудования. Станки для обработки валов в центрах имеют большую массу и габариты, поэтому рассмотрена возможность альтернативной бесцентровой обработки. Рассмотрены три возможных случая такой обработки и приведены результаты теоретических исследований, которые показывают возможность уменьшения отклонения от круглости шеек валов до 10 мкм.

Ключевые слова: восстановление шеек валов роторов турбин, базирование на обрабатываемую поверхность, имитационное моделирование.

**Введение.** В энергетике применяются роторы турбин, которые имеют большие размеры и массу. В ходе эксплуатации шейки валов этих роторов изнашиваются, и в некоторый момент времени их приходится извлекать из энергетических агрегатов. Величины износа обычно не превышают одного миллиметра, что делает возможным восстановление таких шеек в ремонт-

ном производстве. Известно, что рассматриваемые валы изготавливаются обработкой в центрах. Соответственно, наилучшим вариантом восстановления изношенных шеек был бы также вариант обработки в центрах. Однако обработка в центрах требует оборудования, масса и размеры которого существенны, что связано с обеспечением его жесткости и прочности, достаточных для закрепления тяжелого вала в этих центрах. Поскольку транспортировка роторов турбин имеет высокие затраты, то обычно сами станки доставляют к турбинам.

Для минимизации транспортных затрат все более находят применение малогабаритные станки, которые базируются и крепятся непосредственно на шейках валов. Недостаток данного подхода очевиден: изношенные шейки имеют собственные оси, которые теряют связь с общей осью вала. Такие же оси будут иметь и полученные после восстановления цилиндры шеек. Очевидно также, что вал, базирующие поверхности которого не связаны с его общей осью, будет функционировать хуже, чем вал, изготовленный в центрах. Для преодоления этой трудности предлагается произвести обработку изношенных шеек вала путем базирования его непосредственно на сами шейки.

Известные схемы расчета точности обработки, например, при бесцентровом шлифовании, не учитывают начальные погрешности формы заготовки, поскольку обычно в таких случаях начальные погрешности малы. Потому в литературе не удалось найти результатов исследований по влиянию при бесцентровой обработке начальной погрешности формы заготовки на полученные отклонения формы поверхности детали. Именно разработка необходимых для этого расчетных зависимостей и стала целью данного исследования.

**Расчетные схемы, принятые допущения.** Рассматривались три схемы обработки: точением с базированием шеек вала в призмах; фрезерованием торцовой фрезой с аналогичным базированием и шлифованием торцом цилиндрического абразивного инструмента с базированием на две роликовые опоры.

В исследованиях принимались следующие допущения. Предполагалось, что износ шейки вала приводит к образованию цилиндрической поверхности с направляющей линией в виде эллипса. Это предположение основано на результатах многолетних измерений изношенных шеек на электростанциях. Предполагалось, что в начальный момент времени обработки большая ось указанного эллипса располагается горизонтально. Поскольку трехмерное моделирование длинной заготовки все еще вызывает трудности в компьютерной реализации, учитывая цилиндрический вид заготовки, рассматривалась обработка не всего цилиндра заготовки, а только его радиального сечения (то есть пространственная задача была приведена к плоской). Соответственно, если заготовка базировалась в призмах (угол  $90^\circ$ ), то принимался вариант базирования сечения шеек на две точки. Если базирование было на ролики, то рассматривался вариант базирования на окруж-

ности – сечения этих роликов. Аналогичные допущения были приняты для инструментов: вершина резца описывалась в виде точки, торцовые поверхности фрезы и абразивного инструмента, которые располагались параллельно оси вала, – в виде прямых линий. Подача инструментов осуществлялась в вертикальном направлении в сторону заготовки. Упругие и тепловые деформации, износ инструментов, погрешности базирования инструментов и приспособлений в расчетах не учитывались.

Ставилась задача определить возможность и, если она существует, то и условия, при которых заготовка получит радиальное сечение круглой формы. Для исследований был выбран имитационный тип моделирования.

### **Описание имитационных моделей**

1. С заготовкой связывалась система координат заготовки (СКЗ). В этой системе профиль радиального сечения – эллипс задавался в виде двух уравнений в параметрической форме, куда вошли средний радиус сечения заготовки, эксцентриситет ее профиля и полярный угол радиус-вектора произвольной точки профиля указанного сечения.

2. Вводилась вспомогательная система координат (СКВ) с центром в системе координат заготовки и с осями, расположенными горизонтально и вертикально. В первый момент времени обработки указанные выше системы совпадали. В последующий момент, в соответствии с главным движением резания – движением вращения заготовки вокруг ее оси, последняя со своей системой поворачивалась на некоторый угол. Соответственно этому, использовались общеизвестные уравнения взаимосвязи систем координат при их повороте. Приведенные уравнения позволяли рассчитать точки профиля заготовки в произвольный момент времени ее поворота в СКВ.

3. Далее вводилась система координат, связанная с опорами и инструментом (СКИ). Начало такой системы было определено в горизонтальном направлении по оси симметрии призмы или двух роликов, а в вертикальном – на двух взаимно перпендикулярных линиях, проходящих через указанные опоры призм или аналогичное расположение роликов. Оси данной системы были расположены параллельно осям СКВ. Используя общеизвестные уравнения преобразования систем координат при их параллельном переносе, были найдены координаты профиля заготовки в СКИ. Такие уравнения включали подъем СКИ над опорами в зависимости от контакта заготовки и опор, при этом неотъемлемым условием расчета было условие касания профиля заготовки с указанными опорами.

4. На следующем этапе моделирования определялись координаты точек профиля исходной инструментальной поверхности в рассматриваемом сечении. Если такой профиль пересекал профиль заготовки, то с учетом этого рассчитывался новый ее профиль.

5. Процесс моделирования обработки повторялся, начиная с п.3, путем увеличения угла поворота заготовки на следующий шаг, вплоть до конца подачи инструмента.

Такое моделирование позволило найти координаты точек профиля радиального сечения заготовки к моменту окончания перемещения инструмента. Данный профиль и стал искомым профилем детали.

**Результаты расчетов профилей деталей на ЭВМ.** В соответствии с данной методикой расчета были разработаны три компьютерные программы. Для оценки получаемых профилей был использован пример обработки вала диаметром 300 мм и с эксцентриситетом 0,5 мм. Моделировалась обработка резцом, фрезой в призмах и абразивным инструментом на роликах диаметром 300 мм.

Расчеты показали, что оказывается достаточной обработка с несколькими оборотами заготовки, дальнейшее же увеличение числа ее оборотов при данных параметрах не приводит к повышению ее точности. Вместе с тем, увеличение максимального (итогового) перемещения инструмента вдоль направления его подачи, начиная с некоторой критической величины, приводит лишь к повышению отклонения от круглости. Наибольшее влияние на точность оказывают подача инструмента на оборот заготовки и расположение инструмента. Расчеты показали, что отклонение от круглости может быть уменьшено с начальных 0,5 мм до величин порядка 10 мкм.

#### **Выводы**

1. Имитационное геометрическое моделирование еще раз показало свою эффективность в исследовании процессов с заранее неопределенными параметрами движения элементов технологической системы.
2. Моделирование показало возможность снижения отклонения от круглости заготовок с исходной эллипсностью радиального сечения при фрезеровании их в призматических и роликовых опорах.
3. Установлено, что характер изменения величины отклонения от круглости в рассматриваемом процессе практически не зависит от количества оборотов заготовки, но существенно зависит от подачи инструмента на ее оборот.
4. Установлено, что существуют особые условия расположения инструмента, при которых можно добиться заметного снижения отклонения от круглости.

#### **Библиографический список**

1. Щурова, А.В. Имитационное моделирование обработки точением с базированием по обрабатываемой поверхности на две точечные опоры / А.В. Щурова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2013. – Т. 13. – № 1. – С. 86–90.
2. Щурова, А.В. Моделирование обработки фрезерованием шеек валов турбин базированием их на обработанную поверхность / А.В. Щурова // Технологическое обеспечение машиностроительных производств: Сб. науч. тр. I Межд. н-техн. конф. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 594–599.

[К содержанию](#)