

## **ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШЛИФОВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЛОПАТОК ТУРБИН**

### **1. Актуальность**

В условиях сильной конкуренции в энергетическом машиностроении производство становится все более наукоемким. Производители паровых и гидравлических турбин стараются различными способами повысить качество изготавливаемой продукции.

Лопаточный аппарат является самой ответственной и наиболее дорогой частью турбины и составляет 25-30 % общей трудоемкости производства турбин. К проектированию пера лопатки предъявляются повышенные требования по точности и качеству. Точность изготовления рабочей части составляет 0,1 мм. При моделировании закладывается точность расчета 0,001 мм. Вторым важным требованием является качество поверхности (чистота – 8-9-й класс – близка к зеркальной поверхности). Малейшая неровность, получившаяся при проектировании геометрии пера, будет многократно усилена при изготовлении лопатки.

Совершенствование технологии изготовления лопаток, изыскание новых более совершенных методов финишной обработки, обеспечение норм точности изготовления частей лопаток, а также снижение шероховатости поверхностей являются весьма актуальными задачами как с точки зрения повышения надежности и экономичности турбин, так и с точки зрения снижения их себестоимости.

**2. Цель работы:** обоснование применения технологического комплекса, обеспечивающего процесс многокоординатного глубинного шлифования (МГШ) для обработки лопаток турбин, имеющих длинные криволинейные поверхности, взамен традиционным технологиям обработки.

### **3. Задачи, решаемые в работе**

Сократить время шлифования криволинейных поверхностей лопаток турбин, за счет применения технологического комплекса с пятью одновременно управляемыми координатами и обеспечения плавных, непрерывных перемещений, которые так важны для осуществления такой обработки.

### **4. Основной материал**

При глубинном шлифовании профильных поверхностей лопаток турбин мы сталкиваемся с различными типами поверхностей, для каждого из которых характерна своя специфика обработки. Эти поверхности подразделяются на криволинейные выпуклые, криволинейные

вогнутые, конические выпуклые, конические вогнутые и плоские поверхности (рис. 1).



**Рис. 1** – Лопатки турбин различных ступеней

Как правило, детали сначала фрезеруются, а затем на ленточно-шлифовальном станке производится обработка до получения гладкой зеркальной поверхности. Однако ленточное шлифование крупногабаритных лопаток из жаропрочных сталей означает чрезвычайно высокие расходы на инструмент из-за интенсивного износа рабочей поверхности ленты и сложности инструментальной оснастки.

Широкое применение получил ручной способ шлифования и полирования лопаток, особенно последних ступеней турбин (рис. 2).



**Рис. 2** – Ручной способ шлифования лопаток

Недостатками данной технологии являются: длительные сроки обработки, грязные условия труда и требуемая высокая квалификация рабочего.

Обработку пара турбинных лопаток также ведут на 5-6 координатных обрабатывающих станках (центрах) зарубежных фирм, таких, как «STARRAG», «LIECHTI», «FERRARY» производства Италии, японских «OKUMA» и немецких «HAMUEL Maschinenbau» при этом такие станки достаточно узкоспециализированные (токарно-фрезерные) и дороги (рис. 3).



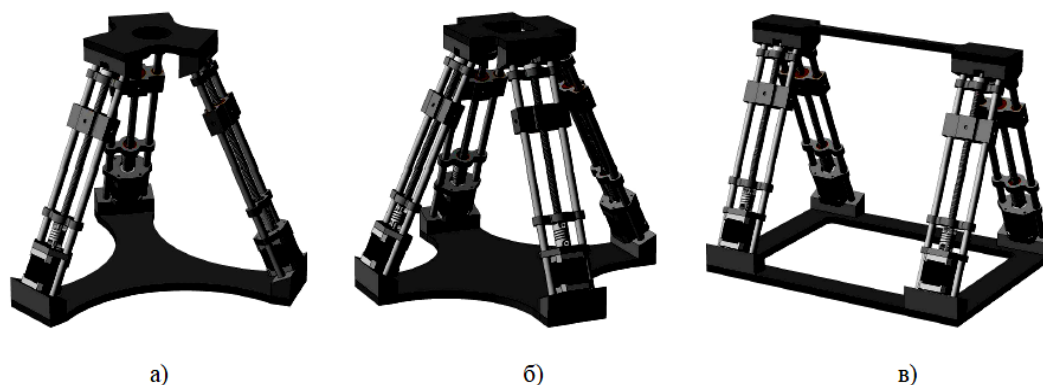
**Рис. 3** – Обрабатывающие центры ведущих зарубежных фирм

К сожалению, по известным причинам, отечественное станкостроение не может предложить достойную номенклатуру подобных станков.

Одним из выходов со сложившейся ситуации на наш взгляд является создание и внедрение станков с параллельной кинематикой на основе стержневых механизмов.

Подвижные стержневые каркасные механизмы позволяют создавать облегченные технологические машины для операций финишной обработки крупногабаритных турбинных лопаток.

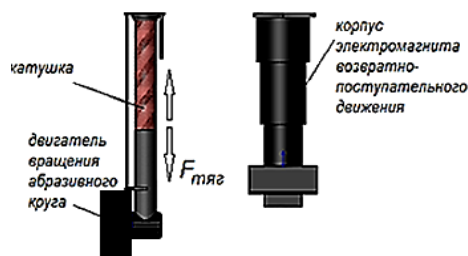
Как видно из рис. 4, основной частью каркасной конструкции является универсальный модуль линейного перемещения, который соединяет собой верхнее и нижнее основание станка, являясь одновременно и несущим элементом конструкции. Нижнее и верхнее основание являются индивидуальными для каждого типа конструкции. Это довольно простые детали и изготавливаются, как правило, за одну установку на станке с ЧПУ.



**Рис. 4** – Возможные варианты каркасных компоновок станков с применением универсального модуля: а – трехгранная пирамида; б – четырехгранная пирамида; в – клин.



**Рис. 5** – Станочное приспособление для крепления лопатки

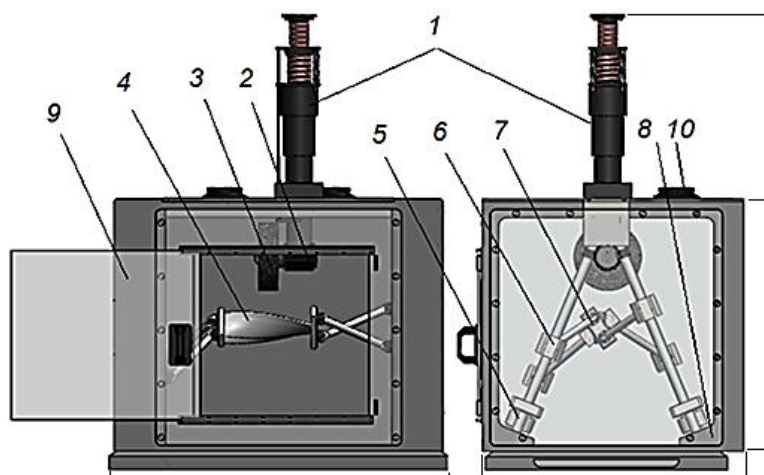


**Рис. 6** – Силовая головка с электромагнитным приводом подачи

Ориентирование лопатки в пространстве (до 5-ти координат) обеспечивается с помощью закрепленного на стержневом каркасе, приспособления (рис. 5) Двигатели (шаговые) универсального модуля, в зависимости от конфигурации рабочей части лопатки ориентируют обрабатываемый

объект таким образом чтобы обеспечит его постоянный контакт с шлифовальным кругом, расположенным на силовой головке (рис.6) с электромагнитным приводом подачи, которая обеспечивает необходимую силу прижима круга к обрабатываемой поверхности лопатки.

Концепция гибридного каркасного станка реализована в моделирующем пакете «SolidWorks» и показана на рис. 7.



**Рис. 7** – Предлагаемая компоновка станка для финишной обработки рабочей поверхности пера лопатки: 1 – силовая головка шлифовальная с электромагнитным приводом подачи; 2 – электродвигатель вращения абразивного круга; 3 – абразивный круг; 4- заготовка (лопатка); 5 – шаговый двигатель, обеспечивающий перемещение каретки 6; 7 – станочное приспособление для крепления заготовки; 8 – корпус станка; 9 – прозрачная дверца; 10 – вытяжка

### **Выводы**

Станки с параллельной кинематикой являются перспективной альтернативой традиционному металлообрабатывающему оборудованию. Пространственные МПС на штангах переменной или постоянной длины дают возможность обеспечить исполнительному органу до 6-и степеней свободы при неизменной структуре механизма, выполнять ускоренные линейные перемещения с одновременной ориентацией относительно объекта обработки, позволяют ИО станка выполнять точные манипуляции с объектом обработки, например, такие, как измерение, переустановка или перебазирование. Станки, построенные на основе пространственных винтовых стержневых систем с МПС способны заменить громоздкие обрабатывающие комплексы для крупногабаритных деталей, а в некоторых случаях вытеснить станки традиционной компоновки за счет своей многофункциональности, меньшей массы, повышенной жесткости.

### **Список использованных источников:**

1. Старков В. К. Шлифование высокопористыми кругами / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 2007. – 688 с.
2. Полетаев В. А. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога / В. А. Полетаев, Д. И. Волков. – М. : Машиностроение, 2009. – 272 с.
3. Кузнецов Ю. Н. Компоновки станков с механизмами параллельной структуры / Ю. Н. Кузнецов, Д. А. Дмитриев, Г. Е. Диневич ; под. ред. Ю. Н. Кузнецова. – Херсон : ЧП Вышемирский В. С., 2010. – 471 с.

**Кондратюк О.Л.** «Высокотехнологическое обеспечение шлифования сложнопровильных поверхностей крупногабаритных лопаток турбин».

В статье рассмотрены вопросы по применению прогрессивного метода обработки сложнопрофильных поверхностей лопаток турбин на многокоординатном шлифовальном станке с параллельной структурой.

**Ключевые слова:** лопатка, шлифование, финишная обработка, технологический комплекс, процесс, шероховатость.

**Кондратюк О.Л.** «Високотехнологічне забезпечення шліфування складнопрофільних поверхонь великогабаритних лопаток турбін».

У статті розглянуті питання по застосуванню прогресивного методу обробки складнопрофільних поверхонь лопаток турбін на багатокординатному шліфувальному верстаті з паралельною структурою.

**Ключові слова:** лопатка, шліфування, фінішна обробка, технологічний комплекс, процес, шорсткість

**Kondratyuk O.L.** “High-tech software complex-surface grinding of large turbine blades.”

The questions on the application of a progressive method of processing complex structure surfaces of turbine blades for multi-axis grinding machine with parallel structure.

**Key words:** blade, grinding, finishing, processing facility, a process roughness.

Стаття надійшла до редакції 16 травня 2013 р.