

УДК 621.923

А.И. ДОЛМАТОВ, М.А. КУРИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Украина*

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФИНИШНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Рассмотрены схемы ленточного шлифования пера лопаток компрессора, как основного метода окончательного формообразования сложных криволинейных трактовых поверхностей, а также альтернативные методы окончательной обработки. Приведены данные о возможностях принципиально новой многоцелевой САМ системы, позволяющей повысить точность и качество фрезерных операций. Оценена перспективность развития финишных методов обработки в авиадвигателестроении.

**финишная обработка, лопатка компрессора, ленточное шлифование, САМ система, фрезерование, ресурсосберегающие технологии, покрытия**

### Введение

Значительный объем ручных доводочных и полировальных работ при производстве лопаток компрессора, особенно крупногабаритных, повышает трудоемкость их изготовления. Помимо этого ручное полирование требует рабочих высокой квалификации, не обеспечивает стабильность выполнения технических требований чертежа, а в ряде случаев может приводить к прижогам, заполировыванию поверхностных дефектов и др. Таким образом, исследования, направленные на совершенствование существующих и поиск принципиально новых методов финишной обработки пера лопаток, являются актуальными и требуют соответствующего разрешения.

Одним из главных требований, которым должны удовлетворять данные методы обработки, является максимально возможное уменьшение либо полное исключение последующих трудоемких ручных операций.

**Формулирование проблемы.** В настоящее время на ведущих предприятиях отрасли, таких как ОАО “Мотор Січ” и ММПП “Салют” основным методом окончательного формообразования сложных криволинейных трактовых поверхностей лопаток компрессора является ленточное шлифование, ос-

новные схемы которого представлены на рис. 1. Однако характерные преимущества данного метода обработки нивелируются рядом недостатков, таких как: низкая стойкость водостойких лент, применяемых при обработке титановых сплавов; высокая стоимость инструмента; низкая производительность при строчечном методе обработки; потребность во вспомогательном времени для замены на станке изношенной ленты; непостоянство качества ленты на тканевой основе на протяжении цикла работы, что вызывает изменение многих параметров процесса обработки [1, 2].

### Решение проблемы

Альтернативными методами обработки пера лопаток компрессора, которые не имеют отмеченных выше недостатков, могут служить алмазное и электроалмазное шлифование.

Эти методы обработки прошли внедрение на ОАО “Мотор Січ” и ММПП “Салют”, где показали свою эффективность.

Так, согласно данным работы [1], существенной разницы в значениях и характере распределения напряжений на участках спинки и корыта пера лопатки после ленточного и после алмазного шлифования не выявлено.

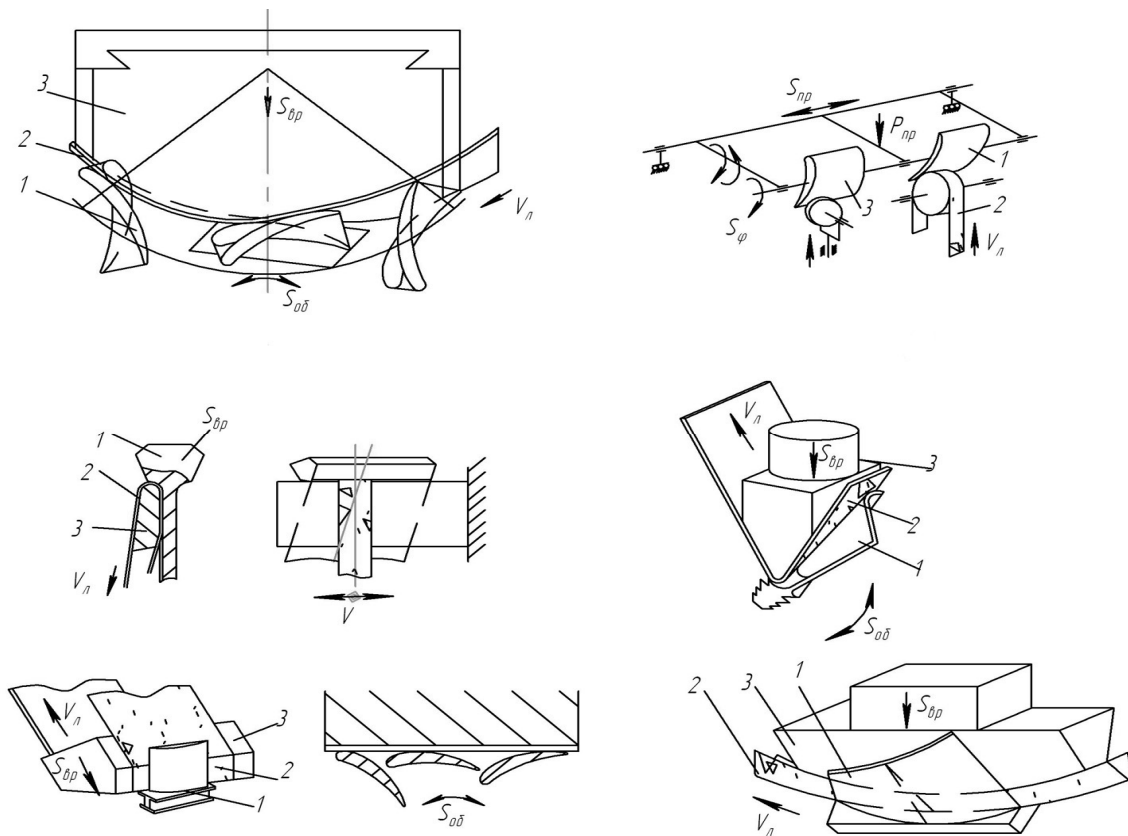


Рис. 1. Схемы процесса ленточного шлифования криволинейных поверхностей:  $S_{об}$  – подача обкатки;  $S_{np}$  – продольная подача;  $S_{\phi}$  – круговая подача;  $P_{np}$  – контактное давление;  $S_{вp}$  – подача на врезание;  $V_n$  – скорость ленты; 1 – лопатка; 2 – абразивная лента; 3 – копир

Результаты измерения остаточных напряжений первого рода в деталях из титановых сплавов BT5–1 и BT9 подтвердили целесообразность замены ленточного шлифования алмазным. Вызывает интерес разработанная в Цинциннати (штат Огайо, США) фирмой Teleflex Aerospace Manufacturing Group принципиально новая, многоцелевая САМ система [3], позволяющая вести обработку широкой номенклатуры деталей, применяемых в аэрокосмической технике.

Созданная Teleflex технология ориентировалась на производство центробежных и осевых моноколес и первоначально предполагала использование операций пятикоординатного фрезерования на черновом этапе для обработки ступиц и поверхности лопаток и электрохимической обработки (ЭХО) для чистовой обработки лопаток. Пятикоординатный

обрабатывающий центр с модулем MAX–AB, используемый на черновых операциях, обеспечивал съем основного припуска, а также оптимальную подготовку поверхности под дальнейшую ЭХО. Однако исследования фирмы Teleflex, направленные на совершенствование метода фрезерования, позволили достичь значительных результатов при обработке моноколес.

Так, по утверждению Арлона Стрингера (Arlon Stringer), главного менеджера Teleflex, им удалось объединить черновую и чистовую обработку, используя модуль MAX–AB.

Сотрудничество Teleflex с авиадвигателестроительной фирмой General Electric (GE), которая также использует модуль MAX–AB, позволило подключить к решению проблем повышения точности и качества фрезерных операций большой штат квали-

фицированных сотрудников, которые провели анализ, установили существенные преимущества новой САМ системы над используемой. Так, производимые одним из дочерних предприятий Teleflex моно-

колеса, требуют последующей финишной обработки, в то время как точность и качество поверхностного слоя, обеспечиваемые новой САМ системой, исключают её (рис. 2).

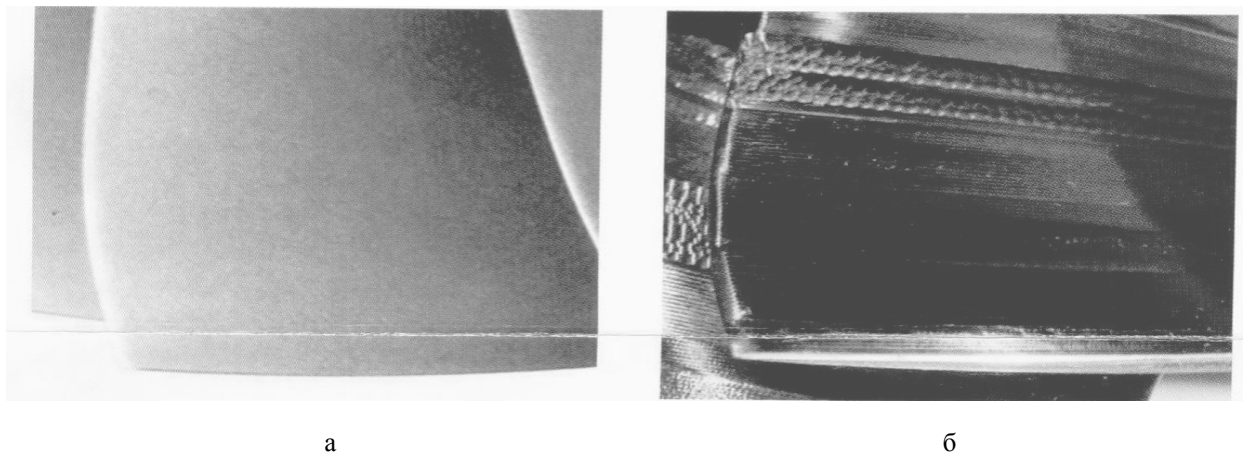


Рис. 2. Качество поверхности, обеспечиваемое новой (а) и старой (б) САМ системой соответственно

В настоящее время Teleflex разрабатывает более оптимальные траектории движения инструмента на чистовых этапах с целью повышения класса шероховатости и улучшения качества поверхностного слоя деталей. Однако согласно опубликованным данным [3], разработанная на базе модуля MAX-AB система способна заменить дорогостоящие, ручные операции при производстве моноколес уже сегодня, учитывая частую смену предмета труда в авиадвигателестроении, широкое применение труднообрабатываемых материалов и требования к точности и качеству поверхности получаемых деталей. Concepts NREC – создателем модуля MAX-AB, разработано три модуля MAX-PAC, которые способны в короткое время рассчитывать оптимальную траекторию движения инструмента для различных деталей с выходом на управляющую программу в течение нескольких часов. Назначение модуля MAX-AB – создание управляющих программ для пятикоординатного точечного фрезерования осевых и центробежных рабочих колес компрессоров и турбин. MAX-5 позволит вести эффективную обработку концевыми фрезами рабочих колес компрессоров и турбин, крыльчаток, вентиляторов. Преимуществом

данного метода фрезерования является возможность совмещения в одном переходе черновой и чистовой обработок. Модуль MAX-SI способен создавать программы для пятикоординатного интегрального фрезерования поверхностей крыльчаток, рабочих колес компрессоров, турбин и сопловых аппаратов.

### 3. Перспективы развития финишных методов обработки

В современном авиадвигателестроении наметились тенденции развития ресурсосберегающих технологий, которые позволят повысить долговечность деталей и узлов ГТД. Так низкие характеристики износостойкости титановых сплавов привели к необходимости решения вопросов увеличения ресурса работы изготавливаемых из них деталей, а также поиску методов упрочнения и ремонта изнашиваемых поверхностей, таких как контактные поверхности антивибрационных полок лопаток компрессора. Повышение температуры газа перед турбиной в современных ГТД до 2000 К и более, уменьшение размеров камер сгорания, сокращение времени набора и сброса оборотов – ведет к значительному увеличению напряженности работы лопаток турбин

и снижению их долговечности. В процессе эксплуатации поверхность лопаток турбин испытывает разрушающее действие от газовой коррозии и эрозии, от механических и циклических нагрузок.

Одним из методов защиты таких деталей ГТД как компрессорные и турбинные лопатки является детонационное напыление износостойких, жаропрочных и жаростойких покрытий, материал которых может содержать значительное количество карбидов тугоплавких металлов, таких как W, Ti, Ta и др. Последующая эффективная финишная обработка таких покрытий с целью обеспечения заданной точности лезвийным инструментом невозможна. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности разработки и (или) покупки дорогих САМ систем на базе модулей MAX-PAC для обработки деталей ГТД, номенклатура которых будет постоянно уменьшаться. Абразивная обработка в этом отношении обладает большей гибкостью, что является её неоспоримым преимуществом. Развитие технологии производства лопаток ГТД на таких предприятиях отрасли как ОАО “Мотор Січ”, ММПП “Салют”, ОАО “Рыбинские Моторы” идет путем отказа от фрезерных операций в пользу шлифовальных. Внедрение на этих предприятиях такого прогрессивного метода абразивной обработки, как глубинное шлифование, стало основой для развития интегральных технологий [1, 2, 4]. Можно предположить, что именно интегральная технология, разрабатываемая сегодня, послужит базой для развивающихся комплексных ресурсосберегающих технологий, ибо достойной альтернативы абразивной обработке износостойких, жаропрочных и жаростойких покрытий, получаемых методами электроискрового леги-

рования, детонационного и плазменного напыления, и другими – в настоящее время нет.

### **Заключение**

Таким образом, несмотря на неоспоримые успехи, достигнутые в совершенствовании методов лезвийной обработки, они все же не смогут полностью заменить абразивную обработку при производстве и ремонте авиационных двигателей четвертого и последующих поколений, на поверхности деталей которых будут нанесены покрытия.

### **Литература**

1. Крымов В.В., Елисеев Ю.С., Зудин К.И. Производство лопаток газотурбинных двигателей / Под ред. В.В. Крымова. – М.: Машиностроение: Машиностроение-Полет, 2002. – 376 с.
2. Качан А.Я., Мозговой В.Ф. Технология и оборудование для финишной обработки деталей газотурбинных двигателей (ГТД) // Винахідник і раціоналізатор. – 2000. – № 1. – С. 30-32.
3. Dick K. MAX-AB roughing and finishing strategies eliminate hand finishing of aircraft engine blisks // SpinOffs, Fall 2006. – Vol. 4, Is. 1. – P. 1-2.
4. Толоконников В.А. Интегральная технология: от философии к практике // Двигатель. – 1999. – № 3. – С. 20-23.

*Поступила в редакцию 02.10.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.Я. Мовшович, Харьковский НИИ технологии машиностроения, Харьков.