

Технология обработки фасонных поверхностей (на примере лопаток турбин)

Саминская Галина Григорьевна, преподаватель технических специальных дисциплин ПУ-43 г. Санкт-Петербурга

Турбинные лопатки являются одними из наиболее сложных и трудоемких деталей в энергетическом машиностроении.

Сложная геометрическая форма в сочетании с высокой точностью и чистотой обработки, использование жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, высокие требования к качеству металла по всему сечению обуславливают необходимость применения технологических способов изготовления на современном оборудовании, механизации и автоматизации производственных процессов современных методов и средств контроля.

Большое разнообразие существующих форм и методов задания профильной поверхности лопаток, различие заготовок, конструкций и материала лопаток, масштабов и условий производства определило множество различных способов обработки.

Результаты исследований показали, что обработка турбинных лопаток постоянного профиля способом фрезерования фасонными острозаточенными фрезами в 2-4 раза производительнее других известных способов обработки.

По конструкции профильной части лопатки можно разделить на 3 типа:

1. С постоянным профилем;
2. С постоянным профилем, образованным линейным или нелинейным перемещением постоянной относительно оси лопатки;
3. С переменным профилем.

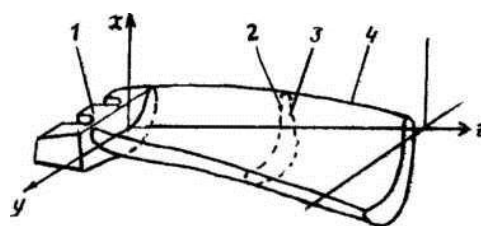
Профильная часть лопаток задается в виде некоторого числа дискретных поперечных сечений (профилей), количество которых зависит от длины рабочей части лопатки.

Профили сечений задаются следующими методами:

- а) дугами окружностей и сопряженными прямыми;
- б) координатами точек;
- в) профиль одной стороны (например, наружной) - координатами точек, другой - дугами окружностей.

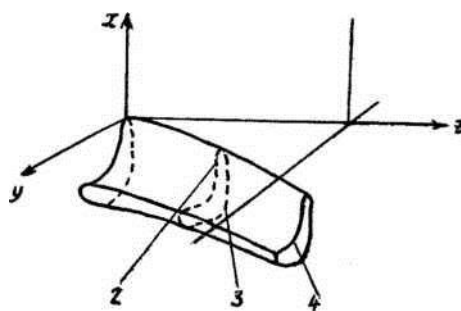
Имеются также методы задания профиля отрезками парабол и другими аналитическими кривыми, применение которых ограничено.

Наиболее широко в турбостроении применяется первый из перечисленных методов дугами окружностей, сопряженными прямыми и координатами центров этих дуг.



а)

- 1 — хвостовая часть лопатки;
- 2 — профильная часть;
- 3 — внутренний профиль (корыто);
- 4 — наружный профиль.



б)

б) координатами точек

При задании профиля системой точек, координаты которых находятся по таблице, усложняется контроль лопаток и изготовление режущего и мерительного инструментов.

Способы обработки профильной поверхности лопаток турбин

Известные способы формообразования пера турбинных лопаток можно разделить на три основные группы.

К *первой* группе относятся различные способы механической обработки лезвийным инструментом:

- 1. Точением;
- 2. Струганием;
- 3. Фрезерованием.

Ко *второй* группе относятся:

1. Электрофизические;
2. Электрохимические.

К *третьей* группе относятся способы абразивной (чистовой) обработки.

Схема обработки выбирается в зависимости от конструктивных особенностей лопатки и метода задания ее профильной поверхности.

Способы механической обработки резанием рабочей поверхности лопаток постоянного и переменного профиля можно разделить на 2 подгруппы по виду применяемости инструмента.

К 1-ой подгруппе относятся виды обработки поперечными и продольными «строчками» узколезвийным инструментом (точением, строганием, фрезерованием дисковыми и концевыми фрезами, узкими и широкими строчками), когда профиль поперечного или продольного сечения лопатки образуется как огибающая последовательных положений режущей кромки инструмента.

Ко 2-ой группе относятся все схемы обработки профилированным широколезвийным инструментом, работающим одновременно по всей ширине или длине лопатки, например, фасонными фрезами.

Способы «строчечной» обработки в зависимости от сочетания рабочих движений стола, инструмента и детали позволяют изготовить практически любые формы профильных поверхностей лопаток переменного и постоянного профиля.

Однако, они малопроизводительны из-за малой активной длины режущей кромки инструмента. Поверхность после обработки получается ступенчатой и требует значительной доводки шлифованием и полированием. При этом усложняется настройка станка, контроль операции, и требуется изготовление сложных объемных копиров.

Наиболее производительным способом является обработка широколезвийным инструментом по всей длине или ширине лопатки. Обработка лопаток переменного профиля по всей длине может быть осуществлена цилиндрическими фрезами с помощью простых копиров и кулачков.

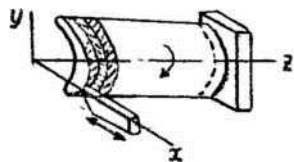
В других случаях обработку можно производить коническими или фасонными фрезами вдоль оси лопатки или под углом.

Обработка лезвийным инструментом.

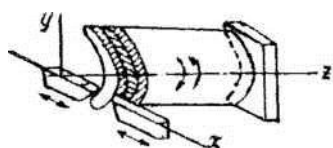
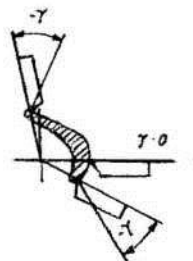
Точение лезвийным инструментом (резцом) узкими, поперечными по отношению к изделию строчками применяется в основном для образования

наружной поверхности рабочих лопаток и является эффективным при обработке лопаток с круговыми цилиндрическими или коническими поверхностями.

При обработке точением по простейшей схеме:



а) одним резцом



б) двумя резцами одновременно.

Турбинной лопатке сообщается вращение с постоянной угловой скоростью, а резцу - возвратно-поступательные перемещения в радиальном направлении. Иногда применяется встречная обточка двумя резцами (б), при которой производится одновременная обработка внутренней и наружной поверхностей.

Такая схема обработки применяется на токарно-полировальном станке швейцарской фирмы.

Обрабатываемая на станке деталь, проходя между двумя, расположенными друг против друга резцами, совершает качательные движения.

Одновременно с этим происходит копирное перемещение резцов от объемных вращающихся копиров.

Для увеличения производительности на станках обрабатывается одновременно несколько лопаток (до 6 штук).

Серьезным недостатком способа точения являются значительные колебания скоростей и углов резания из-за переменной кривизны обрабатываемого профиля. Это ухудшает обработку, приводит к скалыванию граничных участков на выходной кромке лопатки и появлению микротрещин.

Точение является предварительной операцией при последующей чистовой обработке. Припуск по поверхности составляет 0,5 - 1 мм.

Строгание.

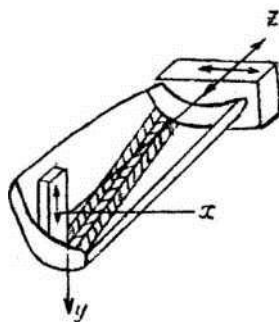
В связи с увеличением габаритных размеров лопаток турбин на заводах турбостроения широко применяется обработка пера строганием, особенно в тех случаях, когда заготовки лопаток имеют значительные припуски по профилю.

Строгание применяется как для первичной обработки пера под последующую механическую обработку (например, фрезерованием круговыми строчками), так и для чистовой обработки поверхности под шлифование.

Строгание широко применяется в турбостроении и является основным при обработке внутренней (реже наружной) поверхности лопаток переменного профиля и большой длины.

В производстве имеют место два способа строгания - продольными и поперечными строчками.

Преобладающим является способ строгания продольными строчками вдоль пера лопатки.



Строгание продольными строчками

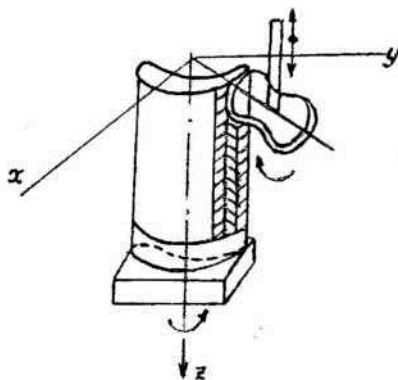
В процессе обработки стола с лопатками сообщаются возвратно-поступательные движения, а резцовой головке вертикальные координатные перемещения.

Подача на строчку осуществляется путем поперечной подачи стола с лопатками или путем поперечной подачи в сочетании с круговой подачей, т.е. с поворотом лопатки вокруг горизонтальной оси.

Поворот лопатки в процессе ее обработки позволяет улучшить условия резания, повысить точность и чистоту обработки поверхности.

Обработка лопаток строганием выполняется по схеме прямого копирования и позволяет применять копиры, идентичные профилю лопатки, что обеспечивает высокую точность обработки.

Долбление.



Долбление продольным долбяком

В процессе обработки лопатке сообщаются вращательные движения вокруг вертикальной оси и копирные перемещения в поперечном направлении.

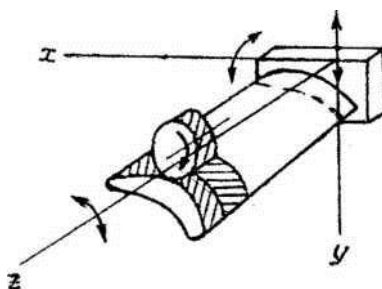
Синхронно с лопаткой поворачивается профильный долбяк, совершающий рабочие движения резания вдоль пера лопатки.

Профильная поверхность пера является результатом огибания ее профильным долбяком, который спрофилирован таким образом, что за один оборот лопатки обеспечивается ее полная обработка (включая кромки).

Фрезерование поперечными и продольными строчками является наиболее распространенным способом обработки лопаток переменного профиля, изготавливаемых из штампованных с припуском заготовок.

В производстве лопаток турбин применяются следующие способы строчечного фрезерования:

1. Поперечными строчками (маятниковое фрезерование);
2. Продольными строчками;
3. Круговыми поперечными строчками (круговое фрезерование);
4. Комбинированное фрезерование (поперечными и продольными строчками).



Фрезерование поперечными строчками

При фрезеровании поперечными строчками отдельно обрабатываются внутренние и наружные поверхности лопатки по всей длине рабочей части цилиндрической дисковой фрезой.

Строчки располагаются перпендикулярно оси лопатки, причем ширина строчки может быть от 8 до 40 мм. При обработке широкими строчками в процессе обкатки профиля поперечного сечения обрабатываемое изделие совершает качательные движения вокруг продольной и поперечной осей и одновременное вертикальное перемещение относительно оси фрезы.

При другой схеме обработки поперечными строчками профилирование сечения лопатки осуществляется при поперечных поступательных перемещениях изделия и копирных перемещениях фрезерной головки.

Ширина поперечной строчки выбирается с учетом угла закрутки сечения пера и определяется шириной фрезы и величиной подачи стола, от него зависит шероховатость обработанной поверхности.

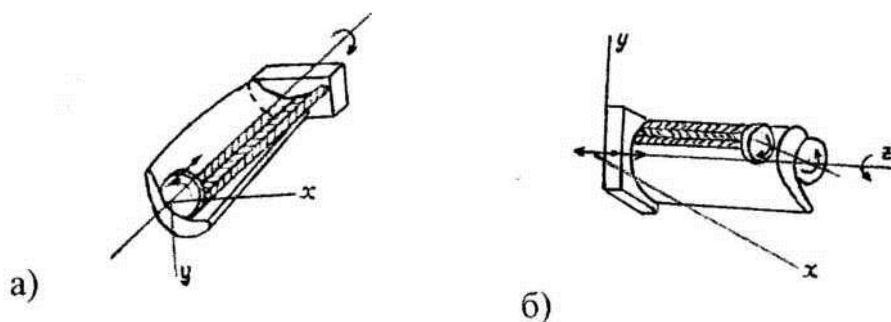
При фрезеровании поперечными строчками необходимо, чтобы крутизна профиля сечения находилась в определенных пределах. Точность обработки составляет 0,1-0,3 мм.

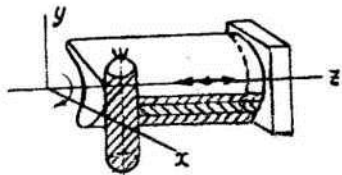
При фрезеровании продольными строчками поверхность лопатки образуется рядом продольных (относительно пера) строчек.

В процессе обработки лопатка совершает возвратно-поступательное перемещение относительно фрезерной головки, совершающей копирное перемещение.

При каждом реверсировании стола стойка с фрезерной головкой совершает движение, результатом которого является продольная строчка. Фрезерование осуществляется при помощи дисковых или цилиндрических фрез.

Фрезерование дисковой фрезой (рис.)





в)

Фрезерование продольными строчками:

- а) одной дисковой фрезой;
- б) двумя дисковыми фрезами одновременно;
- в) цилиндрической фрезой.

Фрезерование дисковой фрезы применяется при обработке крупных рабочих лопаток со значительной закруткой пера (а).

Внутренняя и наружная поверхность пера лопатки обрабатываются раздельно.

Фрезерование продольными строчками может осуществляться при поперечной или круговой подаче лопатки.

Способ обработки наружной поверхности продольными строчками цилиндрической фрезой широко применяется на турбостроительных заводах (в).

Для обработки пера лопаток пологих профилей применяется также двусторонняя обработка двумя дисковыми фрезами (б).

Число и частота строчек для образования заданной поверхности определяется в зависимости от формы профиля поперечного сечения и угла закрутки пера, а также от диаметра фрезы. Частота строчек определяет шероховатость обработанной поверхности и величину переменного припуска (0,3-1,5 мм).

Круговое фрезерование.

В настоящее время наиболее эффективным способом механической обработки является круговое фрезерование поперечными строчками.

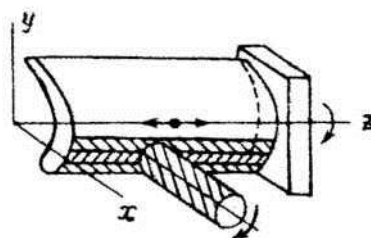
При этом способе обрабатываемой лопатке сообщается вращение вокруг продольной оси, а фрезерной головке - копирные перемещения в вертикальной плоскости и периодическая подача на величину строки.

Фрезерование выполняется дисковыми фрезами, ось шпинделей которых под углом 15-20° к горизонтали или к оси лопатки.

Обработка круговым фрезерованием выполняется по объемному

копиру, аналогичному турбинной лопатке.

Фрезерование продольными строчками концевой радиусной фрезой применяется для изготовления турбинных лопаток на станках с числовым программным управлением.



Фрезерование продольными строчками концевой фрезой

Профильная поверхность образуется продольными строчками при помощи концевой фрезы с радиусной рабочей поверхностью

Лопатка совершает перемещение в направлении строчки, а копирные изменения осуществляют фрезерные шпинделя по специальной программе.

Подача на величину строчки выполняется при вертикальном перемещении фрезы относительно неподвижной лопатки.

Такая обработка на станках с ПУ позволяет полностью автоматизировать процесс механической обработки, при этом исключается необходимость изготовления трудоемких копиров или эталонной лопатки.

Литература:

1. И. С. Бочков, Л. Н. Бердников, Прогрессивная технология обработки профильной части лопаток мощных паровых и газовых турбин, Ленинград, 1974 г.;
2. Я. В. Кудевицкий, Г. А. Глушков «Современные способы обработки профильных поверхностей лопаток турбин», Ленинград, 1977 г.