РАЗДЕЛ V. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Кузнецов Ю.П., Химич В.Л., Хрунков С.Н., Чуваков А.Б., Погодин Р.А.

Разработка и экспериментальные исследования многоступенчатой турбины для привода ручных пневматических шлифовальных машин

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
(Россия, Нижний Новгород)*

doi: 10.18411/sr-05-12-2021-11

Аннотация

Рассмотрена конструктивная схема многоступенчатой турбины с двумя радиальными ступенями давления. Приведены результаты экспериментальных исследований турбопривода шлифовальной машины с одной и двумя радиальными ступенями давления. Проведено сравнение результатов эксперимента и сделан вывод о целесообразности применения выбранной конструктивной схемы турбины для привода ручных пневматических шлифовальных машин.

Ключевые слова: многоступенчатая турбина, пневматическая шлифовальная машина, экспериментальные исследования турбопривода.

В настоящее время в машиностроении, судостроении, металлургии и других отраслях промышленности значительная доля ручных операций по обработке металлических поверхностей, таких как подготовка кромок под сварку и дальнейшая зачистка самих швов; доводка фасонных поверхностей штампов, пресс-форм и иных деталей; очистка литых заготовок выполняется с помощью ручных пневматических шлифовальных машин.

Выявленные тенденции развития ручных пневматических шлифовальных машин [1] предполагают использование в них турбинного типа привода для повышения эффективности и производительности таких работ.

Ряд фирм осуществляет выпуск ручных пневматических шлифовальных машин с турбинным приводом. Лидерами в производстве такого инструмента являются Deprag (Германия-Чехия), Air Turbine Tools (США) и Atlas Copco (Швеция). Каждый из них выработал свой, оригинальный подход к конструкции шлифовальных машин. По разным причинам эти решения не могут привести к приемлемому для потребителей результату. Либо не достаточны технические и эксплуатационные характеристики инструмента, либо его цена значительно превышает среднерыночную [1].

Решением проблемы может быть применение в качестве привода многоступенчатой турбины с осевым расположением радиальных ступеней. Причем, компоновка может быть выполнена на основе двухступенчатых турбин со ступенями давления, разработанными согласно патентов на ПМ [3, 4], что позволяет сократить общее число лопаточных венцов. Такая задача была решена в результате выполнения НИОКР в рамках программы «Старт-1» Фонда содействия инновациям [2], целью выполнения являлось создание пневматической шлифовальной машины с высокоэффективным и высокотехнологичным турбинным приводом, предельная частота вращения которой находится в диапазоне 20000...25000 об/мин

При разработке двигателя шлифовальной машины была применена запатентованная конструктивная схема [3]. Она представляет собой двухступенчатую турбину и содержит рабочее колесо с двумя венцами радиальных лопаток, размещенных на его противоположных сторонах, и промежуточный направляющий аппарат (ПНА) 1 (рисунок 1). Первый венец лопаток 2 рабочего колеса образует центробежную реактивную турбину, а второй венец лопаток 3 представляет собой рабочие лопатки

центростремительной ступени. Экспериментальные исследования показали, что их характеристики близки к характеристикам осевых турбин с двумя ступенями скорости. Разворот потока с центробежного направления движения на центростремительное и его перемещение из первой ступени во вторую производится в ПНА, который охватывает с периферийной стороны оба венца лопаток. Каналы для прохода воздуха через ПНА сформированы прямолинейными пластинами, установленными параллельно оси вращения турбины с заданным эксцентриситетом по отношению к оси. Благодаря эксцентриситету обеспечивается безударный вход потока в каналы ПНА и требуемый угол закрутки потока на входе во второй венец лопаток 3.

Рисунок 1. Схема первой ступени давления, разработанного турбопривода [3]

Вторая ступень давления разработанного турбопривода выполнена на базе запатентованной конструктивной схемы [4]. Турбопривод (рисунок 2) представляет собой турбину с двумя венцами радиальных лопаток, размещенными на его противоположных сторонах. Обе ступени имеют два одинаковых элемента – это ПНА и второй венец лопаток рабочего колеса. Отличие заключается в конструкции центробежной части, содержащей неподвижно установленный центробежный сопловой аппарат и венец центробежных рабочих лопаток, размещенный на первой боковой поверхности диска рабочего колеса.

Рисунок 2. Схема второй ступени давления, разработанного турбопривода [4]

Турбины конструктивных схем [3] и [4] обладают рядом преимуществ как перед радиальными, так и осевыми турбинами:

- в турбоприводах реализуется течение газа через рабочие лопатки в единой плоскости, что определяет относительно низкие потери энергии;
- имеется конструктивная возможность крепления к рабочим лопаткам бандажного кольца, дополнительно снижающего утечки потока из лопаток;
- конфигурация лопаточных венцов позволяет изготавливать турбинные колеса высокотехнологичными методами плоского фрезерования и литья под давлением в пресс-форме;
- высокая компактность обеспечивается тем, что установка дополнительных турбинных ступеней не приводит к приращению их радиальных габаритов многоступенчатых турбоприводов;
- лопаточные венцы рабочего колеса, относящиеся к различным ступеням, расположены на близких диаметрах, что позволяет обеспечить оптимальные режимы их работы;
- в турбинах [3] и [4] ПНА располагается за пределами периферийного диаметра рабочего колеса, что обеспечивает простую и высокотехнологичную процедуру сборки.

Высокоэффективное уплотнение между ступенями давления удалось создать на основе патента на ПМ [5]. В разработанной конструкции (рисунок 3) диафрагма 1, содержащая каналы для прохода воздуха 2 между ступенями, прижата к уступу корпуса шлифовальной машины. К диафрагме крепится диск 3 с заостренным гребнем, сопряженным с поверхностью вала 4.

Рисунок 3. Уплотнение диафрагмы [5]

На рисунке 4 представлено фото *а* разработанной в рамках НИОКР пневматической шлифовальной машины и конструктивная схема турбины с двумя ступенями давления *б*.

*а – фото шлифовальной машины; б – конструктивная схема турбины с двумя ступенями давления
1 - первая базовая ступень давления; 2 - вторая базовая ступень давления; 3 – уплотнение между ступенями; 4 – регулятор частоты вращения; 5 – уплотнение подвода воздуха
Рисунок 4. Разработанная в рамках НИОКР ручная пневматическая шлифовальная машина*

Для оценки характеристик турбины были проведены экспериментальные исследования турбопривода непосредственно в составе шлифовальной машины с целью определения расхода сжатого воздуха и зависимости крутящего момента и мощности от частоты вращения ротора. Для более качественного анализа необходимо сравнить эти результаты с данными аналогичного теста для шлифовальной машины с приводом от одноступенчатой турбины. На рисунке 5 представлено сравнение результатов испытаний.

а)

б)

а – диаграмма крутящего момента; б – диаграмма мощности

Рисунок 5. Графики сравнения результатов испытаний одноступенчатого и двухступенчатого турбоприводов

График зависимости 1 (рисунок 5) иллюстрирует результат для шлифовальной машины с одноступенчатой турбиной (рисунок 1) в качестве привода.

- Одна ступень, включающая рабочее колесо с 6 соплами (каналами центробежной реактивной турбины) суммарной площадью 20 мм^2 , размещенными на центробежной стороне колеса и центростремительными рабочими лопатками – на противоположной стороне рабочего колеса.

График зависимости 2 (рисунок 5) иллюстрирует результат для шлифовальной машины с турбиной, состоящей из двух ступеней давления (рисунок 4) в качестве привода.

- Первая ступень – рабочее колесо с 6 соплами (каналами центробежной реактивной турбины) суммарной площадью 20 мм^2 , размещенными на центробежной стороне колеса и центростремительными рабочими лопатками – на противоположной стороне рабочего колеса.
- Вторая ступень – неподвижный сопловой аппарат с площадью сопел 41.7 мм^2 ; рабочее колесо с бандажными полками на центробежных и центростремительных лопатках.

В таблице 1 приведены максимальные значения характеристик испытанных машин.

Таблица 1

Обозначение	Крутящий момент, Н*м	Мощность, Вт	Расход сжатого воздуха, л/мин
1	0,38	908	1390
2	0,644	968	1460

Различия в расходе сжатого воздуха между первым и вторым испытаниями менее 5%, этим можно пренебречь. В обоих случаях лимитирующим сечением будет суммарная площадь каналов первой ступени.

Для турбопривода с одноступенчатой турбиной максимальная мощность 908 Вт достигается на скорости около 42000 мин^{-1} . Эффективная частота вращения ротора для двухступенчатой турбины по результатам испытаний лежит около 25000 мин^{-1} , при этом не происходит снижение эффективности работы машины.

Оценка результатов эксперимента.

Применение выбранной конструктивной схемы турбины (рисунок 4 б) полностью себя оправдало, на это указывают результаты испытаний разработанной шлифовальной машины.

Использование многоступенчатой радиальной турбины с двумя ступенями скорости позволило:

- снизить рабочую частоту вращения ротора до требуемых параметров без снижения мощности (эффективности);
- увеличить стартовый крутящий момент (при $n = 0 \text{ мин}^{-1}$);
- закладывает большой потенциал для совершенствования и модифицирования привода, например, для создания моделей машин со скоростями менее 25000 мин^{-1} ;
- подтвердить эффективность выбранного подхода.

1. Статья в «Авиационной технике»
2. Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям): сайт. 2021 URL: <https://fasie.ru/programs/programma-start/#konkursu> (дата обращения 25.03.2021).
3. Патент РФ на полезную модель № 139138, F01D 1/32. Турбинный привод / Ю.П. Кузнецов – 2013. Бюл. № 10.
4. Патент РФ на полезную модель № 110132, F01D 1/06. Многовенечная радиальная турбина / Ю.П. Кузнецов, А.Б. Чуваков – 2011. Бюл. № 31.
5. Кузнецов Ю.П., Чуваков, А.Б., Погодин Р.А. Турбомашина // Патент на полезную модель RU 193118, U1. Оpubл. 15.10.2019, бюл. № 29.

Ткаченко С.С., Емельянов В.О., Мартынов К.В.

Управление структурой литейной керамики с помощью тиксотропных добавок

*Филиал РАН "Творческая мастерская "Литейный двор"
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-05-12-2021-12

Аннотация

В статье приведены экспериментальные данные о влиянии акриловой дисперсии на формирование структуры литейной керамики на микро и наноуровне. Представлены исследования микроструктуры поверхности кремнегеля методом АСМ. Показано комплексное действие структурирующих добавок на свойства керамической формы. Приводится объяснение повышения прочности керамических форм с точки зрения структурных особенностей кремнегеля. Сделан вывод о возможности управления свойствами литейной керамики с помощью органических тиксотропных добавок.

Ключевые слова: керамические формы, прочность, гель, микроструктура, кремнезоль.

Abstract

The article presents experimental data on the effect of acryl dispersion on the formation of foundry ceramics at the micro and nanoscale levels. Studies of silica gel microstructure surface by atomic force microscopy (AFM) are presented. The complex effect of texturing agents on the properties of ceramic mold is shown. The explanation of the increase in the strength of ceramic molds from the point of view of the structural features of silica gel is given. The conclusion about the opportunity of controlling the properties of foundry ceramics with the help of organic thixotropic agents is made.

Keywords: ceramic molds, strength, gel, microstructure, siliceous.