

УДК62

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ РОТОРОВ ВИНТОВЫХ КОМПРЕССОРОВ

Кошелева В.А.

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова

E-mail: pantera-20896@mail.ru

На сегодняшний день воздушные компрессоры представляют собой широкий выбор установок, различающихся между собой по принципу действия, оснащению и устройству, рабочим и другим характеристикам. Каждый тип оборудования имеет свои преимущества и особенности, которые делают выбор той или иной установки наиболее оптимальным. Однако при этом наиболее популярными являются винтовые компрессоры, устройство которых обеспечивает высокую эффективность и надежность работы оборудования.

В данной статье представлены и исследованы проблемы обеспечения качества при их изготовлении.

Ключевые слова: роторы, винтовые компрессоры, обеспечение качества.

PROBLEMS OF QUALITY ASSURANCE IN THE MANUFACTURE OF ROTORS OF SCREW COMPRESSORS

Kosheleva V.A.

At present, air compressors are a wide choice of installations, differing in the principle of operation, equipment and device, operating and other characteristics. Each type of equipment has its own advantages and features that make the choice of a particular installation the most optimal. However, the most popular are screw compressors, the device which provides high efficiency and reliability of the equipment.

This article presents and examines the problems of quality assurance in their manufacture.

Keywords: rotors, screw compressors, quality assurance.

Компрессоры - это машины, предназначенные для сжатия (компримирования) и транспортировки газа.

Принцип работы винтовых машин, как компрессоров, был известен более 120 лет. Несмотря на это, серьезных усилий для их производства не было сделано до тех пор, пока не стали доступны недорогие методы производства для точной обработки профилей ротора. С тех пор, большие улучшения были сделаны в прогнозировании производительности, проектировании

профиля ротора и технологии производства. Винтовые компрессоры теперь высокоэффективны, компактны, просты и надежны. Как следствие, они в значительной степени заменили поршневые установки для большинства промышленных и во многих холодильных системах.

В компрессорах с впрыском масла относительно большая масса, хотя и очень маленький объем нефти допускается с газом, который будет сжат. Масло действует как смазка между контактирующими роторами, как герметик от любых зазоров между роторами и между роторами и корпусом, а также как охлаждающая жидкость газа во время сжатия.

Этот охлаждающий эффект улучшает эффективность сжатия и позволяет делать отношение давления примерно до 15: 1 на одной стадии, без чрезмерного повышения температуры путем поддержания массового соотношения нефти и газа 4: 1. Тогда влияние теплового расширения относительно невелико, и теперь, когда компоненты винтовых компрессоров могут изготавливаться с допусками порядка 5 мкм, внутренние зазоры могут составлять всего 30-60 мкм.

Принцип работы таких устройств основан на вращении двух роторов, которые называются винтами. Сжатые воздух и газ заставляют функционировать сложные системы исполнения из пневматических цилиндров, клапанов и прочих механизмов. Винтовой компрессор занимается преобразованием электрической энергии в воздушно-газовый толчок. Принцип действия: роторы вращаются навстречу друг другу, соблюдая принцип ведомости. Движение винтов всасывает воздух через входной фильтр. Поток проходит через очистку, смешивание с маслом, охлаждение. Полученная смесь попадает в систему под винтовой тягой. После этого сепаратор отделяет масло от воздуха, последний выходит из компрессора в потребляющее оборудование. Таким образом, работа винтов делает весь процесс необходимым с воздухом без внешних вмешательств.

Винтовые компрессоры разработаны таким образом, что производительность и долговечность двигателей малой мощности растут, а потребление энергии уменьшается вдвое. Преимущества такого оборудования – это компактные размеры, не слишком усугубляющий вес, надежность, долговечность.

Винтовые компрессоры имеют несколько режимов работы с определенными функциями:

- Старт – запускает двигатель аппарата, оптимизирует нагрузку от сети. Активируется нажатием специальной кнопки, через несколько минут переходит в режим работы. Он может отсутствовать, если мощность компрессора минимальна и обеспечивается прямой запуск.

- Рабочий - повышение давления до максимально допустимого, затем срабатывает реле переключения на холостой ход.

- Холостой ход - характеризуется вращением роторов, непрерывной работой двигателя. В это время газ выталкивается через все устройство, охлаждаются воздушные массы. Он служит для

предотвращения сбоев, ожидающих оптимальных показателей, подготовки компрессора к остановке.

- Ожидание - наступает после холостого хода, пока знак давления не опустится до минимума. Продолжительность зависит от скорости выхода воздуха. Затем может последовать непрерывная работа по запуску реле.

- Стоп - выключение устройства.

- Аварийная остановка: срочная остановка двигателя с помощью специальной кнопки без промежуточного режима типа холостого хода. [3]

При изготовлении роторов винтовых компрессоров, различные факторы влияют на качество: ТОН напряжения, температура резания, усталость, коррозионная стойкость и износостойкость.

ТОН – это такие напряжения, которые существуют и уравниваются внутри тела после устранения воздействий, которые заставляли их появиться. К решению технологических задач представляют особый интерес макронапряжения: остаточное напряжение первого типа.

В настоящее время трудно определить рациональное расположение операции релаксации ТОН в процессе производства деталей. Отсутствие теории, практических рекомендаций и методов учета наследования затрудняет разработку оптимальных технологических процессов для производства деталей из различных материалов, в том числе труднообрабатываемых, с определенными эксплуатационными свойствами. Решение этих проблем может повысить точность обработки, сократить продолжительность технологического цикла и снизить себестоимость изготовления.

Для расчета температуры резания часто используются эмпирические формулы, которые показывают закономерности изменения температуры резания на основе различных факторов и действительны в определенных границах и условиях.

При нагревании резца уменьшается разница температур между стружкой и фрезой, а поэтому уменьшается интенсивность теплопередачи от стружки до резца. Следовательно, при увеличении скорости резания V температура резца значительно увеличивается, но в меньшей степени, чем скорость. [1]

Нетрудно предсказать взаимосвязь между глубиной резания t , подачей s и температурой, если рассмотреть изменение коэффициента усиления тепла и удаление тепла на инструменте с изменением t и s . С увеличением подачи возрастает давление стружки на резец, а вместе с ним и работа деформации. Но в то же время, как известно, усадка стружки уменьшается и, следовательно, работа деформации, приходящаяся на 1 мм³ стружки, также уменьшается. Кроме

того, трение на задней поверхности инструмента мало меняется с увеличением подачи. Таким образом, количество теплоты, образующейся в стружке, будет увеличиваться в меньшей степени с увеличением подачи. В то же время с утолщением стружки улучшается отвод теплоты, потому что площадь контакта стружки с резцом расширяется. В результате температура резания увеличивается с увеличением подачи, но в меньшей степени, чем увеличение скорости.

Глубина резания также влияет на температуру резания, но в меньшей степени, потому что нагрузка на единицу длины режущей кромки не изменяется: при увеличении глубины резания при постоянном угле наклона φ в плоскости работающая и режущая длина увеличиваются пропорционально, отвод тепла от него увеличивается и, соответственно, увеличение теплового потока на единицу длины режущей кромки; в результате температура немного изменится с увеличением глубины резания.

Нагрев инструмента зависит от теплоемкости и особенно от теплопроводности материала изделия и самого инструмента. Например, при обработке цветных металлов температура резания должна быть относительно низкой, не только при низкой нагрузке, но и при высокой теплопроводности цветных металлов. И, наоборот, при резании жаропрочных сталей и сплавов с низкой теплопроводностью температура резания значительно увеличивается (в два-три раза), чем у конструкционных сталей. То же самое можно сказать и о инструменте: чем ниже теплопроводность, тем выше температура его режущей кромки.

В процессе эксплуатации современных инженерных изделий оперативные напряжения в критически важных частях могут меняться в несколько раз с точки зрения величины и знака. Например, переменное напряжение зависит от силового набора и обшивки крыла, оперения и фюзеляжа самолетов, лопастей винтов самолетов и вертолетов, лопастей турбин для авиационных двигателей, барабанов колес транспортных средств, осей вагонов и многих других деталей.

Известно, что под действием циклических нагрузок происходит постепенное накопление повреждений в металле, что приводит к образованию трещин и разрушению. Этот процесс называется усталостью, а способность металлов противостоять усталости называется выносливостью.

В настоящее время из-за увеличения рабочих скоростей транспортных средств и связанного с этим увеличения частоты изменений напряжения, а также одновременного повышения уровня (из-за желаний уменьшить массу конструкции), усталость в подавляющем большинстве случаев является причиной их преждевременного разрушения.

Кривые усталости для различных образцов прослеживаются в полулогарифмических или логарифмических координатах и позволяют нам определить предел прочности σ_{-1} , также называемой усталостной прочностью (рис.1).

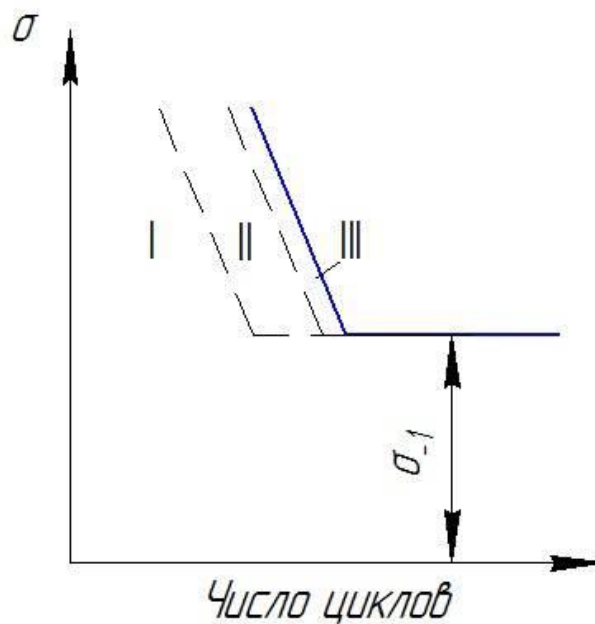


Рисунок 1 – Кривая усталости

где, I – зона постепенного накопления напряжений до возникновения трещины; II – зона распространения трещины; III – зона долома.

Для конструкционных углеродистых и низколегированных сталей предел выносливости при изгибе, как правило, составляет половину от предела прочности:

$$\sigma_{-1} \approx (0,4 \dots 0,5) \cdot \sigma_B. \quad (1)$$

Для высокопрочных сталей:

$$\sigma_{-1} \approx 400 + \sigma_B/6. \quad (1.2) \quad (2)$$

Для цветных сплавов усталостную прочность принимают:

$$\sigma_{-1} \approx (0,25 \dots 0,5) \cdot \sigma_B. \quad (3)$$

В настоящее время существует довольно большое количество исследований, показывающих, что состояние поверхностного слоя детали оказывает решающее влияние на сопротивление усталости и многие другие эксплуатационные свойства (коррозионная стойкость, износостойкость и т. д.). Поверхностный слой (ПС) представляет собой внешний слой детали с измененной структурой, фазой и химическим составом по сравнению с основным металлом, из которого сделана деталь (рис.2).

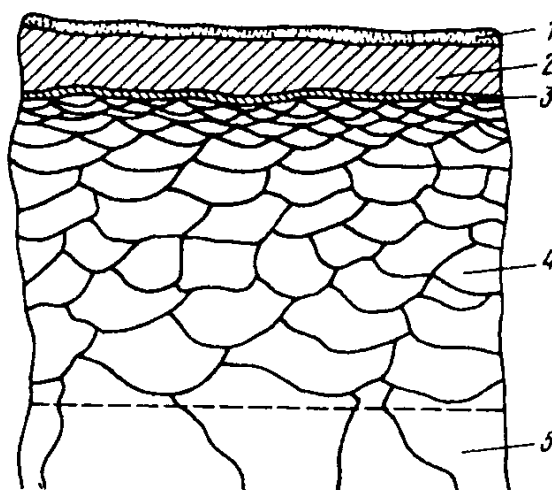


Рисунок 2 - Схема поверхностного слоя детали

где, 1 – адсорбированная зона; 2 – зона оксидов; 3 – границная зона материалов; 4 – зона материала с измененными физико-механическими свойствами; 5 – зона материала с неизменными свойствами. [2]

На практике состояние ПС оценивается по ряду параметров, характеризующих его качество. Эти параметры делятся на:

- микрогеометрию поверхности (высотные и пошаговые настройки шероховатости);
- волнистость;
- макрогеометрию поверхности (допуски формы и расположения поверхностей);
- физико-механические параметры (технологические остаточные напряжения, структурно-фазовый состав, размер зерен материала, микротвердость и т. д.);
- химический состав.

Кроме того, некоторые из наиболее важных параметров качества ПС, которые определяют эксплуатационные свойства деталей, ответственных деталей машин, являются физическими и механическими параметрами.

В процессе обработки ПС заготовка подвергается неоднородной пластической деформации, затухающей на глубине. Пластическая деформация сопровождается структурными изменениями в металле ПС. В кристаллической решетке число дислокаций увеличивается и другие дефекты решетки, ПС затвердевают за счет наклепа, образуются остаточные напряжения. Изменяется форма и размер зерен, которые измельчаются и вытягиваются до поверхности, ориентируясь в направлении деформации.

С другой стороны, многие операции технологического процесса изготовления деталей (шлифование, токарная обработка и т. д.) сопряжены со значительным теплообразованием в области контакта инструмента с заготовкой, что может быть связано со структурной

ревитализацией-преобразованием фазы, разупрочнения металла из-за процессов отпуска, а также из-за образования в ПС нежелательных технологических остаточных напряжений.

Одним из основных физико-механических свойств ПС являются технологические остаточные напряжения (ТОН), пластическое деформование (ППД), возникающее в процессе обработки поверхности. Известно, что ТОН часто оказывает определяющее влияние на износостойкость, усталостную прочность и коррозионную стойкость.

В зависимости от объема тела, в котором оценивают ТОН, их условно делят на:

первого рода, уравновешенные в макрообъемах тела;

–второго рода, уравновешенные в пределах размера зерен;

–третьего рода, уравновешенные в пределах нескольких межатомных расстояний.

В зависимости от характера и интенсивности физических и механических процессов, которые происходят во время обработки, ТОН может иметь различный знак. В связи с этим возникают напряжения сжатия (со знаком «-») и растягивающие напряжения (со знаком «+»).

Изменение элементов режима обработки и условий обработки может привести к увеличению температуры контакта и обуславливание роста остаточных растягивающих напряжений, уменьшению напряжений сжатия или превращению сжатия ТОН в растягивающие.

Четыре примера очерчивают область применения математической модели для трех расчетов размеров потока жидкости и напряжений в твердых частях винтовых компрессоров.

В первом примере результаты для двух безмасляных воздушных винтовых компрессоров с различными профилями ротора сравниваются друг с другом и с результатами, полученными из одномерного расчета. Преимущества находятся в использовании трехмерной имитационной модели, в которой динамика всасывания и нагнетания убытки учитываются в результатах.

Второй пример проверяет результаты трехмерных расчетов с измерениями, полученные на экспериментальной испытательной установке. Влияние турбулентности по ходу процесса в винтовом компрессоре также исследуется. Делается вывод, что несмотря на чрезмерное рассеивание кинетической энергии турбулентности, общие параметры машины положительного смещения существенно не меняются, если она рассчитывается как турбулентный или ламинарный поток. Исследовано влияние размера сетки на точность трехмерных расчетов и показано, что числовые сетки не могут охватить все изменения потока в компрессоре. Однако интегральные параметры во всех случаях достаточно точны.

В третьем примере включен расчет параметров компрессора аммиака. Важность масла положение порта впрыска здесь обозначено распределением масла, полученным трехмерными расчетами. Такие цифры распределения масла внутри винта компрессора никогда не были

найжены в открытой литературе. Это достижение, шаг вперед в понимании внутренних потоков винтового компрессора.

Четвертое приложение охватывает одновременный расчет взаимодействия твердой жидкости. Влияние деформации ротора на встроенный винтовой компрессор, параметры, вызванные изменением клиренса, представлены вместе с тем, как зазоры уменьшаются из-за увеличения роторов, вызванного температурой дилатации. Это приводит к увеличению как расхода компрессора, так и потребляемой мощности. Влияние давления приводит к изгибу роторов. При умеренном давлении в компрессоре зазор увеличивается незначительно и, следовательно, оказывает лишь незначительное влияние на подачу и потребление энергии. В случае высокого рабочего давления, роторы деформируются больше, а уменьшение повышение удельной мощности становится более выраженным.

В результате исследований при изготовлении роторов винтовых компрессоров на качество влияют различные факторы: напряжения ТОН, температура резания, усталость, коррозионная стойкость, износостойкость.

Список литературы

1. Сақун И.А. Винтовые компрессоры.
 2. Янгулов В.С. Детали машин. Волновые и винтовые механизмы и передачи. Учебное пособие для магистратуры.
 3. Котельников А.П. Винтовое счисление и некоторые приложения его к геометрии и механике.
-