

Министерство образования и науки России
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский
технологический университет»

В.М. Борисов

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПРЕССОРНОГО И ХОЛОДИЛЬНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Учебное пособие

Казань
Издательство КНИТУ
2012

УДК 621.51.002(075.8)
ББК 34.7

Борисов В.М.

Технология компрессорного и холодильного машиностроения : учебное пособие / В.М. Борисов; М-во образ. и науки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2012. - 140 с.

ISBN 978-5-7882-1293-7

Рассмотрены технологические процессы изготовления и сборки основных деталей и сборочных единиц поршневых, центробежных и винтовых компрессоров, применяемых в конструкциях отечественных компрессорных и холодильных машин и установок. Особое внимание уделено обоснованию выбора применяемых материалов, методов получения заготовок и оптимальных для каждого конкретного случая методов термической обработки.

Приведены технологические планы общей сборки поршневых, центробежных и винтовых компрессоров.

Предназначено для студентов и магистров, обучающихся по специальностям и направлениям машиностроительного профиля.

Подготовлено на кафедре машиноведения КНИТУ.

Ил. 49. Библиогр.: 3 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Казанского национального исследовательского технологического университета

Рецензенты: профессор кафедры ТМП КНИТУ

им. А.Н. Туполева *Н.А. Дунин*

ген. директор ООО «Магси» *Я.Ф. Магарил*

ISBN 978-5-7882-1293-7

© Борисов В.М., 2012

© Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие является специальной частью общего курса «Технология машиностроения».

При составлении пособия не ставилась задача рассмотреть все многообразие технологических процессов изготовления изделий компрессорного и холодильного машиностроения, так как содержание таких процессов связано не столько с конструктивными особенностями машин, сколько с условиями организации производства, зависящими от годового объема выпуска.

В пособии отражен опыт Казанского компрессорного завода, московского завода «Компрессор», а также разработки проектно-конструкторских организаций, связанных с производством компрессорной и холодильной техники.

Все технологические вопросы рассматриваются комплексно и во взаимосвязи с конструкцией изделий, поскольку возможность применения современной передовой технологии определяется тем, насколько технологична конструкция.

В рассмотренных технологических планах изготовления основных деталей компрессорных и холодильных машин предусмотрено применение универсального металлообрабатывающего оборудования для условий единичного производства. При достаточной программе выпуска изделий следует планировать применение агрегатных, специализированных, специальных станков, а также предусмотреть модернизацию существующего на заводах оборудования.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА КОМПРЕССОРОВ

1.1. Классификация компрессоров, применяемых в компрессорных и холодильных машинах. Основные технические требования к деталям и сборочным единицам компрессоров

Компрессоры – важнейшее энергетическое оборудование, применяемое в холодильной технике, в технологических процессах химической, нефтехимической, нефтеперерабатывающей, газовой, металлургической, пищевой промышленности и ряде других отраслей.

Компрессоры, применяемые в промышленности по принципу действия подразделяются на:

- поршневые;
- центробежные (турбокомпрессоры);
- осевые;
- винтовые;
- дизель-компрессоры.

Наибольшее распространение получили поршневые, центробежные и винтовые компрессоры.

Поршневые компрессоры применяются для сжатия воздуха или различных газов.

Производительность: малая – до $1 \text{ м}^3/\text{мин}$, средняя – от 10 до $100 \text{ м}^3/\text{мин}$, большая – свыше $100 \text{ м}^3/\text{мин}$.

Конечное избыточное давление: низкое – до $25 \text{ кг}/\text{см}^3$, среднее – до $100 \text{ кг}/\text{см}^3$, высокое – до $350 \text{ кг}/\text{см}^3$ и выше (при производстве синтеза полиэтилена – до $2200 \text{ кг}/\text{см}^3$).

Способ действия: простого – газ сжимается с одной рабочей стороны поршня (бескрейцкопфные вертикальные небольшой производительности) и двойного – обе стороны поршня являются рабочими (все крейцкопфные машины).

Конструктивное исполнение:

- по расположению осей рабочих цилиндров: вертикальные,

горизонтальные, угловые V - и W – образные (при W – образном одна ось вертикальна, две другие под углом $22,5^0$ к горизонтали);

- по количеству рядов цилиндров: однорядные, двухрядные;
- по расположению цилиндров: с параллельным и последовательным;
- по характеру соединения кривошипного механизма с поршнем: крейцкопфные и бескрейцкопфные;
- по способу охлаждения цилиндров и сжатого газа: с водяным и воздушным охлаждением;
- по характеру привода: от электродвигателя и паровой машины;

Число цилиндров: одно-, двух- и многоцилиндровые.

Способ сжатия – одноступенчатый (один или несколько цилиндров, работающих параллельно, подают сжимаемый газ в один общий трубопровод); двухступенчатый (сжатие происходит последовательно в двух цилиндрах с разным давлением); многоступенчатый (число работающих цилиндров более двух).

Способ установки – передвижные компрессоры поставляются собранными на одной раме или шасси с двигателем и монтажа не требуют. Стационарные компрессоры устанавливаются на железобетонных фундаментах в специальных помещениях (компрессорные станции). В этом случае компрессоры поставляются отдельными узлами (относится ко всем типам компрессоров).

Центробежные компрессоры, сжимающие газ на давление 3 – 4 атм., до 1000 мм водяного столба – вентиляторы, до 3 – 4 атм. – нагнетатели.

Приводы компрессоров – электродвигатели, паровые и газовые турбины.

Производительность – от 100 до $6500 \text{ м}^3/\text{мин}$, степень сжатия – от 1,2 до 9, потребляемая мощность - от 50 до 18000 кВт, число оборотов в мин – от 1500 до 20000.

Вес отдельных машин – до 100 тонн.

По КПД центробежные компрессоры уступают поршневым, однако создание поршневых компрессоров на высокие производительности встречает непреодолимые трудности.

Винтовые компрессоры – компрессоры, где рабочая полость сначала изолируется, потом уменьшается в объеме, введенный в нее газ сжимается, затем полость раскрывается и сообщается с областью нагнетания, куда вытесняется сжатый газ. Развиваемое конечное давление не зависит от скорости и определяется сопротивлением внешней сети, а производительность прямо пропорциональна числу оборотов, т.е. давление и производительность могут изменяться независимо друг от друга.

Эти компрессоры мало чувствительны к толчкам и ударам (что важно при использовании в наземных транспортных и передвижных установках), имеют малые габариты и удельные металлозатраты, отсутствует необходимость в газосборнике большой емкости, т.к. подача газа – равномерная, не нужен фундамент тяжелого типа, т.к. отсутствуют поступательно движущиеся части, нагнетаемый газ не загрязняется смазкой.

Производительность – от 0,01 м³/с до 11 м³/с;

Степень сжатия – от 2,5 до 10 (обычно не более 8);

Число оборотов порядка 10000 об/мин (ведущие ротора).

Приводы – электродвигатели, дизели, паровые турбины.

Могут изготавливаться охлаждаемые и неохлаждаемые компрессоры. Охлаждение корпуса – водяное или воздушное (при степени сжатия более 5), охлаждение ротора – пропусканием сквозь него масла.

Высокая надежность и простота эксплуатации винтовых компрессоров также заслуживает внимания.

Надежность и долговечность компрессорных машин находится в прямой зависимости от качества их конструкции, изготовления и монтажа.

При проектировании нового типа компрессора учитываются

современные достижения науки и техники, результаты экспериментально-исследовательских работ, опыт эксплуатации и доводки.

Задача проектирования техпроцесса и организации производства состоит в том, чтобы создать условия для высокого качества изготовления компрессоров.

Основные технические требования, предъявляемые к деталям компрессоров, которые определяют особенности техпроцесса, следующие:

- детали должны изготавливаться из материалов, предусмотренных чертежами, которые по своим свойствам должны соответствовать установленным нормам (ГОСТ, ТУ и др.);

- отливки и поковки не должны иметь пороков, которые могли бы по форме, геометрическим размерам и внутренней структуре препятствовать изготовляемым из них деталям выполнять своё назначение;

- отливки и сварные конструкции и соединения, предназначенные для работы под давлением, а также содержащие воду или масло, должны быть герметичными и выдерживать установленные для них гидравлические и другие испытания;

- не подвергающиеся обработке поверхности деталей, находящиеся снаружи машины, должны быть очищены в такой мере, чтобы они обеспечивали возможность качественной декоративной отделки машины;

- детали должны быть изготовлены в соответствии с размерами, допусками и требованиями к качеству поверхностей, указанными в чертежах;

- при обработке, сборке, хранении и транспортировке деталей должны быть приняты меры против поломок, корродирования, надиров, забоин и других видов порчи, снижающих качество деталей;

- выполнение операций, недоступных или труднодоступных для контроля их качества (сварка, пайка, клейка и др.) должно

поручаться квалифицированным рабочим;

- сборочные и пригоночные работы должны выполняться точно и тщательно, особенно при центровке.

Основные технические требования, предъявляемые к компрессорам:

- при сборке компрессоров должна производиться установленная маркировка деталей и сборочных единиц, обеспечивающая удобство комплектации и упаковки;

- вращающиеся части компрессоров должны быть статически и динамически уравновешены;

- компрессоры должны быть испытаны на стенде с целью выявления качества центровки и сборки, проверки на соответствие рабочим характеристикам;

- после испытания компрессоры должны быть законсервированы и упакованы.

1.2. Технологическая характеристика компрессорного производства

Компрессоры общего назначения, используемые для обеспечения сжатым воздухом различных пневматических инструментов, устройств и оборудования, выпускаются серийно и крупносерийно. Специальные и холодильные компрессоры выпускаются мелкосерийно и серийно. Тяжелые мощные компрессоры выпускаются индивидуально.

Количество наименований деталей для компрессора в полном объеме поставки достигает до 1000-1500.

Структура применяемых материалов.

Чугун (заготовки) составляет 45-65% общего веса всех материалов. Припуски на обработку чугунных отливок 10 - 50 мм. Коэффициент использования металла 0,8-0,85. Изготовление отливок по деревянным моделям в земляные формы. Контроль качества отливок ведется в литейных цехах. Определение механических свойств выполняется по методу поплавочного контроля

(образцы – свидетели).

Углеродистая сталь марок 2, 20, 25, 30, 40, 45, 40А, 45А составляет 32-50% общего веса материалов.

Метод получения заготовок – литье, свободная ковка на молотах и кузнечных прессах. Припуски на механическую обработку 10-60 мм, коэффициент использования металла 0,45-0,55.

Легированная сталь марок 40Х, 45Х, 40Н, 43Н, 20ХМ, 12ХНЗА, 30ХГСА, 35ХНМ составляет до 5% общего веса материалов. Контроль кузнечных заготовок – по размерам и химическому составу (экспресс метод-спектроанализ) производится в цехах. Испытание механических свойств поковок после грубой обработки и термообработки. Припуски на механическую обработку 10-60 мм, коэффициент использования металла 0,45-0,55.

Цветные металлы (медь, бронза, латунь, баббит, припой) применяются с большим ограничением и составляют до 5% общего веса материалов.

Прочие материалы (резина, паронит) составляют до 1% общего веса материалов.

В механо-сборочных цехах для изготовления многих деталей (особенно корпусных) применяется разметка (10% всего объема станочных работ).

Механическая обработка деталей производится в основном на универсальном оборудовании. Основное оборудование: крупногабаритные станки (токарные и токарно-винторезные с высотой центров 150-750 мм и расстоянием между центрами 750-10000 мм; револьверные станки для обработки пруткового материала диаметром до 5 мм; одностоечные карусельные станки (диаметр планшайбы до 1200 мм); двухстоечные карусельные станки (диаметр планшайбы до 5000 мм); вертикально-сверлильные станки для обработки отверстий диаметром до 50-75 мм; радиально-сверлильные станки для обработки отверстий от 5 до 75 мм при вылете хобота до 3000 мм; горизонтально-расточные

станки имеют диаметр расточного шпинделя от 50 до 5000 мм; продольно-фрезерные станки с рабочей поверхностью стола 1250×4250 мм; плоскошлифованные станки с диаметром стола от 300 до 1000 мм; продольно-строгальные станки обеспечивают обработку деталей шириной до 2000 мм и длиной до 8000-10000 мм). Характеристика универсального оборудования не всегда устраивает производство, поэтому прибегают к «малой» модернизации, то есть приспособлению отдельных станков для выполнения непредусмотренных их конструкцией функций, сохраняя в то же время возможность его нормального использования (например, плоско-шлифовальный станок может быть приспособлен для обработки шпоночных пазов на валах).

В последние годы широко внедряются специальные станки (для обработки шатунных шеек и внутренних щек коленвала, для фрезерования лопаток в цельнофрезерованных дисках центробежных компрессоров). Удельный вес таких станков будет возрастать с увеличением программы, объема нормализованных деталей или отдельных элементов деталей и с организацией групповых методов обработки.

Находят применение станки с программным управлением и агрегатные станки.

Трудоемкость механообработки составляет 50-60%; слесарно-сборочных работ 40-50% от всей трудоемкости изготовления компрессора.

Технологический цикл производства крупных компрессоров составляет 60-80 дней, малых – 30-40 дней. При индивидуальном производстве применяются специальные приспособления, режущие и мерительные инструменты только для тех деталей, которые не могут быть обработаны с помощью универсальных приспособлений и инструментов. С увеличением выпуска до 80-100 изделий в год появляется экономическая целесообразность производств обработки большинства деталей при помощи специальной технологической оснастки.

Степень оснащённости техпроцессов изготовления деталей компрессоров может быть оценена коэффициентами оснащения приспособлениями – K_n , режущими – K_p и измерительными инструментами – K_u по формулам:

$$K_n = \frac{П}{D_o}, \quad (1.1)$$

$$K_p = \frac{P_u}{D_o}, \quad (1.2)$$

$$K_u = \frac{I_u}{D_o}, \quad (1.3)$$

где: $П$ – количество наименований специальных приспособлений, P_u – количество наименований специального режущего инструмента, I_u – количество наименований специального измерительного инструмента, D_o – количество оригинальных деталей, то есть деталей, ранее не изготавливавшихся заводом.

1.3. Направления развития компрессоростроения

В области конструирования необходимо разрабатывать нормальные ряды (типы и основные рабочие параметры) компрессоров, сокращать номенклатуру типоразмеров, совершенствовать конструкции винтовых компрессоров, совершенствовать конструкции компрессоров в направлении упрощения и технологичности конструкций.

В области технологии и организации производства – снизить себестоимость изготовления компрессоров и улучшить их качество для чего:

- в заготовительных цехах шире внедрять механизацию загрузки вагранок, землеприготовление и выбивку опок, машинную формовку деталей и изготовление стержней. Изготовление заготовок – поковок перевести на штамповку. Механизировать

процессы очистки и обрубки литых и кованных заготовок (гидро-струйная и пневматическая обрубка). Наладить получение заготовок близких по своим размерам к чертежным размерам деталей. Применение литья в кокиль, по выплавляемым моделям позволит уменьшить припуски на механообработку и снизить отходы металла;

- в механосборочных цехах внедрять более совершенную прогрессивную технологию (повышение коэффициента оснащённости техпроцессов, особенно увеличивать число сложных приспособлений, специальных наладок); применять более широко универсально – сборные приспособления (УСП) и универсально – сборные накладные кондукторы (УСНК); шире внедрять агрегатные станки, специализированные и специальные; шире применять типовые техпроцессы на основе конструктивно – технологической классификации деталей и сборочных единиц.

Следует также специализировать компрессорные заводы, то есть производство на каждом заводе ограниченного количества типоразмеров компрессоров одного конструктивного ряда. При этом ряд унифицированных сборочных единиц и нормализованных деталей могут поставлять специализированные заводы (например, поршневые кольца, клапана, автоматику).

2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ КОМПРЕССОРОВ

2.1. Технология изготовления блок-картеров поршневых компрессоров

Блок-картеры являются основными базовыми деталями компрессоров. На них монтируются и координируются с необходимой точностью все остальные элементы и детали компрессоров и устанавливается правильное их взаимодействие. Вертикальные крейцкопфные машины имеют станину с крейцкопфными направляющими, которая крепится на картере и, в свою очередь,

выполняет роль базовой детали для цилиндров или цилиндрических блоков.

Основное требование к конструкции этих базовых деталей – обеспечение жесткости, способной противостоять усилиям, возникающим при работе компрессора.

Технические требования к изготовлению:

- скрытые пороки литья, выявленные в процессе механообработки, должны быть устранены или «залечены» соответствующими способами до гидроиспытания;

- внутренние поверхности корпусов и других элементов по стыковочным разъемам должны совпадать между собой без уступов и перекосов, снаружи при этом не должен нарушаться декоративный вид компрессора (перекрывание фланцев, плоскостей разъемов равномерное);

- обработка стыковочных плоскостей должна обеспечить необходимую параллельность (не более 0,02 мм на 100 мм длины плоскости), а при необходимости и герметичность;

- фиксация постоянства взаимного положения стыковочных элементов должна быть выполнена таким образом, чтобы она не нарушалась во время сборки и разборки в процессе изготовления, а также и в процессе эксплуатации;

- геометрические формы, размеры, допуски и качество обработки должны соответствовать требованиям чертежа и технических условий. Особое внимание должно быть уделено созданию (обеспечению) соосности отверстий под коренные подшипники (в пределах допуска на диаметр), перпендикулярности осей отверстий коренных подшипников к оси поверхности направляющих кривошипа (неперпендикулярность должна быть меньше или равна 0,02 мм на 100 мм длины), нормальной овальности и конусности отверстий под подшипники качения;

- отливки должны пройти гидроиспытание (для воздушных и газовых компрессоров водой без давления, для холодильных компрессоров – водой под давлением до 16 атм. и воздухом под

давлением до 10 атм.

Устранение пористости отливок

Отливки, давшие при гидроиспытании течь (отпотевание, каплеобразование), уплотняются пропиткой дефектных мест бакелитовым лаком; водным раствором хлорного железа и натровой селитры. Детали, пропитанные бакелитовым лаком, обладают хорошей стойкостью в различных средах (воздух, вода пресная и морская, нефть, масло, пар) при температуре до 250 °С. При более высокой температуре стойкость деталей ухудшается, так как уже при 300 °С бакелит горит.

Перед пропиткой бакелитовым лаком отливки подвергаются тщательной дробеструйной или пескоструйной очистке и просушиваются в течение 1 часа при температуре 120-140 °С.

Детали с незначительной пористостью пропитываются жидким лаком с содержанием 30-50 % смолы, что соответствует удельному весу лака 0,95-1,0.

Детали с более крупными пороками пропитываются более густым лаком с содержанием смолы 50-60 % и добавкой наполнителя – порошкообразной чугунной стружки примерно такого же состава, как и пропитываемый чугун. При наличии в отливке мелких и крупных пор пропитка вначале производится жидким, а затем густым бакелитовым лаком.

Растворитель бакелитового лака – спирт-сырец или ректификат.

Пропитка – односторонняя и всесторонняя (в вакууме и без него).

Односторонняя пропитка – крупные и тяжелые отливки (картеры, цилиндры). Лак подается в закрытую со всех сторон внутреннюю полость отливки, в которой ручным гидравлическим насосом создается давление. Величина давления на 2 – 5 атм. выше давления гидроиспытания.

Пропитка производится на стенде для гидроиспытаний.