

Общая характеристика работы

Актуальность работы. С помощью резьбы получают неподвижные соединения, обеспечивающие точную фиксацию относительного положения деталей. К показателям качества резьбовых неподвижных соединений относятся: статическая прочность, усталостная прочность, стопорящие свойства и их стабильность. Обеспечение вышеуказанных показателей качества в настоящее время осуществляется в большинстве случаев посредством конструкторских методов. В некоторых случаях конструктивными методами решать задачу повышения качества невозможно. [1-3]

В этой связи, безусловно, актуальными являются исследования, направленные на решение задач по технологическому обеспечению качества резьбовых соединений на основе выбора рациональных способов обработки (в большей степени это касается внутренних резьбовых поверхностей) и сборки резьбовых соединений исходя из их функционального назначения.

Целью исследований является повышение производительности и качества резьбообрабатывающих операций в алюминиевых деталях на основе гладкорезьбовых технологий в условиях механосборочного и ремонтного производства.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать известные технологические методы и способы нарезания резьб в деталях из алюминиевых сплавов, режимы нарезания гладкорезьбовых соединений;

- проанализировать влияние основных параметров резьбы на прочность резьбовых соединений деталей из алюминиевых сплавов и шпилек из конструкционных сплавов;

- провести анализ формирования способов посадки шпильки в корпусе;

- обосновать влияние технологии изготовления на качество поверхностного слоя резьбы.

Объект исследования – процесс формообразования внутренних резьб в деталях из алюминиевых сплавах .

Предмет исследования – закономерность процесса формирования резьбы при гладкорезьбовых методах обработки.

Новизна технологии получения внутренних резьб в деталях из алюминиевых сплавов, снижения энергоемкости, материалоемкости и тем самым защиты окружающей среды, заключается в совершенствовании и развитии гладкорезьбовых технологий.

Структура работы. Выпускная работа состоит из введения, аналитической части, основной части, экономической части, охраны труда и окружающей среды, общих выводов, списка использованных источников, приложений.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи исследований, новизна технологии.

Аналитическая часть посвящена анализу современного состояния исследований по теме. Проведен анализ служебного назначения центробежного насоса топливного, который предназначен для создания давления перед насосами основного и дополнительного контура авиационного двигателя. Приведены технические данные, структура, принцип работы центробежного насоса. Схема центробежного насоса приведена на рис. 1.

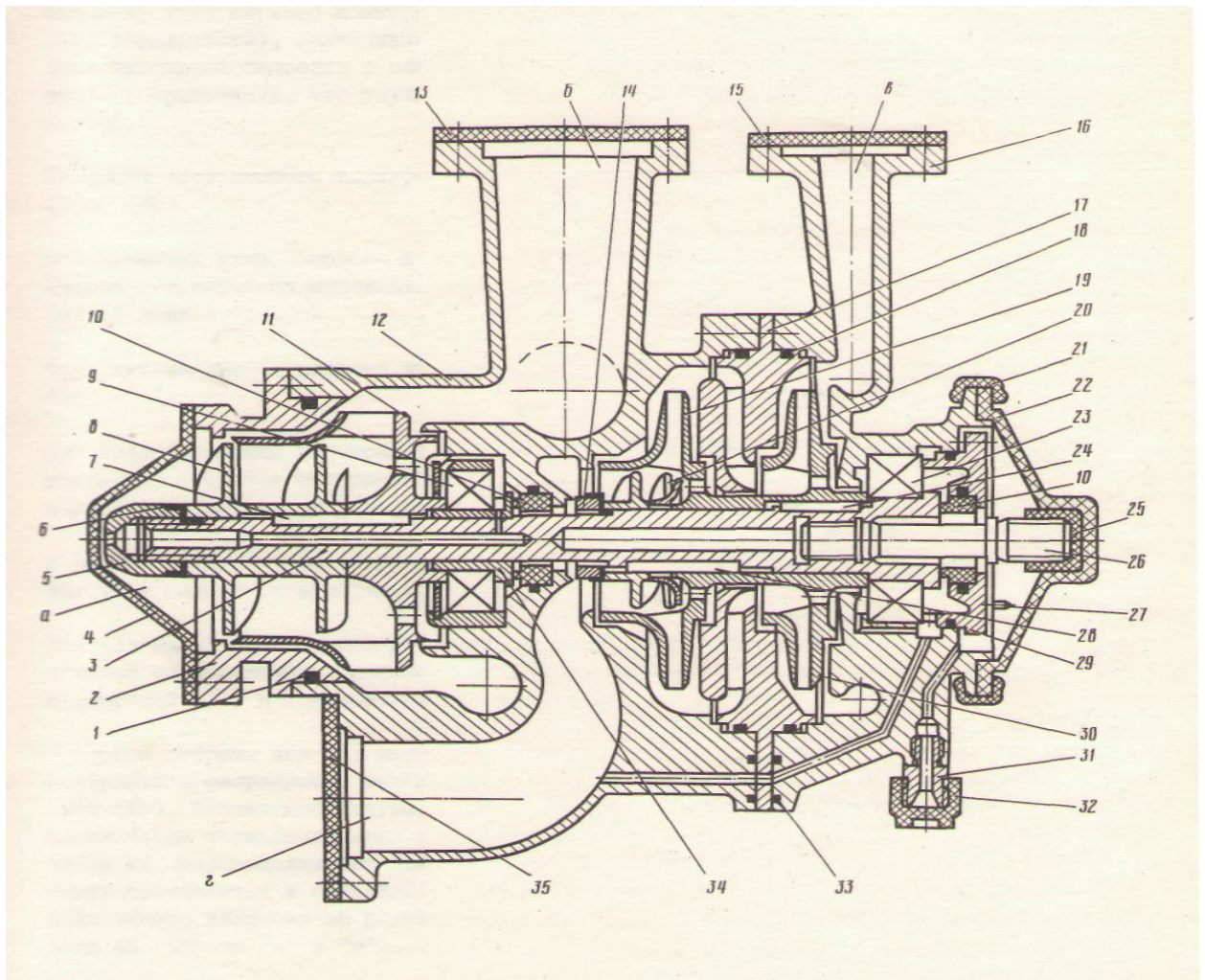


Рис. 1 Схема центробежного насоса

Процесс нарезания резьб в алюминиевых сплавах сопровождается возникновением высоких локальных температур от 150-500°C, в следствии чего отдельные компоненты СОТС могут превращаться в токсичные. Применение масляных СОТС приводит к выбросу в окружающую среду масляного аэрозоля и продуктов термоокислительной деструкции. Серьезное влияние на экологические свойства СОТС оказывают присадки, которые вводятся для улучшения антикоррозионных, трибологических и др. свойств и могут изменять токсичность СОТС и характер их воздействия на живые организмы. Все большее применение находят присадки, содержащие в одном соединении серу, хлор и фосфор. [4]

С целью совершенствования производственных процессов и структур, а также для проведения активной экологической политики необходимо внедрять на машиностроительных предприятиях международные стандарты ISO14000 и особенно центральный документ этой серии – ISO14001 «Спецификации и пособие по использованию систем экологического менеджмента», который был разработан для внутреннего использования на предприятиях.

С точки зрения актуальности Экологического подхода следует также обратиться к стандартам серии ISO9000:2000, касающихся систем управления качеством.

Самыми актуальными и перспективными являются два подхода к решению проблем защиты окружающей среды на предприятии:

1. Внедрение системы управления окружающей средой согласно принципам стандартов серии ISO14000;
2. Внедрение системы управления качеством экологической политики, основанной на принципах стандартов ISO9000:2000.

Проведен анализ технологических методов и способов нарезания внутренних резьб на деталях из алюминиевых сплавов.

Для получения неподвижного резьбового соединения типа шпилька-корпус (алюминиевый) широко применяют резьбу с натягом по среднему диаметру[3,5]. Посадки с гарантированным натягом требуют установления малых величин допусков по среднему диаметру. Прибольших допусках и сочетании размеров, создающем наименьший натяг, не гарантируется

отсутствие проворачивание шпилек, а при наибольшем натяге возможно разрушение шпильки или срезание резьбы гнезд. Форма впадины резьбы шпильки должна быть закругленной. Номинальный радиус закругления $0,144 P$, наименьший $0,1 P$. Предельные отклонения диаметра d не устанавливаются. Для устранения заклинивания при свинчивании тугой резьбы по наружному и внутреннему диаметрам предусмотрены гарантированные зазоры. При этом учтено, что после свинчивания резьбовой пары вследствие пластической деформации витков наружный диаметр резьбы шпильки увеличивается, а внутренний диаметр резьбы гнезда уменьшается пропорционально увеличению натяга. Вследствие этого действительные зазоры по наружному и внутреннему диаметрам значительно меньше нормированных. Для резьб с натягом установлены допусковые отклонения половины угла профиля и шага резьбы шпилек и гнезд на длине свинчивания.

В ряде случаев при изготовлении корпусных деталей из легких сплавов алюминия и магния вместо обычного соединения типа шпилька — корпус применяют соединение типа болт — промежуточная втулка — корпус. При этом втулку 1 вворачивают в корпус 2 на резьбе с натягом, а болт во втулку — на резьбе с зазором (рис. 1.2,а).

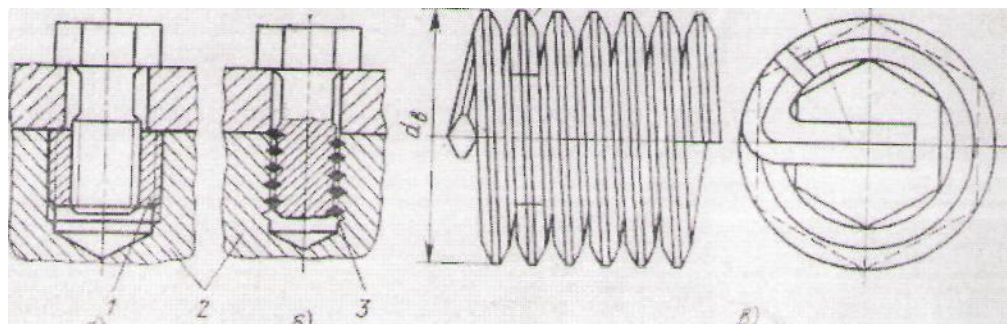


Рис. 2 Схемы завинчивания болта в корпус из легкого сплава с применением втулки и упругой вставки

Проведен анализ равномерности распределения нагрузки между витками резьбы.

Известно [5], что вследствие различия деформаций болта (растяжение) и гайки (сжатие) усилия между витками резьбы на длине свинчивания распределяются неравномерно.

Известно[5], что наиболее нагружены верхние и нижние нитки. Внесение конструктивных улучшений позволяет снизить уровень нагрузки на наиболее нагруженном верхнем витке. Введение разгружающих конусов приводит, например, при уровне нагрузки $Q=1,3$ МН к снижению максимальной нагрузки на первый виток примерно на 30%.

Для оценки неравномерности распределения нагрузки по виткам резьбы введен коэффициент неравномерности

$$\kappa_R = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\text{ср}}} \quad (1)$$

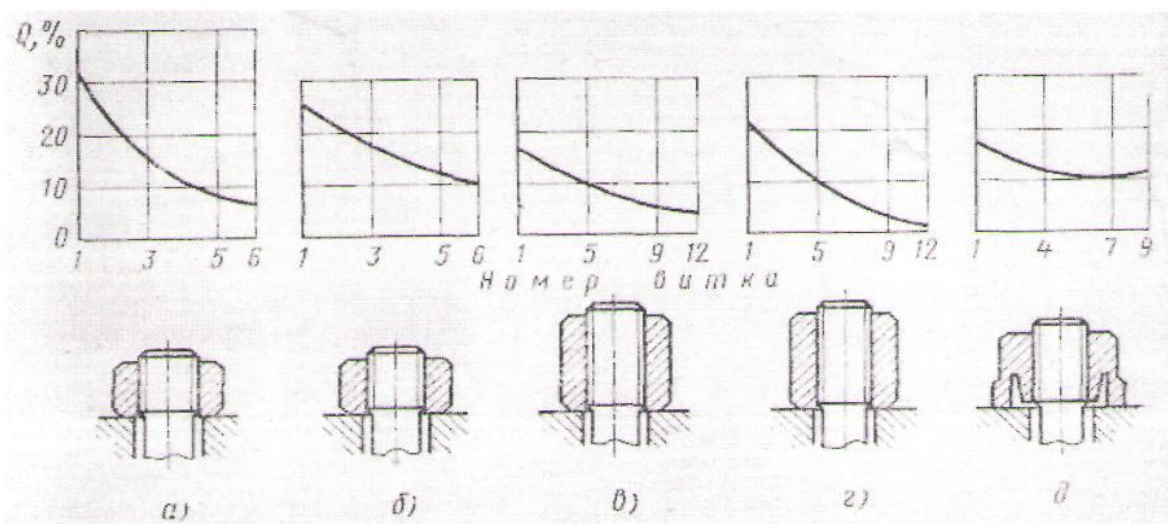


Рис. 3 Графики распределения нагрузки по виткам в зависимости от материала и конструкции гайки: *a*—болт и гайка — стальные; *б* — болт — сталь, гайка — титановый сплав; *в* — болт — сталь, гайка — алюминиевый сплав; *г* — болт — титановый сплав, гайка — алюминиевый сплав; *д*—болт и гайка — титановый сплав.

Любое резкое изменение формы детали приводит к местному увеличению напряжений, которое принято называть местной концентрацией напряжений. В резьбовых соединениях концентраторами местных напряжений являются

подголовочный переход болта, сбег резьбы и сама резьба. Причинами концентрации напряжений могут быть также технологические дефекты в виде рисок, следов обработки и клеймения, которые необходимо избегать. Фактическое напряжение в зоне концентрации значительно превышает номинальное напряжение, вычисленное по обычным формулам без учета концентрации напряжений. Отношение наибольшего напряжения в зоне концентрации к номинальному называется теоретическим коэффициентом концентрации напряжений

$$K_T = \sigma_{\max} / \sigma \quad (2)$$

Значения K_T можно определять как теоретически, так и экспериментально (методами фотоупругости, тензометрирования малогабаритными датчиками и другими способами).

Важной характеристикой резьбового соединения является и эффективный коэффициент концентрации напряжений в резьбе

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_p}{\sigma_{an}} \quad (3)$$

где σ_p и σ_{an} — предел выносливости гладкого образца и резьбового соединения.

Таким образом, за счет увеличения радиуса впадины резьбы можно существенно снизить концентрацию напряжения в резьбовом соединении. Рекомендуют следующие приближенные зависимости для определения теоретического коэффициента концентрации напряжений в резьбе:

в рабочей части

$$K_{TP} = 1 + 1,57 \sqrt{P/R} \quad (4)$$

в свободной части

$$K_{TC} = 1 + 0,65 \sqrt{P/R} \quad (5)$$

Значительное снижение концентрации напряжений в головке болта может быть достигнуто увеличением радиуса галтели. На основе обширных исследований [7,8] для практических расчетов теоретического коэффициента концентрации напряжений под головкой болта предложена следующая приближенная формула:

$$K_{T6} = 1 + 1,1 \sqrt{d/R} \quad (6)$$

где d - диаметр стержня болта

Анализ влияния технологии изготовления на качество поверхностного слоя резьбы.

Несущая способность резьбовых соединений в значительной степени зависит от качества поверхностного слоя резьбы, формируемого в процессе ее изготовления. Качество поверхностного слоя характеризуется макро- и микронеровностями (шероховатостью), макро- и микроструктурой, степенью и глубиной наклепанного слоя, величиной и знаком остаточных напряжений, а также физическими параметрами, связанными с искажением кристаллической решетки, плотностью дислокаций и др. В свою очередь, качество поверхностного слоя резьбы во многом определяется способом и технологическими режимами ее изготовления.

При механической обработке на профиле резьбы появляются микронеровности, а в поперечном и продольном сечениях резьбовой детали образуются макронеровности: овальность, огранка, конусо- и седлообразность, другие отклонения от правильной геометрической формы. Макронеровности составляют значительную часть допуска на средний диаметр резьбы и существенно влияют на качество посадки, увеличивая зазор (при контроле резьбы

комплексными калибрами) и уменьшая натяг в соединении. Однако макронеровности не приводят к повышению концентрации местных напряжений и не влияют существенно на выносливость резьбовых соединений.

Микронеровности, образующиеся в результате воздействия инструмента на обрабатываемую поверхность, а также упругопластическая деформация металла, оказывают большое влияние на выносливость резьбовых соединений. Чем глубже микронеровности и острее их впадины, тем в большей степени снижается усталостная прочность резьбовых соединений, их коррозионная стойкость, так как в большей степени возрастают местные напряжения, способствующие образованию усталостных трещин. В связи с этим для повышения выносливости резьбовых соединений необходимо стремиться при любом способе изготовления резьбы к наименьшей шероховатости поверхности резьбы и, особенно, ее впадины.

Выводы

Анализ работ и состояния проблемы технологического обеспечения и повышения качества резьбовых соединений исходя из их функционального назначения позволяет сделать следующие выводы:

1. Резьбовые соединения в зависимости от функционального назначения должны обеспечить следующие эксплуатационные свойства: неподвижные - статическую и усталостную прочность, стопорящие свойства; подвижные - износостойкость.

2. В настоящее время большое внимание уделяется конструкторскому обеспечению данных эксплуатационных свойств. Значительно меньше внимания уделяется их технологическому обеспечению.

3. Недостаточное отражение в литературе находит вопрос обеспечения стабильности стопорящих свойств резьбовых соединений в эксплуатации.

4. Анализ возможностей технологических методов обработки внутренней резьбы с заданной точностью выявил большие сложности, вызванные небольшим набором методов резьбообработки. Эта проблема решается в настоящее время за счет разработки новых конструкций метчиков, которая на каждом предприятии ведется, как правило, самостоятельно, или за счет введения дополнительных слесарных операций для чистовой обработки резьбы, что значительно снижает производительность обработки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Плохая обрабатываемость резанием ряда марок алюминиевых сплавов в наибольшей степени проявляется при нарезании резьб, что объясняется особенностями процесса резания на этих операциях, связанных со снятием малых толщин среза, при этом удаление слоев металла происходит не только по одной прямолинейной главной режущей кромке (как, например, при развертывании), но и по кромкам, имеющим форму треугольника, трапеции. Наибольшие затруднения возникают при нарезании резьб малого диаметра, особенно глухих, метчиками.

Гладкорезьбовые соединения. Методологической основой магистерской работы является системный подход к изучению и описанию взаимосвязи эксплуатационных свойств неподвижных резьбовых соединений. Для этого проводились исследования статической и усталостной прочности, стопорящих свойств и их стабильности шпилечных гладкорезьбовых соединений. Сборка гладкорезьбовых соединений осуществлялась на сверлильных станках. Материалом деталей с внутренней резьбой являлись алюминиевые литейные сплавы, материал шпилек – конструкционная сталь. Повышение статической прочности резьбовых соединений технологически незначительно и реализуется двумя способами: применением пластического деформирования для упрочнения поверхности резьбы, что целесообразно для шпилечных резьбовых соединений с корпусными деталями из алюминиевых сплавов и обеспечением равномерности распределения нагрузки по виткам резьбового соединения за счет формирования необходимой прямой конусности резьбы отверстия. Суммарная величина конусности выражается:

$$\Delta_k = 1,732(\Delta P + \Delta P_k), \quad (7)$$

где ΔP – отклонение шага на длине рабочей части;

ΔP_k – контактные деформации рабочих поверхностей из-за смятия микронеровностей при затяжке резьбового соединения.

Конусность резьбы нарезанной стандартным метчиком может иметь большие значения и, как показали исследования, составляет 20% от допуска на средний диаметр внутренней резьбы, что для принятого диапазона при точности резьбы 4Н составляет 20-35мкм. Таким образом, данные внутренние резьбы не могут обеспечивать равномерность распределения нагрузки по виткам. Для повышения надежности резьбовых соединений необходимо уменьшить и стабилизировать разбивку резьбы в виде

конусности до величины $0,1TD_2(4)$ при нарезании метчиками. Это можно достигнуть либо путем увеличения точности метчиков (уменьшение погрешности шага их резьбы), что весьма проблематично, либо применения других методов обработки резьбы, а именно, методов пластического деформирования или комбинированной обработки. По сравнению со статической прочностью, усталостная прочность и стопорящие свойства отличаются большими возможностями в технологическом управлении, что и предопределено уделению им в работе основного внимания. Для повышения надежности и долговечности резьбовых соединений шпилька-корпус из алюминиевых сплавов предложены так называемые гладкорезьбовые соединения и разработана технология их получения. Данные соединения реализуются посредством ввинчивания шпилек в гладкие отверстия корпусных деталей, выполненных из алюминиевых и магниевых сплавов. Для данных соединений, исходя из условия равнопрочности стержня шпильки и резьбы, определен диаметр исходного отверстия:

$$D_0 = \sqrt{d^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{2d}{3P \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{d_2}{P \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right) + D_1^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{2D_1}{3P \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{d^2}{P \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right)} \quad (8)$$

Разработана технология получения данных соединений на универсальных станках и станках с ЧПУ, разработаны конструкции патронов для сборки на различном оборудовании, проведены исследования эксплуатационных свойств.

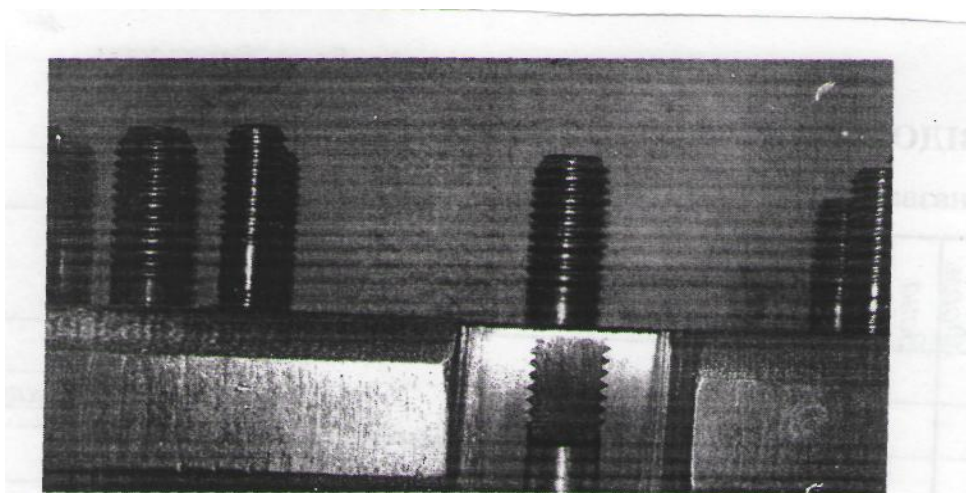


Рис.4 Гладкорезьбовое соединение

При реализации гладкорезьбовых соединений: за счет положительного влияния процесса пластического деформирования резьбы наблюдается

повышение практически всех эксплуатационных свойств, необходимых для крепежных резьбовых соединений: статической прочности, усталостной прочности, стопорящих свойств, и, особенно значительно, стабильности стопорящих свойств в процессе эксплуатации; значительно упрощается возможность автоматизации и механизации процесса сборки резьбового соединения; повышается производительность и снижается себестоимость изготовления соединения за счет исключения операции нарезания резьбы в отверстии корпуса, отсутствия необходимости применения селективной сборки и т.п. На рисунке представлены результаты исследования статической прочности от метода изготовления резьбы (1-раскатник, 2 - комбинированный метчик, 3 - режущий метчик).

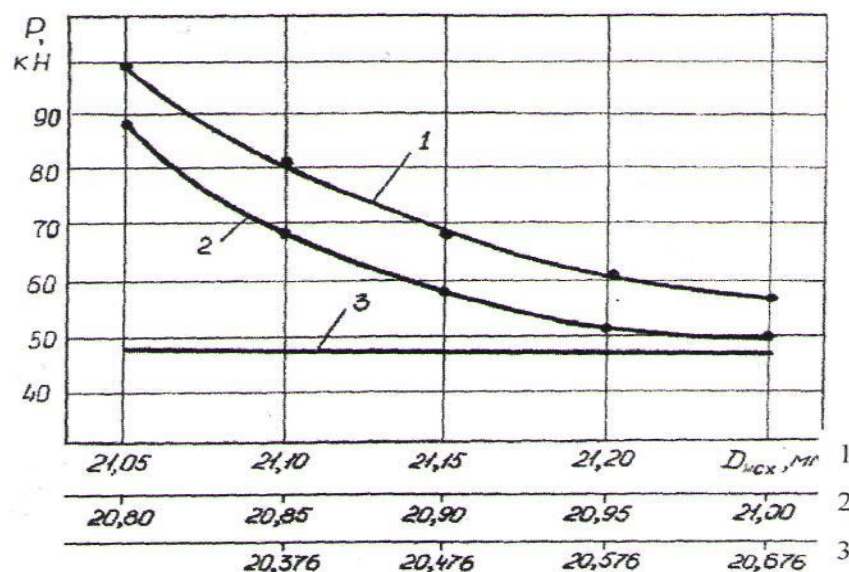


Рис. 5 Зависимость статической прочности от метода обработки резьбы.

Гладкорезьбовые соединения позволяют решить проблему технологического обеспечения качества одноступенчато за счет назначения оптимального размера диаметра исходного отверстия; значительно упростить возможность автоматизации и механизации процесс сборки резьбового соединения; повысить производительность и снизить себестоимость изготовления соединения за счет исключения операции нарезания резьбы в отверстии корпуса, отсутствия необходимости применения селективной сборки и т.п.

Шпильки для резьбовых соединений. Шпильки применяют преимущественно для соединения корпусов из легких сплавов и чугунов, у которых во избежание разработки витков предпочтительна посадка ЗНБН/Зп к резьбе. Учитывая механические свойства этих материалов, применяют крупные резьбы (по верхним для каждого данного диаметра резьбы

значениям s/d), в среднем с шагом, не меньшим 1,25—1,5 мм. Длину заворачивания l делают равной: для корпусов из стали, высокопрочных чугунов и титановых сплавов $1,25—1,5d$; бронз и серых чугунов $1,5—2d$, сплавов Al и Mg $2—2,5d$. Прочность соединения шпилек по многом зависит от способа заворачивания. При заворачивании с упором в обрез отверстия (1) в резьбовом поясе шпильки возникают растягивающие напряжения, наибольшие в начальном витке, совпадающем с обрезом отверстия, а в резьбовом поясе корпуса — напряжения сжатия. При нагружении соединения силой предварительной затяжки напряжения растяжения в шпильке и сжатия в корпусе возрастают.

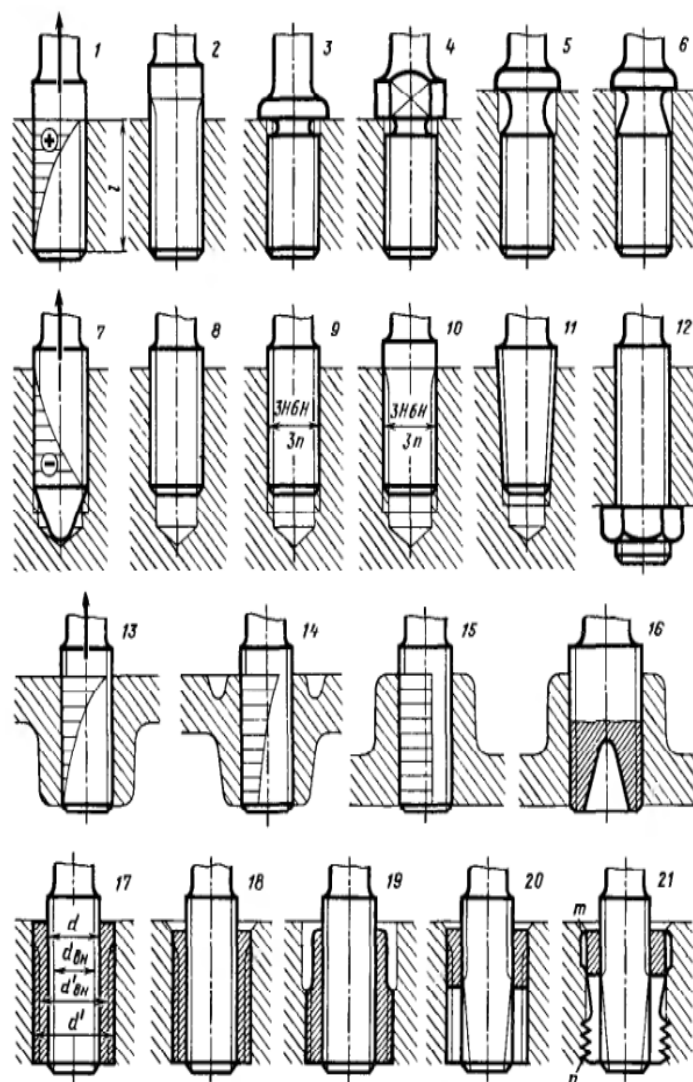


Рис. 6 Установка шпилек

С приложением рабочей нагрузки в корпусе возникают растягивающие напряжения. Напряжения растяжения в шпильке возрастают, но одновременно уменьшается сила, оказываемая на шпильку сжатым участком корпуса. Суммарное напряжение растяжения в шпильке зависит, с одной стороны, от рабочей нагрузки, а с другой — от напряжения сжатия, созданного в корпусе при заворачивании, т. е. от силы затяжки шпильки в корпусе. Конструктивные разновидности крепления: упор в витки резьбы шпильки, нарезанной «на выход» (2), в буртик (3), в головку (4), используемую для заворачивания шпильки. Для уменьшения концентрации напряжений, а также для обеспечения обработки резьбы наиболее производительным способом накатывания участок перехода резьбы в стержень выполняют в виде шейки с плавными галтелями (5, 6). В глухих отверстиях возможно заворачивание с упором удлиненного конца шпильки в днище отверстия (7) или с упором конечных витков шпильки в витки отверстия с неполным профилем (8). При заворачивании в резьбовом поясе шпильки образуются напряжения сжатия, наибольшие в конечном витке, а в резьбовом поясе отверстия — напряжения растяжения. При затяжке соединения в начальных витках шпильки возникают напряжения растяжения; напряжения сжатия в резьбе отверстия уменьшаются. С приложением рабочей нагрузки напряжения растяжения в шпильке возрастают, но конечное их значение меньше, чем при первом способе заворачивания. Конечные напряжения разрыва в корпусе больше, чем при первом способе вследствие сложения рабочих напряжений разрыва с напряжениями, созданными при заворачивании шпильки.

Таким образом, при первом способе заворачивания больше нагружается шпилька, а при втором — корпус. Максимальные напряжения в обоих случаях зависят от силы, приложенной к шпильке при ее заворачивании. Так как затяжка должна быть достаточно большой, чтобы предупредить самоотвертывания шпильки, то на практике возможно в первом случае перенапряжение шпильки, а во втором — корпуса. Следовательно, заворачивать шпильки необходимо регламентированной силой. Установка шпилек на самотормозящей резьбе (9) не вызывает в системе дополнительные напряжения, за исключением незначительных, обусловленных натягом напряжений радиального сжатия шпильки и растяжения стенок отверстия. Чтобы выдержать заданную высоту свободного конца шпильки, необходима регулировка глубины заворачивания, но ее можно избежать, если предусмотреть останов в виде гладкого пояса на шпильке (10). При затяжке на останов нельзя прилагать силы, превышающие

сопротивление в резьбе, обусловленное натягом, во избежание появления в шпильке дополнительных напряжений растяжения. Равноценные результаты дает установка шпилек на самотормозящей конической резьбе (11), но также при условии заворачивания регламентированной силой, иначе можно создать в резьбе чрезмерный натяг, ослабляющий отверстие и увеличивающий напряжения смятия на витках.

Рекомендации по использованию результатов исследований

На основе данных исследований предложен ряд новых технологий изготовления внутренней резьбы, в том числе: обработка комбинированными метчиками, гладкорезьбовые технологии.

На рис. 7 показан сборник центробежного насоса со шпильками вкрученными во внутреннюю резьбу, нарезанного комбинированными метчиками.

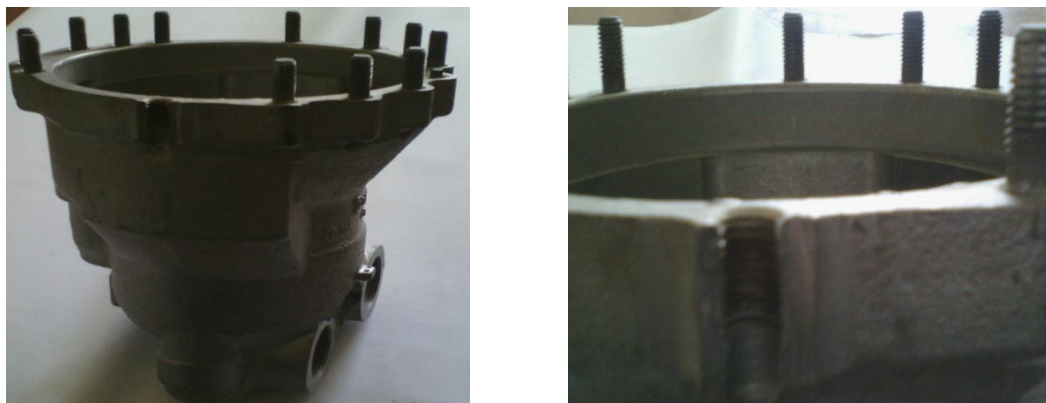


Рис. 7 Сборник центробежного насоса со шпильками в резьбовых отверстиях, обработанных комбинированным метчиком в алюминиевом сплаве АЛ-9

На рис. 8 показан алюминиевый корпус центробежного насоса с гладкорезьбовым соединением стальных шпилек.



Рис. 8 Гладкорезьбовое соединение корпуса из Аl-сплава со стальными шпильками

Экономическая часть

А экономической части приведена характеристика объекта исследований, проектные решения и факторы, которые обуславливают их экономическую эффективность.

Охрана труда и защита окружающей среды

Рассмотрены основные вредные и опасные производственные факторы на участке. Разработаны мероприятия по обеспечению благоприятных условий труда и защиты окружающей среды.

Выводы

1. Проведем анализ технологических методов получения резьбовых соединений алюминиевых деталей стальными шпильками исходя из функционального назначения изделий.

2. Установлены качественные параметры внутренних резьб, определяющие их эксплуатационные свойства: точность резьбы, качество их рабочих поверхностей и их взаимосвязь с надежностью и долговечностью.

3. Разработаны теоретические положения по обеспечению и повышению качества неподвижных резьбовых соединений на основе применения гладкорезьбового метода, повышающего стопорящие свойства, и их стабильность и статическую прочность.

4. Установлено, что для технологического обеспечения стопорящих свойств резьбовых соединений с натягом необходимо обеспечение оптимального натяга в соединении, что реализуется обеспечением точности изготовления резьбы. В процессе эксплуатации стопорящие свойства соединения снижаются. Причинами этого являются объемные пластические деформации в соединении, самопроизвольное увеличение пластических микроконтактных деформаций в витках резьбы и самоотвинчивание в условиях вибрационных нагрузок. Для технологического обеспечения стабильности стопорящих свойств в процессе эксплуатации необходимо осуществить перенос пластических деформаций из эксплуатации в технологию изготовления.

5. Разработаны рекомендации по использованию результатов исследований и реализованы отдельные их положения.