Лекция 11

5.1. Основные эксплуатационные требования к резьбовым соединениям

Резьбовые соединения благодаря их простоте, компактности и высоким эксплуатационным свойствам получили весьма широкое распространение во всех отраслях машиностроения. Более 60% всех деталей машин имеют резьбы. Первой из известных нам резьб стала резьба Витворта изобретенная в 1841 году.

Резьбовая поверхность образуется при винтовом перемещении плоского контура определенной формы по цилиндрической или конической поверхности (соответственно цилиндрические или конические резьбы).

Виды резьб их геометрические параметры, терминология определяются ГОСТ 11708-82 «ОНВ. Резьба. Термины и определения».

Резьба может быть получена на наружной и внутренней поверхностях деталей (наружная резьба – болт, шпилька, винт и т.д., внутренняя резьба – гайка, гнездо, муфта).

Резьбы могут быть классифицированы по назначению, профилю витков (виду контура осевого сечения), числу заходов, направлению вращения контура осевого сечения и единице измерения линейных размеров.

По назначению резьбы разделяются на общие и специальные.

К резьбам общего назначения относятся резьбы, предназначенные для применения в любых отраслях промышленности. К ним относятся:

✓ *крепежные* (метрические и дюймовые), применяемые для разъемного соединения деталей машин, основное назначение – обеспечение прочности соединения и сохранения плотности стыка в процессе длительной эксплуатации;

✓ *кинематические* (трапецеидальные и прямоугольные), применяемые для преобразования движений в различных винтовых механизмах (ходовые винты, винты суппортов станков и столов измерительных приборов), основное назначение – обеспечение плавности вращения и передача больших нагрузок;

✓ *трубные* и *арматурные* резьбы (трубные цилиндрические и конические, метрические конические), применяемые для трубопроводов и арматуры, основное назначение – плотное (герметичное) соединение изделий.

К резьбам специального назначения относятся резьбы, применяемые только в определенных изделиях некоторых отраслей промышленности (резьба для цоколей и патронов электроламп, окулярная резьба для оптических приборов и т.д.).

По профилю витков (виду контура осевого сечения) резьбы подразделяются на треугольные, трапецеидальные, прямоугольные, упорные (пилообразные), круглые.

По числу заходов – однозаходные и многозаходные.

По направлению вращения контура осевого сечения – на правые и левые резьбы.

По принятой единице измерения линейных размеров – на метрические и дюймовые.

Общими для всех типов резьб требованиями к взаимозаменяемости является обеспечение свинчиваемости наружной резьбы с внутренней резьбой деталей, образующих резьбовое соединение при их независимом изготовлении без подгонки или подбора и надёжное выполнение эксплуатационных функций (прочность).

Посадки резьбовых соединений (для резьб общего назначения и большинства специальных резьб) определяются в основном характером соединений по боковым сторонам профиля. Расположение полей допусков наружного и внутреннего диаметров исключает возможность получения натяга по вершинам и впадинам резьбы. Взаимное положение контактирующих боковых сторон профиля зависит от действительных значений или отклонений средних диаметров, шагов резьбы и углов наклона профиля.

Несмотря на существенные различия типов резьб, основные принципы достижения взаимозаменяемости, а также системы допусков и посадок резьбовых соединений являются едиными. Поэтому проблемы взаимозаменяемости резьбовых соединений мы будем рассматривать применительно к наиболее широко распространённым крепёжным метрическим резьбам.

5.2. Параметры крепёжных метрических резьб

К крепёжным резьбам относят метрическую и дюймовую. Дюймовая крепёжная резьба в настоящее время практически не применяется (за исключением англоязычных стран).

Метрическая резьба применяется главным образом в качестве крепежной для резьбовых соединений. Это объясняется тем, что по сравнению с другими резьбами метрические резьбы имеют наиболее высокий приведенный коэффициент трения.

Параметры метрических резьб и требования к ним определены в следующих документах:

ГОСТ 9150-2002 «ОНВ. Резьба метрическая. Профиль».

ГОСТ 24705-2004 «ОНВ. Резьба метрическая. Основные размеры».

ГОСТ 8724-2002 «ОНВ. Резьба метрическая. Диаметры и шаги».

Посадки метрических резьбовых соединений регламентированы:

ГОСТ 16093-2004 «ОНВ. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором».

ГОСТ 4608-81 «ОНВ. Резьба метрическая. Посадки с натягом».

ГОСТ 24834-81 «ОНВ. Резьба метрическая. Переходные посадки».

Стандарты устанавливает единый для метрических резьб номинальный профиль и формулы для определения параметров. Номинальный профиль, общий для наружной и внутренней резьбы, образуется из исходного равностороннего треугольного профиля высотой H путём среза вершин витков по наружному диаметру на $H/8$ и по внутреннему диаметру на $H/4$. Вершины выступов и впадин профиля изготавливаются срезанными по прямой или по дуге, что облегчает изготовление резьбы, уменьшает концентрацию напряжений и предохраняет резьбу от повреждений при эксплуатации.

Основными параметрами профиля и резьбы, непосредственно влияющими на прочность и свинчиваемость резьбового соединения и, таким образом, определяющими взаимозаменяемость деталей резьбового соединения, являются (рис. 5.1):

- ✓ $d_2(D_2)$ – средний диаметр наружной (внутренней) резьбы;
- ✓ $d(D)$ – наружный диаметр наружной (внутренней) резьбы;

✓ $d_1(D_1)$ – внутренний диаметр наружной (внутренней) резьбы;

P – шаг резьбы, для многозаходной резьбы – ход резьбы $P_n=P\times n$, где n – число заходов;

✓ α – угол профиля, составляющий для метрических резьб 60°.

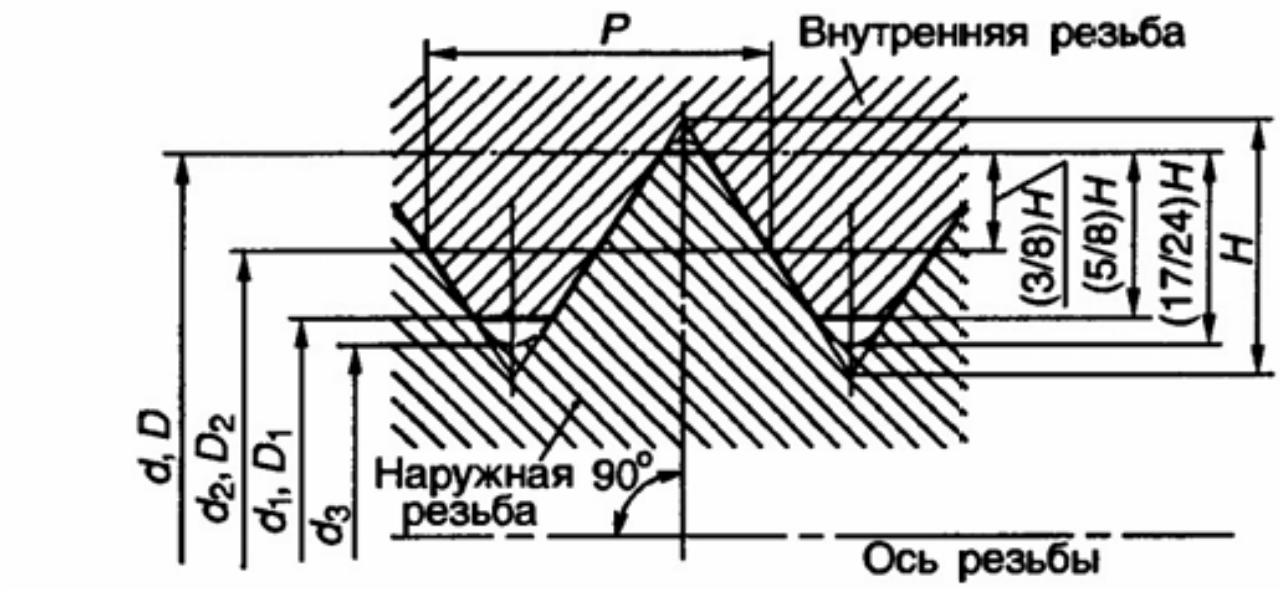


Рис. 5.1. Номинальный профиль резьбы.

Так как контакт наружной и внутренней резьб происходит по винтовой поверхности, то главным элементом резьбового соединения, определяющим его свинчиваемость, является средний диаметр резьбы, который не равен полусумме наружного и внутреннего диаметров резьбы.

Средний диаметр резьбы d_2; D_2 – диаметр воображаемого, соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы.

Наружный диаметр резьбы d; D – диаметр воображаемого цилиндра, описанного касательно к вершинам наружной или впадинам внутренней резьбы. *Для резьб именно наружный диаметр принимается за номинальный.*

Внутренний диаметр резьбы d_1; D_1 – диаметр воображаемого цилиндра, вписанного касательно к впадинам наружной или вершинам внутренней резьбы.

Шаг резьбы P – расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля, измеренное в направлении, парал-

лельном оси резьбы на расстоянии, равном половине среднего диаметра от этой оси. Для многозаходных резьб различают понятия ход и шаг. Ход резьбы определяет величину относительного осевого смещения гайки (болта) *за* один полный оборот и равен произведению шага на число заходов n_0 (при отсутствии погрешностей шага и других параметров). У однозаходной резьбы ход равен шагу.

Угол профиля резьбы α – угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости. Для резьб с симметричным профилем контролируют половины углов профиля $\beta = \alpha/2$. Для резьб с асимметричным профилем, например для упорной или конической, угол наклона каждой стороны определяется независимо.

Углом подъема витков резьбы (винтовой линии) ψ называется угол между касательной к винтовой поверхности в точке, лежащей на среднем диаметре резьбы, и плоскостью, перпендикулярной оси резьбы.

$$\psi = \operatorname{arctg}\frac{P}{\pi d_2}.$$

Для многозаходных резьб в числитель этой формулы подставляется вместо P произведение n_0P (n_0 – число заходов).

Длина свинчивания ℓ – длина соприкосновения винтовых поверхностей наружных и внутренних резьб в осевом сечении.

Высота исходного контура $H = 0{,}866025 \cdot P$.

Рабочая высота контура $H_1 = 0{,}541266 \cdot P$.

Для принятого профиля метрической резьбы форма впадины внутренней резьбы не регламентируется. Форма впадины наружной резьбы может выполняться как плоскосрезанной, так и закругленной (рис. 5.2).

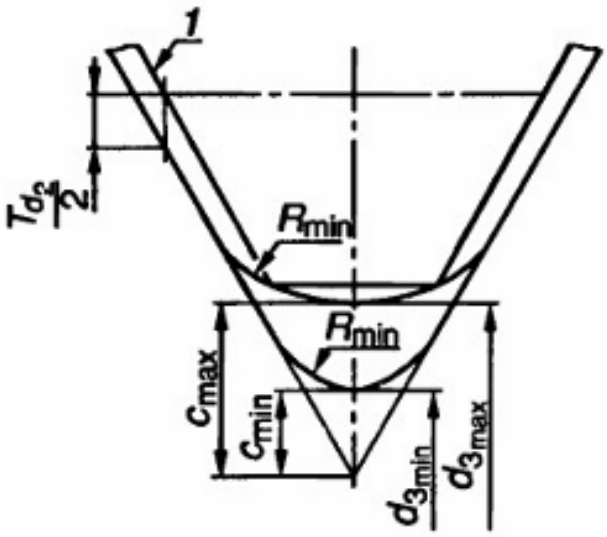


Рис. 5.2. Профиль впадины наружной резьбы (с – срез по впадине)

Закругленная форма впадины, при которой значительно уменьшается концентрация напряжений, является предпочтительной. Конфигурация впадины влияет на циклическую прочность болта. Наименьшую циклическую прочность имеют болты с плоскосрезанной впадиной, наибольшую – с закругленной впадиной с радиусом $R = H/4 \approx 0{,}216 \cdot P$.

По ГОСТ 16093-2004 для резьб диаметром 1…600 мм при неоговоренной форме впадины рекомендуется, чтобы последняя не выходила за линию плоского среза на расстоянии H/8 от вершины остроугольного профиля.

При оговоренной закругленной впадине резьбы болта радиус кривизны ни в одной из точек не должен быть менее $0{,}1 \cdot P$. Срез или закругление R по внутреннему диаметру болта на расстоянии $H/6 = 0{,}144 \cdot P$ является исходным при проектировании резьбообразующего инструмента.

По ГОСТ 8724-81 «ОНВ. Резьба метрическая. Диаметры и шаги» установлено три ряда диаметров метрической резьбы. При выборе резьб первый ряд следует предпочесть второму, второй – третьему. Метрические резьбы приняты с крупным и мелким шагом. Каждому диаметру соответствует свой крупный шаг и несколько мелких шагов.

У резьбы с крупным шагом каждому наружному диаметру соответствует шаг, определяемый по зависимости: $d = 6 \cdot P^{1,3}$.

Одному и тому же наружному диаметру соответствуют разные мелкие шаги резьбы.

При равных наружных диаметрах *(d, D)* метрические резьбы с мелким шагом отличаются от резьб с крупным шагом меньшей высотой профиля.

У резьб с мелким шагом увеличивается работа сил трения, поэтому по сравнению с резьбой, имеющей крупный шаг, резьбы с мелким шагом более надежны против самоотвинчивания. Это дает возможность рекомендовать резьбы с крупным шагом главным образом для соединения деталей, не подвергающихся переменной нагрузке, толчкам, сотрясениям и вибрациям, а резьбы с мелким шагом – для соединений, подвергающихся нагружению такого характера. Метрическая резьба с мелким шагом рекомендуется также для резьбовых соединений при малой длине свинчивания, при тонкостенных деталях, конструировании различных регулировочных и подобных устройств, а также для соединений, которые собираются при небольшом усилии (например, с помощью отвертки).

5.3. Влияние погрешностей параметров резьбы на взаимозаменяемость

Рассмотрим нормирование точности метрических резьб предназначенных для резьбовых сопряжений с зазором, с натягом и с переходными посадками.

Отклонения всех основных параметров резьбы от их номинальных размеров при изготовлении оказывают влияние на свинчиваемость.

Свинчиваемость резьбовых деталей и требуемое качество соединения обеспечиваются, если действительные контуры наружной и внутренней резьбы не будут выходить за соответствующие предельные контуры *на всей длине свинчивания*.

Основным параметром резьбы, обеспечивающим точность и характер резьбового сопряжения, является средний диаметр. Главная роль среднего диаметра резьбы в обеспечении взаимозаменяемости обусловлена тем, что помимо влияния на свинчиваемость, погрешности среднего диаметра резьбы вместе с погрешностями шага и угла профиля резьбы определяют взаимное положение боковых сторон профиля, по которым происходит контакт болта с гайкой, и таким образом оказывают существенное влияние на прочность резьбового соединения.

Что касается влияния на прочность резьбового соединения погрешностей шага резьбы и угла профиля, то оно проявляется уменьшением расчётной площади контакта боковых сторон профиля резьбы на длине свинчивания. Предельные отклонения шага профиля резьбы и угла наклона боковой стороны профиля нормируют для резьб, предназначенных для образования посадок с натягом и переходных. Для резьб, предназначенных для образования посадок с зазором, эти погрешности отдельно не нормируются, а устанавливается суммарный допуск на средний диаметр. Суммарный допуск на средний диаметр включает в себя допускаемые отклонения собственно среднего диаметра и диаметральные компенсации погрешности шага и угла профиля.