



Рис. 1

В дальнейшем использование такого рода устройств позволит упростить конструкцию беспроводных датчиков с малыми токами потребления, а также данная технология даст возможность применять устройства контроля разного характера в тяжелых климатических или эксплуатационных условиях без обеспечения постоянного питания датчиков.

УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ СОЕДИНЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Зеленский, О.В. Терехина

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Рассмотрены особенности измерений крутящего момента в технологических процессах соединения резьбовых изделий. Выполнен критический анализ существующих методов. Даны практические рекомендации по минимизации ошибки крутящего момента, вызванной методическими и инструментальными погрешностями.

подавляющая часть устройств, предназначенных для соединения резьбосодержащих элементов, построена на измерении максимального значения крутящего момента. В современных машинах во многих случаях резьбовые соединения являются ответственными элементами, прочность и долговечность которых во многом определяют надежность работы конструкции в целом. Исходя из характера внешних усилий, прикладываемых в процессе затяжки, рассмотрим наиболее часто применяемые в промышленности способы сборки резьбовых соединений. Они основаны на

использовании внешнего момента, ударно-вращательных импульсов, приложении осевых усилий и т.д. В качестве примера оценки эффективности способов сборки будем использовать заданную точность затяжки с учетом технологических требований и быстродействия, определяющего в конечном итоге производительность.

Такие предельные гайковерты и «перебеги» динамометрических ключей в процессе затягивания создают импульсные пики крутящего момента, которые влияют на окончательную прочность винтового соединения.

Анализ экспериментальных данных, полученных с устройств, в основе которых положен ударно-вращательный импульс для передачи усилий на собираемое изделие, показывает, что в связи с существенным влиянием трения, зависимость момента от усилия затяжки $M = F(Q)$ не является устойчивой и обеспечивает точность получения усилия затяжки не более чем $\pm 20\%$. Ошибка, вызываемая погрешностью измерения, и погрешность сборочного инструмента дополнительно уменьшают точность затяжки при контроле крутящего момента.

Соответственно, большой разброс имеет и величина ΔQ , то есть приращение усилия затяжки фактически отображает импульсы, возникающие на сборочном инструменте, что свидетельствует о менее стабильном качестве усилия, возникающего в резьбовом соединении к изменению момента ΔM под действием ударно-вращательных импульсов.

Второй способ основывается на зависимости затягивания резьбовых деталей от их длины. Из-за большого разброса значений предельного крутящего момента на практике пользоваться этим способом сборки сложно, т.к. это приводит к погрешности, равной $\pm 30\%$ [1]. При проведении лабораторных испытаний подтвердилось, что в процессе сборки момент M на валу резьбозавертывающего устройства возрастает от этапа нажатия до окончания затяжки резьбового соединения.

На рис. 1,а показана зависимость момента M от длины свинчивания L .

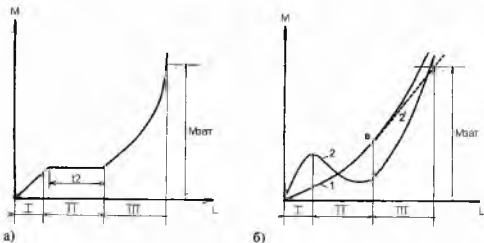


Рис. 1. Графики зависимостей крутящего момента от длины свивчивания

При постоянном значении $M_{шт}$ длина участка III изменяется от минимальной величины до максимальной, а в соответствии с этим изменяется и осевая сила затяжки резьбовых соединений.

На рис. 1,б представлена характерная зависимость M от L для соединений, осуществляемых с помощью резьбообразующих винтов (кривая 1) и соединений, осуществляемых шурупами по дереву или другим мягким материалам (кривая 2). Кривая 2 характеризует процесс резьбообразования в нижней (листовой) детали, уменьшения и затем возрастания момента при затяжке соединений. Первый участок кривой 2 (до точки «В») характеризует процесс ввертывания шурупа; второй участок (за точкой «В») соответствует процессу затяжки соединения до заданного момента. В точке «В» наблюдается излом кривой или пересечение кривых 2 и 2¹.

Здесь на I и III участках затяжки нарастание момента незначительное, т.к. резьбосодержащий элемент преодолевает сопротивление свободного «наживления» только за счет трения на резьбовых поверхностях, а резкое возрастание момента наступает только на участке III процесса соединения.

Во всех рассмотренных случаях можно различать этапы наживления, ввертывания и затяжки резьбовых крепежных деталей. Зависимость M от L видоизменяется для различных конструкций резьбовых соединений и в каждом отдельном случае устанавливаются экспериментально. Резьбоавертывающие устройства имеют различное конструктивное оформление. Их можно использовать как самостоятельно действующие автоматические установки или встраивать в виде дополнительных механизмов в более сложные технологические комплексы. Момент устанавливается по заданной

силе затяжки для крепежных деталей малого диаметра и предварительно с учетом последующей оконечной затяжки.

Относительную неравномерность момента затяжки характеризуют величиной:

$$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{ср}}}$$

где: I_{\max} - наибольший момент; I_{\min} - наименьший момент; $I_{\text{ср}}$ - средний момент, развиваемый резьбозавертывающими устройствами.

Для безмуфтовых устройств с самоторможением двигателя в конце затяжки $\gamma = 0,15 \dots 0,20$; для устройств с фрикционной муфтой $\gamma = 0,15 \dots 0,22$; для устройств с кулачковой муфтой $\gamma = 0,26 \dots 0,32$; для устройств с ударно-импульсным преобразователем момента $\gamma = 0,30 \dots 0,36$.

В качестве средств механизации и автоматизации сборки резьбовых соединений применяют ручные машины, механизированные установки, полуавтоматы и автоматы.

Соответствующие средства сборки выбирают в зависимости от качества собираемых изделий, их массы и размера, программы выпуска и других факторов. Широкое применение в промышленности имеют ручные резьбозавертывающие машины: гайковерты, винтоверты, шпильковерты, шуруповерты и др. К преимуществам ручных машин относятся простота обслуживания, надежность, достаточная точность затяжки, мобильность и др. Большое распространение имеют ручные машины с пневматическими ротационными двигателями, электрическими высокоточными двигателями, с однофазными коллекторными двигателями. По принципу передачи вращающего момента ручные резьбозавертывающие машины можно разделить на три типа. К первому типу относятся машины, имеющие электрический или пневматический двигатель, редуктор и ограничивающую фрикционную или кулачковую муфту. На шпинделе закрепляются соответствующий патрон для заворачивания гаек, винтов или шпилек. При достижении заданного момента затяжки диски фрикционной муфты проскальзывают, а торцевые зубья полумуфт кулачковой выходят из зацепления. В пневматических или электрических машинах ударно-импульсного действия сжатый воздух через пусковое устройство поступает в роторный пневматический двигатель, от вала которого вращение передается на ударно-импульсный преобразователь момента. Вырабатываемые им ударные импульсы передаются на торцевой ключ, осуществляющий затяжку винта гайки или шпильки. Машины данного типа могут работать без редуктора. В пневматических резьбозавертывающих машинах без ограничивающих муфт по мере достижения заданного момента затяжки

двигатель, соединенный через редуктор с торцевым ключом, затормаживает и останавливается.

Связь крутящего момента с заданным усилием затяжки установлена в работе [2] и описывается уравнением:

$$M = Qtg(\beta + \rho) \frac{d_{cp}}{2}, \quad (1)$$

где \dot{I} - крутящий момент на собираемом изделии; Q - усилие затяжки; β - угол подъема резьбы; ρ - угол трения; d_{cp} - средний диаметр резьбы.

Однако на практике пользоваться этим выражением можно лишь с существенными ограничениями, вызванными технологическими соображениями, например, скоростью вращения собираемых изделий, а также силой, с которой привод вращает собираемую деталь. Эта сила несоизмерима с силой трения, возникающей на резьбовых поверхностях, на качество сборки она не влияет, даже в конце свинчивания, где сила трения уже значительная. Между собираемыми изделиями находятся, как правило, шайба, прокладка, пластичный герметик и т.д., поэтому сделав ряд допущений, можно записать (1) в виде:

$$\dot{i} = Qtg \frac{d_{cp}}{2}, \quad (2)$$

Усилие затяжки, как правило, регламентируется в довольно жестких условиях и не меняется в процессе массовой сборки. На различных материалах собираемых изделий оно будет разное и не характеризует правильность соединений по моменту на затяжке. Угол резьбы один и тот же, и для всех метрических резьб равен 60° . Даже для резьбы с углом 55° (дюймовые резьбы) разброс угла резьбы в этих случаях равен 5° , что существенно мало, и угол трения соответственно меняется в незначительных пределах.

Формула (1) представляет зависимость момента на ключе от силы затяжки. В него в явном виде не входит коэффициент трения. Кроме того, отпадает необходимость вычисления опорной поверхности торцов гайки (головка винта) и шайбы; из всех геометрических размеров необходимо знать лишь шаг резьбы

$$\frac{d_{cp}}{2} = \varphi,$$

тогда $i = \operatorname{tg} \varphi$ при $f(\xi_k) = \frac{i}{Q}$.

Здесь необходимо отметить, что в пределах одного собираемого изделия тип резьбы и угол наклона резьбы всегда один и тот же [3].

Средний диаметр резьбы выразим через угол φ ,

$$\frac{d_{\text{ср}}}{2} = \varphi.$$

С учетом вышеизложенного получим:

$$Q = \frac{1}{1 - \xi_k}.$$

где усилие затяжки характеризуется силой, с которой происходит соединение резьбовых поверхностей.

Отметим, что при соединении резьбовых поверхностей в момент контакта резьбы большую роль играет трение. Определим влияние коэффициента трения на точность собираемого изделия. Если на поверхности резьбы имеется проскальзывание и сила трения F подчиняется закону Кулона, то

$$F = fL_C,$$

где $f = \operatorname{tg} \rho$ - коэффициент трения в резьбе; ρ - угол трения в резьбе.

С учетом этого получим зависимость связи между моментом скольжения в резьбе и осевой силой:

$$M_{\text{сд}} = K_p N_0;$$

$$K_p = \frac{d_{\text{ср}}}{2} \operatorname{tg}(\rho \pm \beta), \quad (3)$$

где K_p - коэффициент пропорциональности; N_0 - осевая сила, действующая на резьбовое соединение; $d_{\text{ср}}$ - средний диаметр резьбы; d_1 - наружный диаметр резьбы.

В формуле (3) знак (+) соответствует затяжке резьбового соединения, а (-) - развинчиванию.

Одним из недостатков этого способа является неоднозначный отсчет угла. Фактический угол соответствует не только величине упругого сжатия деталей соединения, но также и величинам упругих и пластических деформаций контактирующих поверхностей, имеющих место до достижения полного контакта. Величина последних переменна и не может быть заранее

установлена. На практике скорость собираемых изделий постоянна и выбрана равной 35 об/мин, как наиболее оптимальная по технологическим условиям.

Для устранения недостатков затяжки по углу поворота собираемого изделия разработан градиентный способ затяжки. Этот способ основан на непрерывном измерении отношения приращения прикладываемого момента ΔM к приращению соответствующего угла поворота собираемого изделия.

После того как усилие затяжки превысило некоторую величину, соответствующую обжатию стыка, зависимости момента и усилия затяжки от угла в упругой зоне имеют линейный характер. В градиентном способе затяжки резьбовых соединений окончание процесса происходит когда соотношение

$$\frac{dM}{dQ} = Const$$

Реализация этого способа сопряжена с трудностями, основными из которых являются переменные значения коэффициентов трения, что приводит к изменениям производной момента по углу поворота в течении всего процесса затяжки. Экспериментальные исследования затяжки по градиентному способу показали, что в данном случае погрешность составляет $\pm 4,3\%$. Одним из наиболее точных способов определения усилия затяжки резьбосодержащих элементов является способ, при котором контролируют удлинение болта. При известном удлинении усилие определяют по формуле:

$$Q = \frac{\delta_0}{\lambda_0}$$

где δ_0 - удлинение собираемого изделия до затяжки.

Список использованных источников

1. Гельфанд М.Л., Ципенок Д.И. Сборка резьбовых соединений.-М.: Машиностроение, 1987.-109 с.
2. Биргер И.А., Иоселевич Г.Б. Резьбовые соединения. – М.: Машиностроение, 1973.-156 с.
3. Будняк З.А., Гусев А.А. Обеспечение качества соединения и надежности работы автоматических сборочных машин// Механизация и автоматизация производства.-1983.-№11.- С.10-13.
4. Зеленский А. В., Воронцов А.В. Электромагнитные датчики усилий и крутящего момента. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2010. – 120 с.