

УДК 621.883

Н. В. Водолазская, доцент, канд. техн. наук,
Донецкий национальный технический университет,
ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83001
E-mail vnv26@bk.ru,

Е. Г. Водолазская, доцент, канд. техн. наук,
В. М. Искрицкий, доцент
Донбасская государственная машиностроительная академия,
ул. Шкадинова, 76, г. Краматорск, Украина, 84313
E-mail veg2615@ukr.net

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ЗАТЯЖКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УДАРНОГО РЕЗЬБОЗАВЕРТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В статье рассмотрены некоторые проблемы сборки резьбовых соединений. Представлены результаты экспериментального исследования процесса контролируемой затяжки резьбовых соединений с использованием ударного резьбозавертывающего инструмента.

Ключевые слова: *сборка резьбовых соединений, ударный резьбозавертывающий инструмент, контроль момента затяжки*

В процессе эксплуатации изделий машиностроения надежность работы их механизмов во многом определяется достигнутой при сборке точностью и стабильностью усилий затяжки резьбовых соединений, входящих в конструкцию машины. Существует значительное количество резьбозавертывающего сборочного оборудования, отличающегося конструктивными особенностями и принципом действия, например, гайковерты безударные (с приложением внешнего крутящего момента) и ударные (с приложением ударно-вращательных импульсов), и применяемый способ контроля усилия затяжки. Как свидетельствуют данные, представленные в работах Арпентьева Б. И., Бобрикова В. Г., Гельфанда М. Л., Житникова Б. Ю., Захарова В. Н., Ланщикова А. В., Новикова М. П., Ципенюка Я. И. и др., в производственных условиях наибольшее распространение получил метод контроля по моменту затяжки.

В настоящее время существует проблема создания оригинальных по конструкции и универсальных устройств, которые обеспечивали бы необходимую степень точности момента затяжки. Частично эта проблема была решена предыдущими исследованиями авторов [1, 2], где установлено, что наиболее точными способами ударной затяжки и контроля момента можно считать такие, которые осуществляются с использованием следующих измеряемых параметров: по числу ударов, по предельному моменту и по приращению угла поворота гайки за один удар. Как отмечалось ранее [1], при использовании резьбозавертывающего инструмента в виде редкоударных гайковертов с возможностью контроля момента по числу ударов, относительная погрешность момента незначительно превышает 8%. Однако для частоударных гайковертов этот метод контроля не может быть использован. Поэтому для них можно рекомендовать метод предельного момента с использованием торсионов и фрикционных ограничителей [1]. Однако эти устройства не могут быть использованы для резьбовых соединений, характеризующихся различной зависимостью затраченной энергии от момента затяжки, т. е., резьбовых соединений с различной податливостью. Вопросам установления этой зависимости посвящено большое количество работ, из которых известно, что она, как правило, носит нелинейный характер. Причины нелинейности могут быть связаны с влиянием контактной податливости стыков, с пластическим характером элементов соединения, с наличием зазора в разьеме из-за его коробления, со ступенчатым характером жесткости элементов соединения и т. п. Учет перечисленных факторов для получения зависимости момента затяжки от полного угла поворота гайки расчетным путем представляет собой чрезвычайно сложную задачу. Поэтому на практике предполагают, что эта зависимость является линейной. При этом усредненное значение коэффициентов жесткости резьбового соединения определяют на основании упрощенных предпосылок или экспериментально. На рисунке 1, а показана реальная зависимость момента затяжки от угла поворота (кривая 2) и расчетные зависимости (прямые 1 и 3) с различными коэффициентами жесткости резьбовых соединений. Энергии, необходимые для затяжки таких резьбовых соединений до одного и того же момента, равны заштрихованным площадям. Как видно, эти площади могут существенно отличаться, что негативно влияет на точность контроля. Указанного недостатка удалось избежать в конструкциях контролирующих устройств, основанных на методе контроля момента по приращению угла поворота гайки за один удар.

Целью данной работы является исследование устройств, реализующих метод контроля момента по приращению угла поворота гайки за один удар, и разработка рекомендаций по оснащению ими резьбозавертывающего сборочного инструмента.

Этот метод контроля момента затяжки базируется на зависимости между текущим значением момента M_i и приращением $\Delta\varphi_i$ после каждого i -го удара. Такая зависимость имеет место для каждого конкретного гайковерта с учетом того, что энергия единичного удара A_e расходуется на работу поворота гайки A_T и на работу упругого закручивания шпинделя гайковерта и стягиваемых деталей A_y .

Работу, затраченную на поворот гайки A_T , можно приближенно вычислить по следующей формуле:

$$A_T = M_i \Delta\varphi_i. \quad (1)$$

Следует отметить, что зависимость (1) будет тем точнее, чем меньше угол $\Delta\varphi_i$. Поскольку в конце затяжки приращение угла поворота гайки весьма мало, то соотношение (1) с достаточной точностью выражает величину A_T .

На рисунке 1, б приведены зависимости момента затяжки от угла поворота гайки для резьбовых соединений с различными коэффициентами жесткостей. Из рисунка видно, что при одинаковом значении приращения угла поворота гайки $\Delta\varphi_{1i} = \Delta\varphi_{2i} = \Delta\varphi_{3i}$ работа, затраченная на поворот гайки за один удар, отличается незначительно (указанная работа равна площади заштрихованного участка) при любом характере зависимости момента от угла поворота гайки. Также незначительно отличаются и соответствующие моменты.

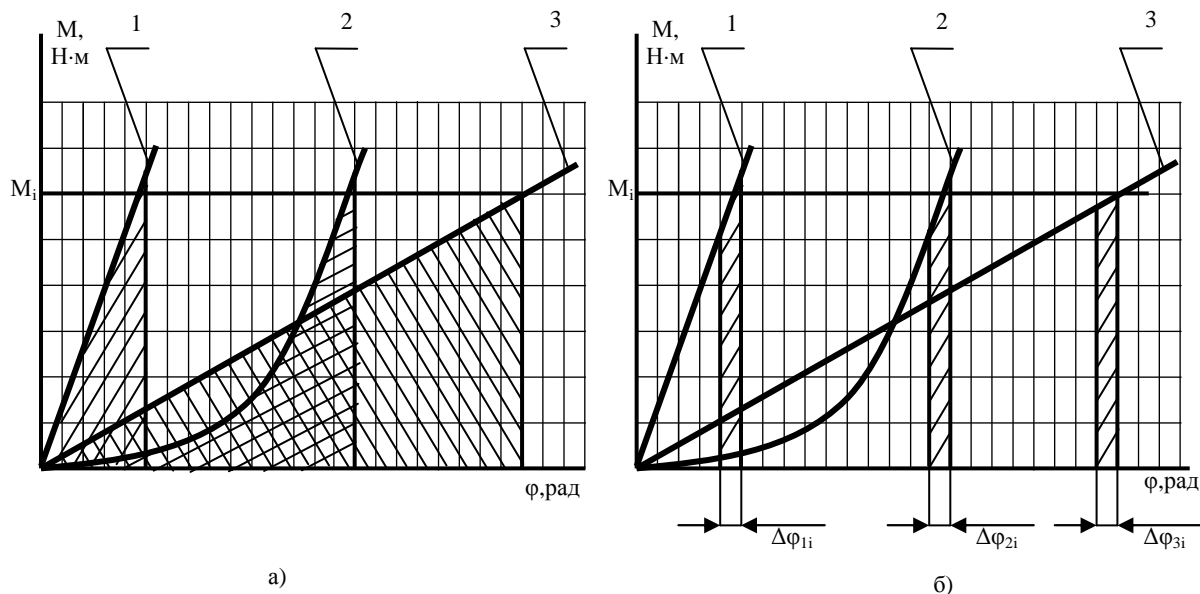


Рисунок 1 – Зависимость $M = f(\varphi)$ для резьбовых соединений с различной податливостью
а) энергетический метод контроля; б) контроль по приращению угла поворота гайки за один удар

Работа, расходуемая на упругое закручивание шпинделя гайковерта, может быть определена по известной формуле [3]:

$$A_y = \frac{M_i^2}{2c}, \quad (2)$$

где c – приведенная крутильная жесткость элементов гайковерта (для конкретного гайковерта эта величине постоянная).

Тогда энергия единичного удара A_e определится зависимостью:

$$A_e = M_i \Delta\varphi_i + \frac{M_i^2}{2c} \quad (3)$$

Отсюда приращение угла поворота гайки после каждого удара окажется равным:

$$\Delta\varphi_i = \frac{A_e}{M_i} - \frac{M_i}{2c} \quad (4)$$

Следовательно, измеряя величину $\Delta\varphi_i$ можно судить о величине M_i момента затяжки.

Для исследования точности контроля с помощью устройств, реализующих метод контроля момента по приращению угла поворота гайки за один удар, был проведен эксперимент, который включал в себя следующие этапы:

- определение величины рассеяния усилия и момента затяжки при сборке однотипных резьбовых соединений;
- определение точности метода контроля при переналадке устройств на различные моменты затяжки;
- исследование влияния параметров крепежных деталей (например, шага резьбы и длины болта) на точность контроля;
- определение влияния жесткости промежуточных деталей стыка;
- оценку точности метода по приращению угла поворота гайки по сравнению с методом по числу ударов.

Исследованиям подвергались реальные резьбовые соединения, включающие в себя болты с различными параметрами, представленные в таблице 1. Болты изготовлены из сталей различных марок и сгруппированы в серии по 3-5 штук в каждой (при этом в одну серию подбирались идентичные крепежные детали). Количество резьбовых соединений было выбрано таким, чтобы была уверенность в устойчивости полученных результатов измерений. Каждый болт и соответствующая ему гайка были промаркированы, таким образом, погрешности, возникающие в процессе эксперимента при затяжке этих болтов, можно рассматривать как случайные. Испытания проводились как при наличии смазки в резьбе и на торце гайки, так и при ее отсутствии. Промежуточные детали использовались нескольких типов: цельные, состоящие из двух стягиваемых втулок и состоящие из пакета шайб (по 2-5 штук в зависимости от длины болта). Изменялся также материал промежуточных деталей (сталь, резина и т. д.).

Таблица 1 – Характеристики болтов, входящих в резьбовые соединения

№ партии	Диаметр болта, (мм)	Шаг резьбы, (мм)	Длина болта, (мм)	Количество болтов в партии, (шт.)	Материал болта
1	30	3,5	200	4	Сталь 20
2	30	2,0	200	4	Сталь 45
3	30	1,5	200	4	Сталь 45
4	30	3,5	250	3	Сталь 20
5	30	2,0	250	3	Сталь 45
6	30	1,5	250	3	Сталь 45
7	30	3,5	300	3	Сталь 20
8	30	2,0	300	3	Сталь 45
9	30	1,5	300	3	Сталь 45
10	20	2,5	200	4	Сталь 20
11	20	1,5	200	4	Сталь 20
12	20	2,5	200	3	Сталь 40ХН
13	20	2,5	220	5	Сталь 45
14	20	2,5	250	3	Сталь 20
15	20	1,5	250	3	Сталь 20
16	20	2,5	300	3	Сталь 20
17	20	2,5	300	3	Сталь 20
18	14	2,0	90	3	Сталь 45
19	14	2,0	130	3	Сталь 45
21	12	1,75	90	2	Сталь 45
21	12	1,75	130	2	Сталь 45
22	10	1,5	90	3	Сталь 45
23	10	1,5	130	3	Сталь 45

В процессе исследования измерялись:

- осевое усилие в болте (с помощью тензодатчиков, наклеенных на стержень болта);
- момент затяжки M по сумме $M = M_T + M_P$, причем момент на торце M_T измерялся с помощью тензодатчиков, наклеенных на стержень специальной промежуточной детали – втулки, а момент в резьбе M_P – с помощью тензодатчиков, наклеенных на стержень болта;
- время затяжки;
- число ударов.

Наклейка тензодатчиков была выполнена в соответствии с общепринятыми рекомендациями. Тарировка датчиков растяжения и кручения производилась путем нагружения на прессах.

Для реализации метода контроля момента затяжки по приращению угла поворота гайки за один удар были разработаны несколько вариантов конструкций устройств к ударным гайковертам, отличающихся месторасположением блока контроля: внутри гайковерта, на специальной насадке или переходном ключе [2]. На рисунке 2 представлена фотография редкоударного гайковерта модели ИЭ3115А со специальной насадкой для контроля момента затяжки по приращению угла поворота за один удар, расположенной на переходном ключе.

В процессе эксперимента контролирующее устройство настраивалось на различные моменты затяжки. Гайковерт отключался по команде сигнального блока при достижении момента затяжки, на который был ориентирован сигнальный блок. После этого производилось сравнение запланированных показателей с фактически достигнутыми (зафиксированными на осциллограмме) значениями. Например, для гайковерта модели ИЭ3115А вначале была вычислена теоретически и проверена экспериментально крутильная жесткость шпинделя. Средняя ее величина равна 15000 Нм/рад. Энергия единичного удара этого гайковерта составляет 25 Дж.



Рисунок 2 – Гайковерт модели ИЭ3115А с выносным сигнальным блоком и опытным образцом специальной насадки для контроля момента затяжки

При установке угла $\Delta\varphi_i$ между контактами контролирующего устройства можно пользоваться специальными компьютерными таблицами или графиками зависимости $\Delta\varphi = f(M)$, представленными на рисунке 3.

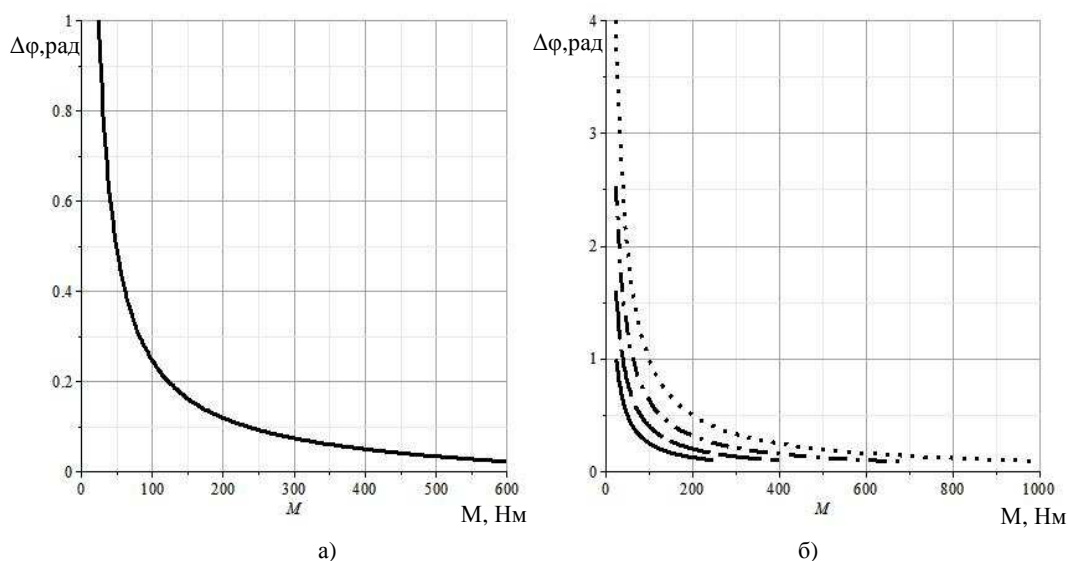


Рисунок 3 – Графики зависимости $\Delta\varphi = f(M)$ для различных ударных гайковертов

Эти зависимости были получены для гайковертов с различной энергией единичного удара с учетом жесткости шпинделя гайковерта. Графики построены в программе Maple 16 на основании приведенной выше формулы (4).

Таблица 2 – Оценка погрешности измерений (болт № 55)

Измеряемые величины	Среднее значение \bar{X}	Выборочный стандарт S_n	Абсолютная погрешность серии измерений	Относительная погрешность ε
Усилие $10^4, Н$	3,468	0,6156	0,344	$\pm 9,92 \%$
Момент, $Н\cdot м$	96,78	9,557	5,346	$\pm 5,52 \%$
Момент M_p в резьбе, $Н\cdot м$	31,86	3,666	2,051	$\pm 6,44 \%$
Момент M_T на торце, $Н\cdot м$	63,76	7,672	4,292	$\pm 6,73 \%$

Аналогичным образом была проведена обработка результатов затяжки других болтов до различных моментов. Разброс усилия затяжки при использовании контролирующих устройств в комплекте с редкоударными гайковертами составляет $\pm 10...22 \%$. Точность контроля момента при использовании гайковерта модели ИЭ3115А составляет при этом $\pm 5...15 \%$.

В заключение следует отметить, что сравнительный анализ методов контроля момента по приращению угла поворота гайки за каждый удар и метода по числу ударов [4], показывает их сопоставимую точность. Однако рассмотренный метод является более универсальным, так как может быть рекомендован для затяжки резьбовых соединений с различной податливостью, а также при сборке изделий частоударными гайковертами.

В дальнейшем планируется провести аналогичные лабораторные испытания реальных резьбовых соединений с целью установления возможности использования метода контроля по приращению угла поворота гайки за один удар в комплекте с частоударными гайковертами.

Библиографический список использованной литературы

1. Водолазская Н.В. Анализ влияния параметров контролирующих устройств для резьбозавертывающего инструмента на качество сборочных операций / Н.В. Водолазская, Е.Г. Водолазская, В.М. Искрицкий // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. праць. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – Вип. 139. – С. 38-44.
2. Водолазская Н. В. Сборка резьбовых соединений. Проблемы и перспективы совершенствования технологии сборочных процессов: монография / Н. В. Водолазская, В. М. Искрицкий, Е. Г. Водолазская. – Краматорск: ДГМА, 2014. – 192 с.
3. Гельфанд М.Л. Сборка резьбовых соединений / М.Л. Гельфанд, Я.И. Ципенюк, О.К. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1978. – 109 с.
4. Водолазская Н.В. Резьбозавертывающий сборочный инструмент с контролем момента затяжки по числу ударов / Н.В. Водолазская, Е.Г. Водолазская, В.М. Искрицкий // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. праць. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – № 117. – С. 32-37.

Поступила в редакцию 12.01.2014 г.

Водолазська Н.В., Водолазська О.Г., Іскрицький В.М. Контроль процесу затягування різьбових з'єднань із використанням ударного різьбозавертувального інструмента

У статті розглянуті деякі проблеми складання різьбових з'єднань. Наведені результати експериментального дослідження процесу контрольованого затягування різьбових з'єднань із використанням ударного різьбозавертувального інструмента.

Ключові слова: складання різьбових з'єднань, ударний різьбозавертувальний інструмент, контроль моменту затягування

Vodolazskaya N.V., Vodolazskaya E.G., Iskritskiy V.M. Control of the Process of Threaded Connections Tightening Using Impact Thread Drive Tool

Some problems of threaded connections assembly are examined in the paper. The results of the experimental research of the process of controlled threaded connections tightening using impact thread drive tools are shown.

Keywords: assembly of threaded connections, impact thread drive tool, tightening torque control.

