

бовых деталей -  $\delta Q_{\Delta}$ . Эта погрешность находится:

$$\delta Q_{\Delta\omega} = \frac{\Delta\omega_{\text{пр}}^2 \cdot F_6 \cdot E_6 \cdot P}{720 \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot l} \quad (40)$$

Найдем составляющие случайных погрешностей осевых сил на этапе окончательной затяжки групповых соединений гайковертом на основе муфты предельного момента, дифференциального механизма и механизмов свободного хода.

Суммарная погрешность осевых сил окончательной затяжки запишется:

$$\delta Q_o = \sqrt{\delta Q_k^{2'} + \delta Q_{\Delta}^{2'} + \delta Q_{\Delta\omega}^{2'}} \quad (41)$$

Погрешность осевой силы затяжки  $\delta Q_k'$  находится из выражения (8), погрешность  $\delta Q_{\Delta}'$  – из выражения:

$$\delta Q_l' = \frac{I_z \omega_3^2 F_6 E_6 P}{32 \cdot 360 \cdot Q_o \cdot l} \quad (42)$$

погрешность  $\delta Q_{\Delta\omega}'$  – из выражения:

$$\delta Q_{\Delta\omega}' = \frac{\Delta\omega_3^2 F_6 E_6 P}{720 \varepsilon_3 l} \quad (43)$$

Суммарная погрешность осевых сил затяжки резьбовых деталей многошпindelным гайковертом на основе муфты предельного момента, дифференциального механизма и механизма свободного хода запишется:

$$\delta Q_{\Sigma} = \sqrt{\delta Q_n^2 + \delta Q_o^2} \quad (44)$$

Следовательно, теоретическое значение погрешностей осевой силы затяжки многошпindelным гайковертом составляет не более 3% от номинального значения осевой силы.

#### Литература

1. Иосилевич, Г.Б. Затяжка и стопорение резьбовых соединений: Справочник / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Ю.В. Шарловский. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

### **Особенности сборки цилиндрических соединений с натягом комбинированным клеетепловым методом**

Князев Д.В.

*ГКНПЦ им. М.В. Хруничева,*

Комбинированный клее-тепловой метод сборки соединений с натягом находит все большее применение в промышленности, так как прочность таких соединений в 2,5...3 раза выше, чем у соединений, полученных нагревом охватываемой детали, и в 1,3...1,5 раза, чем у соединений, образующихся склеиванием.

Анализ клее-теплого метода сборки. Сочетание двух методов позволяет устранить недостатки, присущие каждому из них. Так, наличие диаметрального зазора  $\delta C$  под адгезив, оптимальная величина которого составляет 0,1...0,3 мм, не позволяет обеспечить центрирование собираемых деталей. При этом смещение сопрягаемых поверхностей  $\Delta$  может достигать величины  $\delta C/2$ , а угол их перекося  $\alpha = \text{arctg } \delta C/L$ , где  $L$  – длина сопряжения. Это недопустимо при сборке валов с зубчатыми колесами, подшипниками и т.п., поэтому процесс сборки усложняется центрированием сопрягаемых поверхностей перед выполнением соединения и закреплением деталей на время полимеризации адгезива, что требует применения специальных сборочных приспособлений. Соединения с натягом, получаемые за счет нагрева охватываемой детали, имеют низкий предел усталостной прочности, недостаточную ста-

тическую прочность, а также подвержены коррозии.

Прочность соединений (сила выпрессовки –  $P_{\text{вып}}$ ), получаемых комбинированным методом, принято рассчитывать по формуле:

$$P_{\text{вып}} = \pi dL(\tau K + pf), \quad (1)$$

где:  $d$ ,  $L$  – номинальный диаметр и длина соединения, мм;

$\tau$  – предел прочности на сдвиг клеевого соединения, Н/мм<sup>2</sup>;

$K$  – интегральный поправочный коэффициент, учитывающий особенности конкретного соединения: материал деталей, тип соединения, его геометрию, величину зазора, условия работы и т.п.;

$p$  – удельное давление на поверхности контакта, МПа;

$f$  – коэффициент сцепления [2].

При проведении исследований использовались анаэробные адгезивы. Выбор анаэробных адгезивов обусловлен удобством их применения: сохранением жидкого состояния на воздухе; быстрой начальной полимеризацией без доступа воздуха (схватывание собираемых деталей происходит за 1...10 минут); возможностью автоматического нанесения адгезива с помощью дозаторов; их устойчивостью к воздействию агрессивных сред и т.п. Так однокомпонентный адгезив «Локтайт 620» имеет следующие характеристики: адгезионную прочность (предел прочности на сдвиг) при температуре 22°C  $\tau = 17...37$  МПа; выдерживаемое давление до 30МПа и температурную стойкость до 200°C (кратковременный нагрев до 250°C).

При автоматическом выполнении таких соединений особое значение приобретает величина монтажного теплового зазора –  $\delta_c$ . Исследования, проведенные на кафедре «Технология машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, показали, что безотказность выполнения автоматического сборочного процесса с использованием простейших исполнительных механизмов обусловлена величиной  $\delta_{c \min} \approx 0,001 d$ . Для соединений с номинальным диаметром  $d$ , равным 30...100 мм,  $\delta_{c \min}$  составляет 0,03...0,1 мм, соответственно.

При меньших диаметральных зазорах  $\delta_c$  на выполнение соединений начинают влиять погрешности формы  $\Delta_\phi$  сопрягаемых поверхностей и их пространственное положение  $\Delta_{\text{III}}$ , при этом величина фактического зазора  $\delta_{c\phi}$  будет равна:

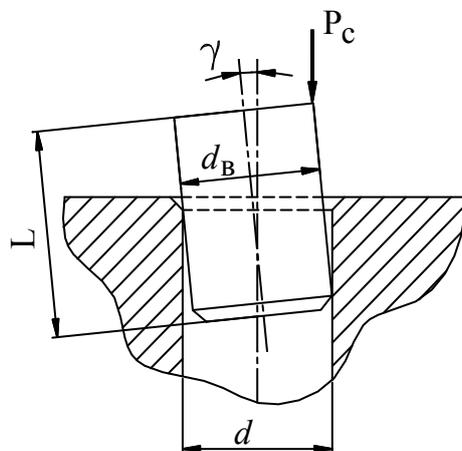
$$\delta_{c\phi} = \delta_c - \sqrt{\frac{\Sigma\Delta_\phi^2 + \Sigma\Delta_{\text{III}}^2}{2}}. \quad (2)$$

Причем погрешность формы  $\Delta_\phi$  для поверхностей сопряжения обычной точности может достигать 30%  $T_d$  – допуска на выдерживаемый размер как в поперечном (огранка), так и в продольном (конусность, бочкообразность) направлениях. Особенно высока степень риска при уменьшающемся тепловом зазоре в процессе выполнения соединения. При малых зазорах необходимо обеспечить практически отсутствие угла перекося осей сопрягаемых поверхностей (рис. 1), угол  $\gamma$  не должен превышать 20...25°.

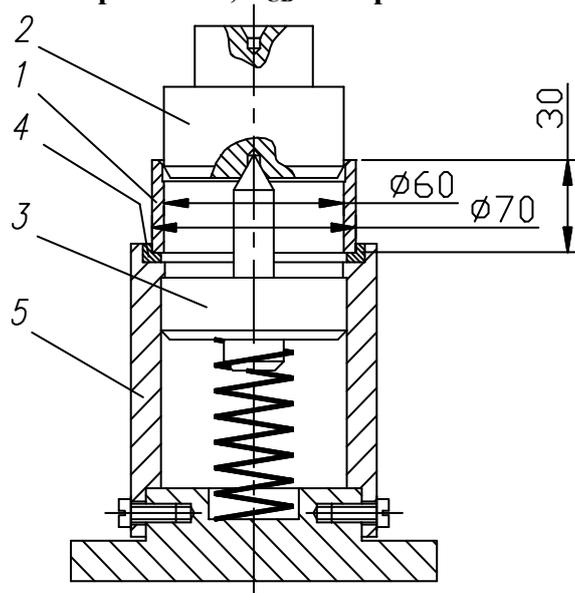
Для проведения исследований процесса сборки была создана экспериментальная установка, позволяющая обеспечить центрирование сопрягаемых поверхностей (рис. 2). У собираемых образцов выполнены: центровое отверстие и фаска на валу и центрирующая расточка и фаска на отверстии втулки. Нагретую втулку 1 устанавливают с зазором 1мм в кольцо 4 корпуса 5, выполненное из изоляционного материала. Вал 2 с предварительно нанесенным адгезивом на сопрягаемую поверхность устанавливают на конус подпружиненного центра 3. Под действием сборочной силы вал входит в центрирующую расточку втулки 1 и происходит сопряжение с тепловым зазором.

Исследовались соединения с номинальным диаметром 60 мм с натягом от 0,01 до 0,07 мм, что соответствует посадкам от H7/js6 до H7/s6. Образцы обрабатывались на токарном станке, шероховатость сопрягаемых поверхностей составляла 2,5...5 мкм ( $Ra$  3,2 мкм), что является оптимальным для клеевых соединений. Погрешность формы поверхности Ø60 у

втулок (закрепление в 3-х кулачковом патроне) – трехгранка составила 0,02...0,06 мм, у валов (закрепление в центрах) – 0,008...0,012 мм. Эти погрешности уменьшают площадь контакта сопрягаемых поверхностей и величину фактического натяга. Фактическая площадь контакта, рассчитанная по методике, предложенной в работе [1], составила 17...19% от теоретической.



**Рис. 1. Схема выполнения цилиндрического соединения:**  
 $d, L$  – параметры соединения;  $d_B$  – диаметр вала,  $\gamma$  – угол перекаса сопрягаемых поверхностей,  $P_{сб}$  – сборочная сила.



**Рис. 2. Экспериментальная установка:**  
1, 2 – собираемые детали, 3 – подпружиненный центр, 4 – кольцо, 5 – корпус.

В реальных условиях она может быть и меньше из-за неучтенных погрешностей, что подтверждают фотографии среза клеетеплового соединения (150-х кратное увеличение). На рис. 3 показаны круглограммы сопрягаемых поверхностей втулки (а) и вала (б), которые получены измерением поперечного сечения поверхностей на измерительной машине OPTON фирмы Hewlett Packard. Погрешность формы отверстия втулки равна допуску на заданный размер, т.е. 0,03 мм. На фотографии (рис. 4 а, б) представлены разрезы соединения по наименьшему натягу (сечение ОА) и наибольшему натягу (сечение ОБ). Как видно из фотографий, в зоне выступов вершин трехгранника непосредственный контакт сопрягаемых поверхностей отсутствует – вся полость заполнена анаэробным адгезивом. В зоне максимального натяга впадины микронеровностей также заполнены адгезивом, а в немногочисленных участках контакта клеевая прослойка составляет от 1,5 до 3 мкм. Величину фактического натяга

$\delta_{CF}$  предлагают рассчитывать [3] по формуле:

$$\delta_{CF} = \delta_C - 0.5 \cdot [\Delta_{\phi B} + \Delta_{\phi O} + W_B + W_O + 5(Ra_B + Ra_O)] \quad (3)$$

где:  $\delta_C$  – расчетный натяг в мкм,

$Ra_B, Ra_O$  – среднеквадратические высоты микронеровностей сопрягаемых поверхностей,

$W_B, W_O$  – средние высоты волнистостей сопрягаемых поверхностей,

$\Delta_{\phi B}, \Delta_{\phi O}$  – максимальные величины погрешностей формы сопрягаемых поверхностей.

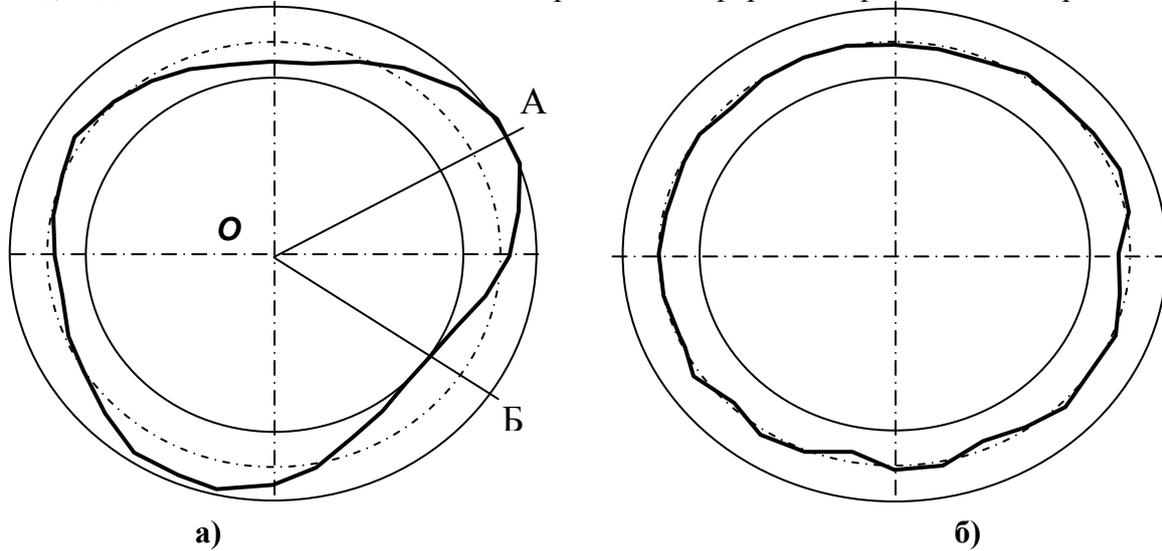


Рис. 3. Круглограммы сопрягаемых поверхностей втулки (а) и вала (б).

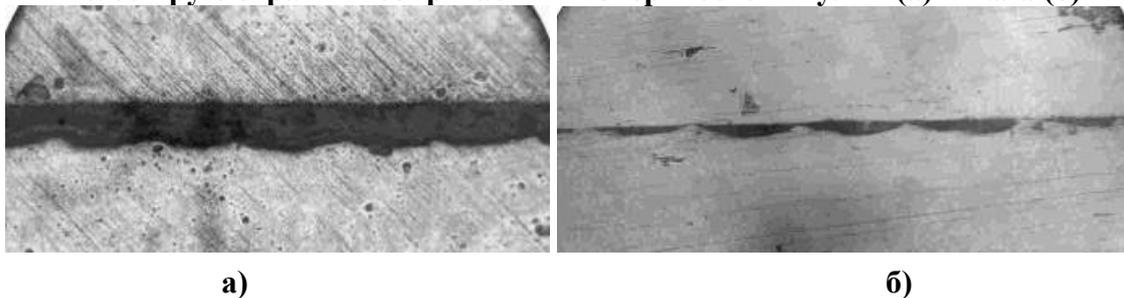


Рис. 4. Микрошлифы соединения по наименьшему (а) и наибольшему (б) натягу.

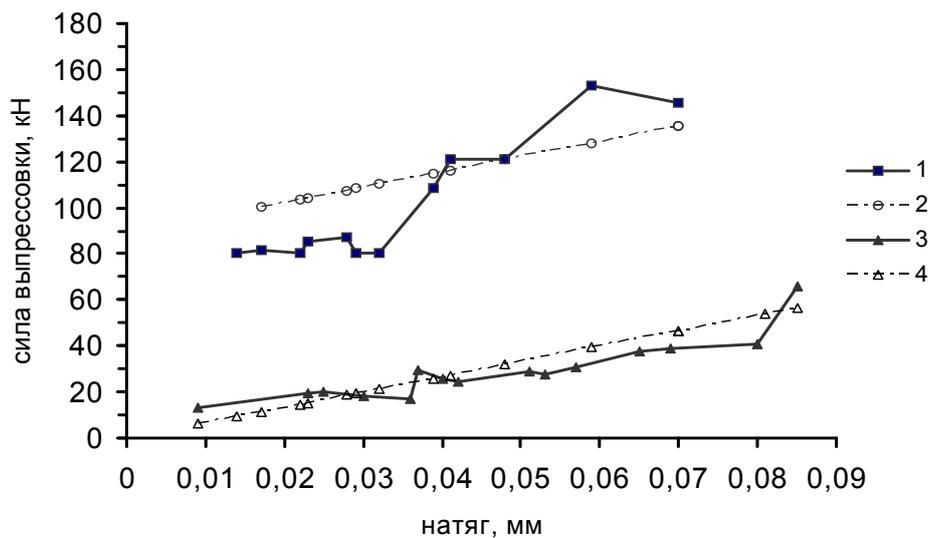


Рис. 5. Зависимость прочности соединений от величины натяга:  
1, 2 – кле-тепловые соединения; 3, 4 – тепловые соединения; 1, 3 – экспериментальные кривые; 2, 4 – расчетные кривые.

Для конкретных экспериментальных соединений рассчитанная величина фактического натяга  $\delta_{сф}$  примерно равна нулю при номинальном натяге  $\delta_c$  соединения меньшем 0,04 мм. Поэтому, как видно из графика (рис. 5 линия 1), на силу выпрессовки  $P_{вып}$  при натягах  $\delta_c < 0,04$  мм не влияет увеличение натяга, она постоянна и обусловлена в основном прочностью клеевого соединения поскольку адгезив заполняет все пустоты. В интервале  $\delta_c$  от 0,01 до 0,04 мм сила выпрессовки равна 80 кН. При натягах больших 0,04 мм, когда фактический натяг на площади контакта становится больше указанных погрешностей (см. формулу 3), на прочность соединения влияет изменение величины натяга, и результаты расчетов силы выпрессовки по формуле (1) практически совпадают с результатами экспериментов (см. рис. 5 линии 1, 2). Для сравнения на рис. 5 приведены графики теоретических 3 и экспериментальных 4 зависимостей прочности аналогичных соединений, полученных только тепловой сборкой.

#### **Выводы.**

Экспериментальные исследования показали, что комбинированным методом можно получать соединения, равнопрочные с соединениями, полученными тепловым методом при уменьшении натяга в 2...8 раз. Использование небольших номинальных натягов в пределах 0,01...0,02 мм (посадки Н7/js6, Н7/к6) позволяет точно центрировать сопрягаемые поверхности и получать соединения, соответствующие по прочности, равные посадкам Н7/s6. Это позволяет повысить усталостную прочность и долговечность собираемых деталей.

#### **Литература**

1. Курносоев Н.Е. «Обеспечение качества неподвижных соединений». Монография. - Пенза: изд-во Пенз. Гос. ун-та, 2001. - 224с.
2. Применение адгезивов для получения неподвижных цилиндрических соединений / В.А. Верещагин, В.И. Жорник, Н.С. Качаев и др. - Минск: Ин-т надежности машин НАМ Беларуси, 2000. - 34с.
3. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин, - Москва: Машиностроение, 2000. - 320с.
4. Определение фактической площади контакта деталей, соединяемых с натягом / Рыжов Э.В., Курносоев Н.Е., Воячек И.И. – Вестник машиностроения. 1984. №3.

#### ***Имитационная модель предпроектного расчета параметров технологического оборудования сборочного производства***

к.т.н., доц. Ламин И.И., Абрамченко Н.В.  
МГТУ «МАМИ»

В условиях современной экономики процедура заказа специализированного сборочного оборудования является ответственным и довольно рискованным мероприятием, от которого может зависеть не только экономическая эффективность проектируемого производства заказчика, но и репутация проектной организации (фирмы-изготовителя).

Как правило, процедуру заказа сборочного оборудования можно условно разделить на несколько этапов:

- Задание на проектирование и поставку сборочного оборудования.
- Техническое предложение станкостроительной фирмы.
- Выбор поставщика и согласование контракта на проектирование и поставку оборудования.
- Реализация проекта.
- Поставка оборудования и его обслуживание.

На первом этапе, разрабатываемом заказчиком, формулируются требования к качеству выпускаемой продукции, типу оборудования, его производительности и некоторым техническим характеристикам. Эти ограниченные сведения, полученные в форме экспертных оценок, и ложатся в основу задания на проектирование, что, в свою очередь, приводит к рис-