

Машиностроение

УДК 621.757-52, УДК 621.757.06-52

АНАЛИЗ ЗАКЛИНИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЙ С ГАРАНТИРОВАННЫМ ЗАЗОРОМ

Ю.М. Будников, Е.А. Якубович, С.Д. Шапошников

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: ensave@samgtu.ru

Рассматриваются условия заклинивания деталей при сборке с гарантированным зазором.

Ключевые слова: *заклинивание, зазор, сборка, вал.*

Явление заклинивания деталей является частой причиной отказа сборочного оборудования и поэтому требует подробного анализа.

При выполнении соединения цилиндрических деталей с гарантированным зазором необходимо расположить их на позиции сборки с максимально возможной точностью, что достигается применением направляющих устройств в виде лотков, призм и т. п. При достаточной величине зазора в соединении и малом угле перекоса осей вал может оказаться частично погруженным во втулку, что характеризуется расположением кромки его цилиндрической поверхности ниже кромки поверхности втулки (рис. 1, а).

При малой величине зазора в соединении вал может занять такое положение относительно ответной детали, при котором часть кромки его сопрягаемой поверхности окажется выше кромки сопрягаемой поверхности втулки (см. рис. 1, б).

В первом случае за счет симметрии сопрягаемых поверхностей вал имеет две точки контакта со втулкой, располагающихся на общей плоскости симметрии деталей, при этом величина угла перекоса осей оказывается в следующих пределах:

$$\gamma \leq \gamma_0 = \arccos \frac{d}{D},$$

где γ – угол перекоса осей;

d – диаметр сопрягаемой поверхности вала;

D – диаметр сопрягаемой поверхности втулки;

γ_0 – максимальный угол перекоса осей, при котором имеет место контакт в двух точках.

Юрий Михайлович Будников (к.т.н., доцент), доцент кафедры «Автоматизация производства и управление транспортными системами».

Ефим Абрамович Якубович (к.т.н., доцент), проректор СамГТУ по международному сотрудничеству.

Сергей Дмитриевич Шапошников (к.т.н.), профессор кафедры «Автоматизация производства и управление транспортными системами».

В точках контакта деталей образуются неударяющие связи, что позволяет за счет силового воздействия на вал в осевом направлении обеспечивать соединение деталей.

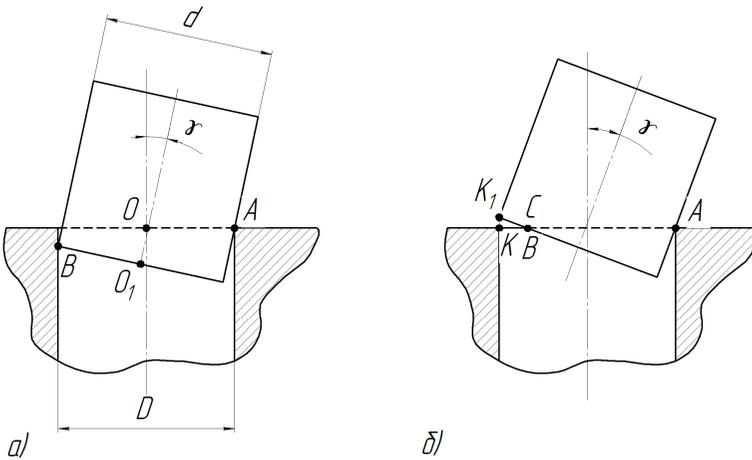
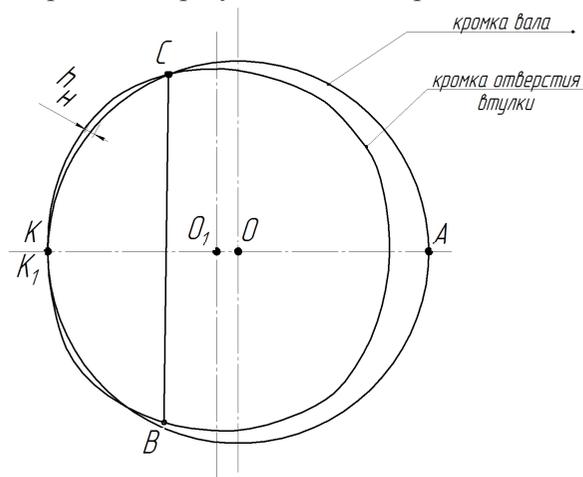


Рис. 1. Положение соединяемых деталей на сборочной позиции

Во втором случае перекося осей соединяемых деталей оказывается большим, чем γ_0 , вал при этом контактирует со втулкой в трех точках: две точки В и С располагаются на пересечении кромок цилиндрических поверхностей на равном расстоянии от общей плоскости симметрии деталей, третья точка А лежит в общей плоскости симметрии на образующей цилиндрической поверхности вала и кромке сопрягаемой

поверхности втулки. Поверхности фасок деталей при этом в контакт не вступают, поэтому в дальнейшем изложении фаски на деталях показываться не будут.



Воздействие на вал в осевом направлении при возникновении контакта деталей в трех точках не обеспечивает соединения деталей, а при достаточно большой величине осевой силы приводит к их заклиниванию.

При расположении вала на кромке отверстия втулки верхняя точка кромки цилиндрической поверхности вала K_1 (см. рис. 1, б) находится на продолжении образующей цилиндра отверстия втулки, центр кромки вала O_1 расположен ниже центра кромки втулки O .

Рис. 2. Положение кромок цилиндрических поверхностей вала и отверстия втулки до заклинивания деталей

Проекция кромки вала на плоскость торца втулки показана на рис. 2. Участки кромки вала K_1B и K_1C выходят за пределы кромки отверстия втулки, что не позволяет валу погрузиться во втулку.

Максимальное выступание кромки цилиндра вала за кромку отверстия втулки определяется следующей зависимостью:

$$h_H = \frac{d}{2} \sqrt{1 + \frac{(D - d \cos \gamma)^2}{d^2 \sin^2 \gamma}} - \frac{D}{2}.$$

При $\gamma = \gamma_0$ величина $h_H = 0$.

Силовое воздействие на детали в осевом направлении при трехточечном контакте вызывает напряжения в точках А, В, С.

В точке А имеет место контакт цилиндрической поверхности вала с кромкой отверстия втулки, а в точках В и С вступают в контакт кромки цилиндров вала и отверстия.

В точке А величина силы, действующей на детали, мала, так как мала проекция осевой силы; кроме того, условия контакта детали таковы, что небольшая деформация деталей приводит к значительному возрастанию площади контакта.

В точках В и С осевая сила, действующая на детали, вызывает значительные деформации материала деталей, что оказывается заметным даже при относительно небольших значениях этой силы (например при воздействии только силы тяжести вала). Учитывая условия контактного взаимодействия в точках А, В и С, считаем, что деформация материалов деталей имеет место только в точках В и С, при этом полагаем, что твердость материала вала превышает твердость материала втулки.

Рассмотрим схему относительного положения соединяемых деталей до приложения осевого усилия и после него (рис. 3). Положение вала до нагружения изображено жирными линиями, а после – тонкими. Глубина погружения вала во втулку – h .

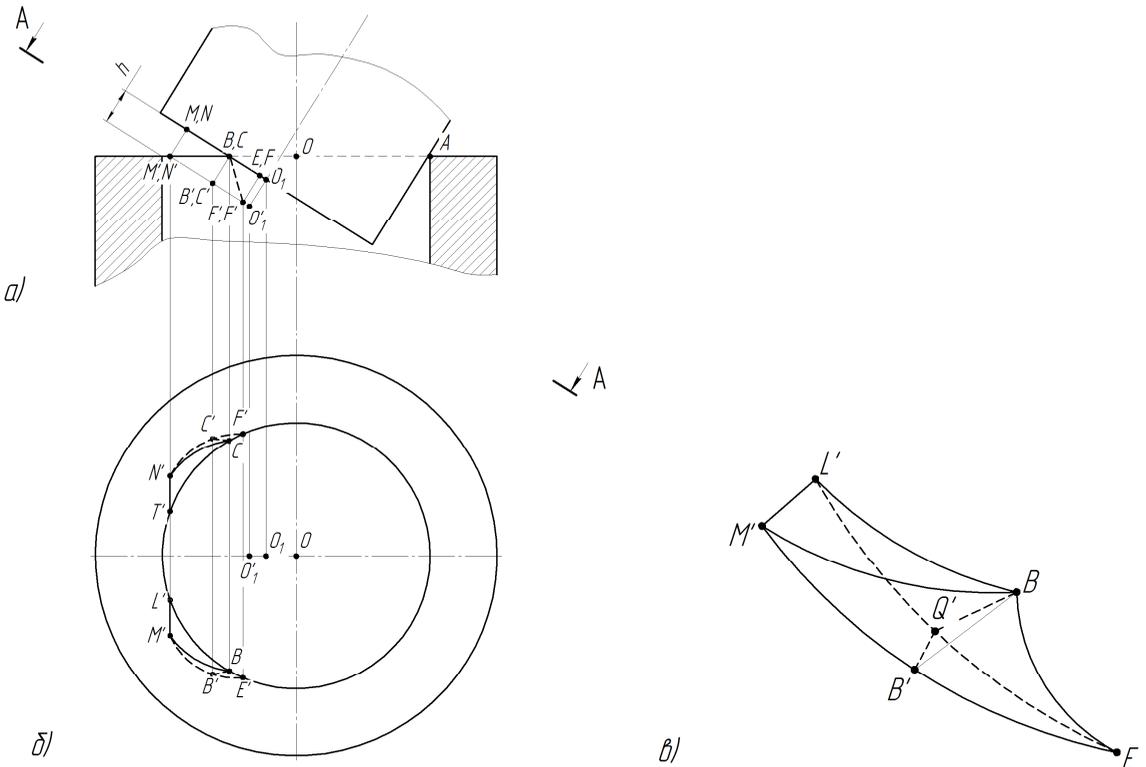


Рис. 3. Положение деталей до и после заклинивания

На рис. 3, а показаны проекции деталей на их общую плоскость симметрии.

На рис. 3, б дан вид торца втулки с зонами деформации, вал условно не показан.
 На рис. 3, в показан вытесненный объем материала втулки. Вытесненный объем ограничен следующими линиями:

L'B – часть окружности кромки отверстия втулки;

L'M' – часть хорды окружности кромки вала;

M'B – часть эллипса сечения вала плоскостью торца втулки;

M'B'E' – часть окружности кромки цилиндра вала;

L'Q'E' – часть эллипса сечения цилиндра отверстия плоскостью, в которой лежит кромка цилиндра вала;

BB' – часть образующей цилиндра вала;

BE' – линия пересечения цилиндров вала и отверстия.

Поверхности, ограничивающие этот объем:

L'M'B – плоскость торца втулки;

L'M'B'E'Q' – плоскость торца вала;

L'BE'Q' – цилиндр отверстия втулки;

M'BE'B' – цилиндр сопрягаемой поверхности вала.

Часть вытесненного объема L'M'BB'Q' сминается торцом вала. Другая часть вытесненного объема BB'Q'E' имеет форму клина с малыми углами подъема. В этой части возникают как пластические, так и упругие деформации. Между соединяемыми деталями как бы вдавливаются острый клин, который за счет упругой деформации создает контактные напряжения, являющиеся причиной заклинивания деталей, которое создает сопротивление при относительном движении деталей.

Для того чтобы получить представление о роли клинового участка зоны деформации, найдем величины углов, образуемых касательными к линиям, ограничивающим этот участок при заданной величине угла γ .

Эти углы определим по двум взаимоперпендикулярным направлениям: в плоскости, проходящий через точки B и C параллельно оси вала (рис. 4, а), и в плоскости торца вала (рис. 4, б).

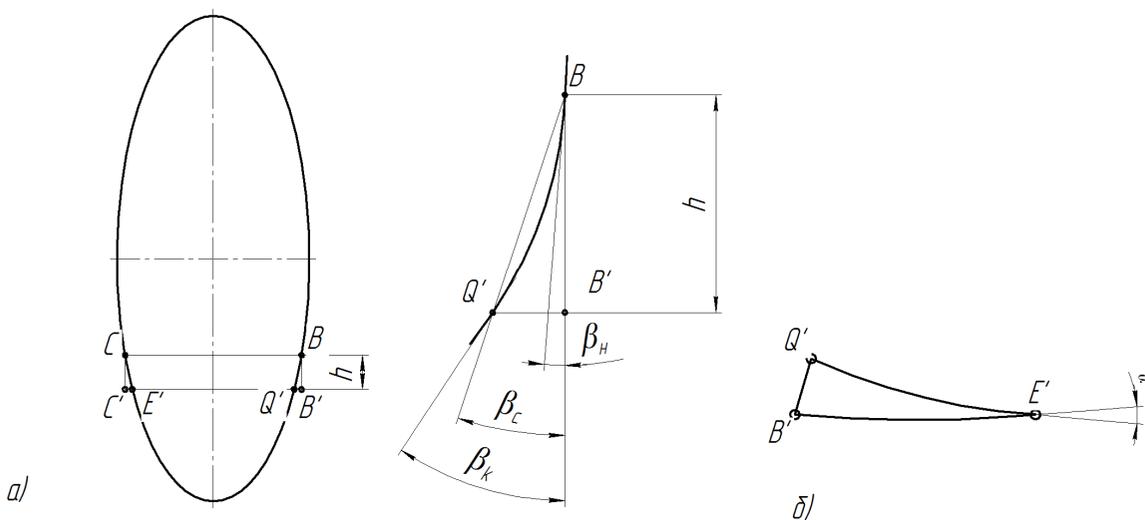


Рис. 4. Определение углов клина

В первом случае сечение клинового участка представляет собой фигуру Q'BB', ограниченную линиями, описанными выше. Для характеристики геометрии клина находим значения трех углов β_n , β_k , β_c в зависимости от угла γ :

$$\beta_H = \operatorname{arctg} \frac{(U - \frac{U}{2}) * \sin \gamma}{\sqrt{U(D - U)}},$$

где $U = \frac{D - d \cos \gamma}{\sin^2 \gamma};$

$$\beta_K = \operatorname{arctg} \frac{(U - \frac{U}{2} + h * \sin \gamma) * \sin \gamma}{\sqrt{(\frac{D}{2})^2 - (U - \frac{D}{2} + h * \sin \gamma)^2}};$$

$$\beta_C = \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{U(D - U)} - \sqrt{(\frac{D}{2})^2 - (U - \frac{D}{2} + h * \sin \gamma)^2}}{h}.$$

Угол клинового участка в плоскости торца вала определяем как угол между касательными к окружности кромки цилиндрической поверхности вала и к эллипсу, являющемуся линией пересечения цилиндрической поверхности втулки плоскостью торца вала (рис. 4, б):

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left[-\cos^2 \gamma \frac{X - L}{\sqrt{(\frac{d}{2} - x)(\frac{d}{2} + x)}} \right] - \operatorname{arctg} \left[-\frac{x}{\sqrt{(\frac{d}{2} - x)(\frac{d}{2} + x)}} \right];$$

$$L = \frac{D}{2 \cos \gamma} - \frac{d}{2} + h * \operatorname{tg} \gamma$$

$$X = \frac{-l + \frac{1}{\cos \gamma} \sqrt{l^2 - \operatorname{tg}^2 \gamma \left[(\frac{D}{2})^2 - (\frac{d}{2})^2 \right]}}{\operatorname{tg}^2 \gamma}.$$

Для того чтобы получить представление о величинах этих углов, приводим их значения для деталей, у которых:

$$D = 20 \text{ мм}, d = 19,98 \text{ м}, \gamma = 5^\circ, h = 1 \text{ мм};$$

$$\beta_H = 0,67^\circ; \beta_K = 0,686^\circ; \beta_C = 0,683^\circ; \alpha = 0,4357^\circ.$$

Приведенные данные показывают, что углы, характеризующие геометрию клина, возникающего между соединяемыми деталями, в несколько раз меньше, чем угол перекоса осей этих деталей.

Для проверки правильности теоретической картины явления заклинивания деталей при их соединении и сравнения силы, вызывающей заклинивание, с силой, необходимой для разъединения деталей, было проведено экспериментальное исследование.

Суть эксперимента заключалась в том, что вал устанавливался на трех точках в отверстие втулки с определенным углом перекоса осей γ . Втулка при этом была жестко закреплена. В направлении оси вала прикладывалась сила P_c , которая вдавливала вал во втулку. Вал при этом не изменял своего углового положения относительно втулки. После достижения определенной величины силы P_c нагрузка снималась, а

вал вытягивался из втулки. Сила сопротивления этому движению P_3 измерялась. При каждом новом опыте точки контакта деталей менялись. Вал был изготовлен из стали 45, термически обработан до твердости HR_c 35...40. Втулка изготовлена из стали 20 без термической обработки.

Зазор в соединении составлял величину 0,02 мм, номинальный диаметр – 40 мм.

Явление заклинивания исследовалось при разных углах γ – от 2 до 10°.

Результаты эксперимента представлены на графике (рис. 5).

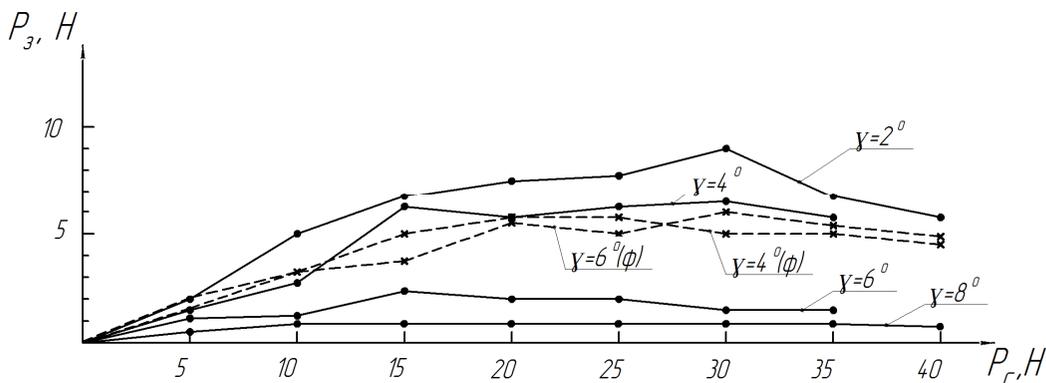


Рис. 5. Зависимость P_3 от P_c :
 - - - - детали с фасками; ——— детали без фасок

Анализ результатов экспериментального исследования позволяет сделать следующие выводы.

1. С возрастанием P_c сила P_3 растет до некоторого значения, а затем незначительно падает. Максимальные значения P_3 наблюдались при значениях $P_c = 20 - 40$ Н.

2. Величина силы P_3 при одних и тех же значениях P_c зависит от угла перекоса осей соединяемых деталей. С уменьшением угла γ сила P_3 возрастает. При $\gamma = 10^\circ$ заклинивание вала не наблюдалось.

3. Максимальное значение силы P_3 составляло 10÷30 % от силы P_c .

4. Эксперименты, выполненные с другими материалами, из которых изготавливались образцы деталей, давали разные соотношения P_c и P_3 .

5. Наличие фасок на образцах деталей показало, что значения силы P_3 при одинаковых значениях P_c оказались несколько выше по сравнению с образцами без фасок.

Знание механизма заклинивания деталей при сборке позволяет учитывать его при проектировании автоматизированного сборочного оборудования.

Общие рекомендации, которые можно при этом дать, состоят в следующем:

- усилие, поджимающее детали друг к другу в процессе соединения, должно быть минимальным, а при соединении деталей большего веса сила тяжести, возможно, частично должна компенсироваться;

- усилие поджима деталей при выполнении соединения должно изменяться плавно; ускорения, толчки и удары недопустимы, так как могут привести к заклиниванию и соединение окажется невозможным;

- в процессе соединения детали по возможности должны постоянно менять точки контакта, что позволит избежать больших пластических деформаций в зонах кон-

такта и возрастания эффекта заклинивания;

– целесообразно оснащать сборочные устройства средствами контроля осевого усилия и в случае его резкого возрастания снижать или убирать на какое-то время силовое воздействие, после чего повторять попытку соединить детали.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черняховская Л.Б. Анализ процесса совмещения цилиндрических деталей с гарантированным зазором // Автоматизация сборочных процессов. – Рига: Риж. политехн. ин-т, 1981. – С. 29-38.
2. Черняховская Л.Б. Математическая модель процесса совмещения цилиндрических деталей // Высокие технологии в машиностроении: Мат-лы Всеросс. науч.-техн. интернет-конф. с международ. участием. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 178-180.

Статья поступила в редакцию 3 мая 2012 г.

THE PHENOMENON OF PART WEDGING IN ASSEMBLY OF ASSURED GAP JOINTS

J.M. Budnikov, E.A. Yakubovich, S.D. Shaposhnikov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

In the article the conditions of part wedging in assembly of assured gap joints are investigated.

Keywords: *wedging, gap, assembling, billow.*

*Jury M. Budnikov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Efim A. Yakubovich (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Sergey D. Shaposhnicov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*