

Н. А. РАБИНОВИЧ
Кандидат технических наук

ТОЧНОСТЬ КОНИЧЕСКИХ СОПРЯЖЕНИЙ

Коммунистическая партия и Советское правительство поставили перед машиностроителями задачу дальнейшего совершенствования конструкции машин.

В общем комплексе вопросов, связанных с решением этой задачи, большое внимание уделяется изучению и совершенствованию соединений деталей машин.

Применение цилиндрических прессовых соединений при сборке машин широко распространено в машиностроении.

Меньше применяются конические прессовые соединения, несмотря на ряд свойственных им преимуществ. Это, повидимому, объясняется трудностями технологического характера и главным образом малой изученностью вопроса. Преимущества конических посадок настолько значительны (основным из них является возможность регулирования натяга), что заставляют поднять вопрос об их более широком использовании.

Ряд исследований, а также исследования автора данной статьи, послужившие темой его кандидатской диссертации, показывают возможность получения прочных и надежных в эксплуатации конических прессовых соединений.

Современное состояние допусков и методов измерения конических сопряжений не позволяет ставить вопрос об их массовом или серийном производстве. Здесь необходимо отметить следующее:

1. Отсутствует единое рациональное сочетание размеров, определяющих конус. В различных случаях конусы зачастую определяются различными сочетаниями размеров.

2. Отсутствуют указания на рациональное расположение полей допусков на диаметры и углы уклона конусов.

3. Нет единой методики расчета величины допусков.

4. Отсутствует система допусков и посадок для конических соединений.

5. Существующие методы контроля конусов малопродуктивны, требуют высокой квалификации контролера и применения сложных методов контроля.

Целью настоящей статьи является более подробная разработка допусков конических прессовых соединений на основе некоторых предположений, приведенных ниже.

В статье также изложен предлагаемый автором метод измерения конусов. Результаты настоящей работы являются попыткой систематизации допусков конических соединений, требующей экспериментальной проверки.

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ВЫБОР НАИБОЛЕЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КОНУС

Коническое сопряжение в отличие от цилиндрического характеризуется множественностью параметров, его определяющих.

На рис. 1 показаны основные элементы наружного и внутреннего конусов, их названия (термины) и обозначения согласно ОСТ-7530.

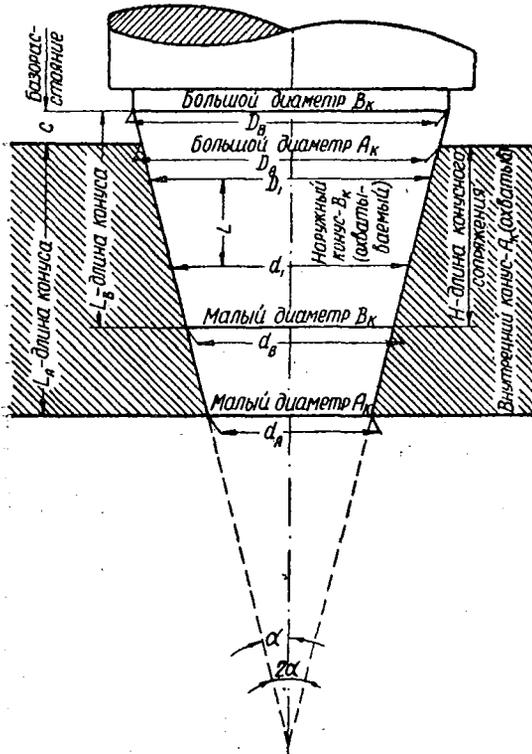


Рис 1. Элементы конического сопряжения.

1. D , d и L (два диаметра и длина);
2. D , L и K (большой диаметр, длина и конусность);
3. d , L и K (малый диаметр, длина и конусность);
4. D , d и K (два диаметра и конусность);
5. D , d и α (два диаметра и угол уклона);
6. D , L и α (большой диаметр, длина и угол уклона);
7. d , L и α (малый диаметр, длина и угол уклона).

Из указанных семи возможных вариантов следует выбрать наиболее практически целесообразные. При выборе мы руководствовались следующими соображениями:

1. Проставленные размеры должны легко измеряться. (D — у наружного конуса, d — у внутреннего конуса).
2. Проставленные размеры должны сразу, без дополнительных вычислений, определять размеры заготовки для конуса. (D и L — у наружного конуса, d и L — у внутреннего конуса).
3. Проставленные размеры должны исключить всякие дополнительные вычисления при обработке конусов.
4. Обязательно должен быть проставлен угол уклона α или конус-

¹ Здесь не приведены еще 2 размера: 2α — угол конуса и i -уклон, так как они идентичны углу уклона α и конусности K .

ность K ; угол уклона является более удобным при назначении допусков элементом.

Согласно высказанным соображениям наиболее целесообразными решениями можно считать:

для наружного конуса — вариант 6 (D , L и a);

для внутреннего конуса — вариант 7 (d , L и a).

Необходимо отметить, что из трех выбранных нами размеров, только два (диаметр и угол уклона) непосредственно влияют на качество сопряжения и требуют обоснованных и жестких допусков.

Длина конуса не оказывает прямого влияния на качество сопряжения и при отсутствии других конструктивных указаний может быть свободным размером.

ДОПУСКИ КОНУСОВ

Рассмотрим вначале возможное расположение полей допусков на диаметры, считая угол уклона величиной постоянной.

Очевидно, что и для наружного и для внутреннего конусов может быть три различных варианта расположения допусков на диаметр (см. рис. 2: 1) симметрично относительно номинального диаметра; 2) вверх от номинального диаметра; 3) вниз от номинального диаметра.

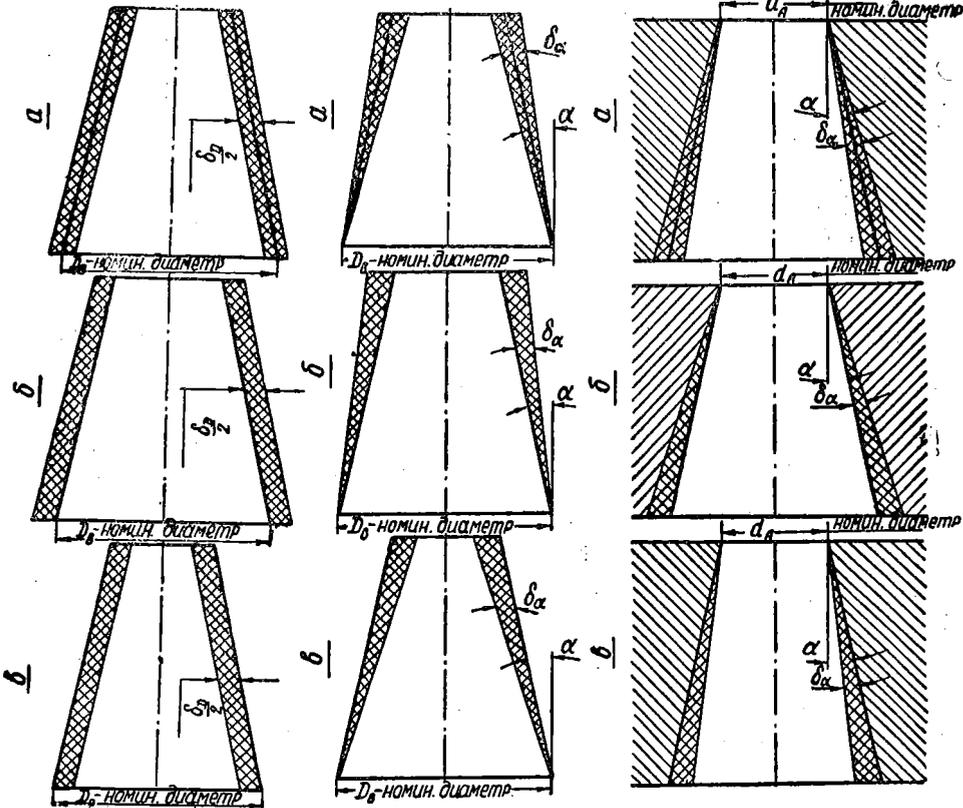


Рис. 2. Расположение допусков на диаметр для наружного конуса (вала).

Рис. 3. Расположение допусков на угол для наружного конуса (вала).

Рис. 4. Расположение допусков на угол для внутреннего конуса (отверстия).

Рассмотрим теперь возможное расположение полей допусков на углы уклона, предполагая, что диаметр конуса — величина постоянная.

Ясно, что для обоих конусов допуски на угол могут быть расположены так же, как и для диаметра (см. выше).

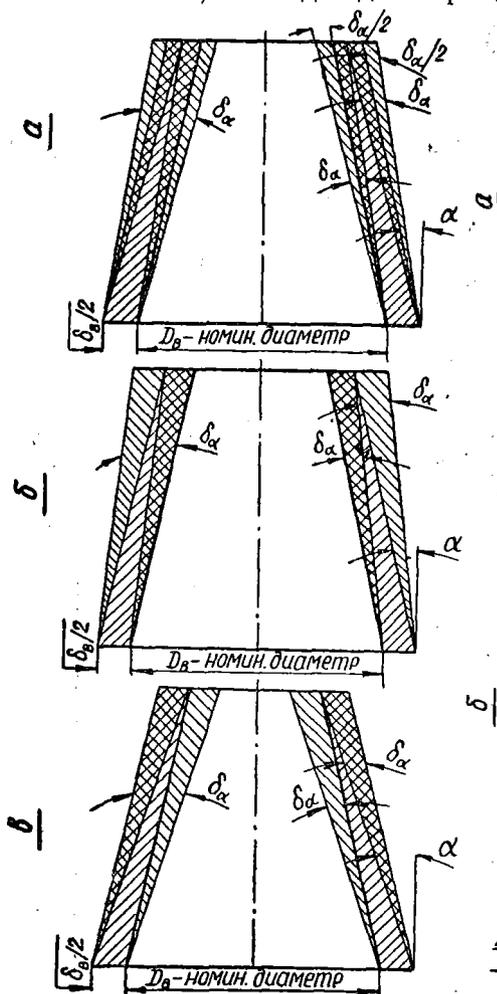


Рис. 5. Суммарные поля допусков.

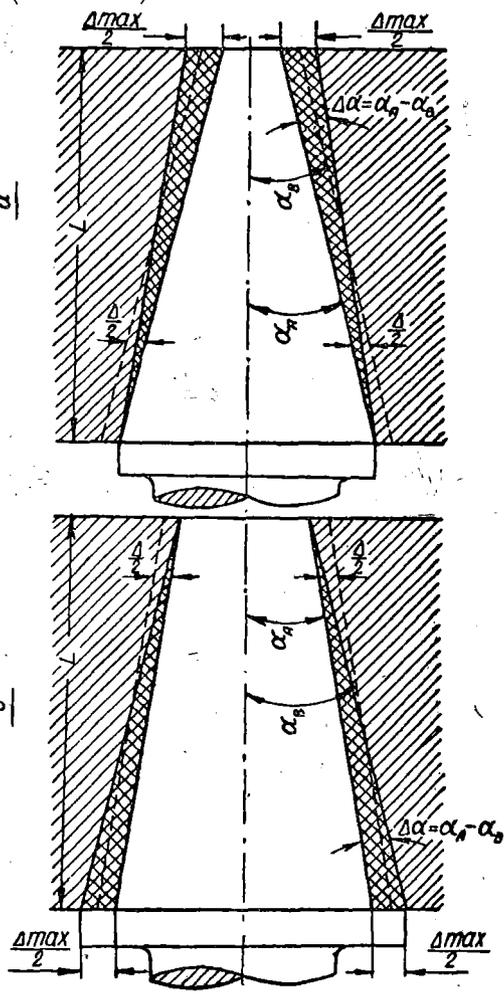


Рис. 6. Крайние допустимые варианты расположения поля натяга в соединении.

Различные варианты расположения допусков на угол для наружного конуса показаны на рис. 3 а, б и в, а для внутреннего конуса — на рис. 4 а, б и в.

Таким образом, рассмотрев возможные варианты расположения полей допусков на диаметры и углы уклона, можно утверждать, что в общем случае как наружный, так и внутренний конус выполняются девятью различными способами ($3 \times 3 = 9$ — число возможных сочетаний полей допусков на диаметры и углы).

С нашей точки зрения, целесообразно ввести понятие о суммарном поле допуска на конус, которое получается простым наложением друг на друга полей допусков на диаметры и углы.

Сочетая различные поля допусков, согласно сказанному выше получим восемнадцать различных вариантов расположения суммарных полей допусков, из них девять — для наружного конуса и девять — для внутреннего.

На рис. 5 *a*, *б* и *в* показаны суммарные поля допусков для наружного конуса при различном расположении допуска на угол и постоянном расположении (по схеме 2 *б*) допуска на диаметр.

Наиболее рациональное расположение полей допусков, а также величина допусков определяются из того, как они влияют на качество конических сопряжений.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО КОНИЧЕСКИХ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Качество конического соединения определяется рядом факторов, из которых основные:

- 1) распределение натягов по длине соединения;
- 2) относительное осевое положение деталей после образования соединения;
- 3) качество обработки сопрягаемых поверхностей.

Третий фактор (качество поверхностей) нами не рассматривается, так как относится к микрогеометрии поверхности и требует отдельного исследования.

Выясним влияние первых двух факторов.

Распределение натягов по длине соединения

Неравномерное распределение натяга по длине соединения, которое практически всегда имеет место, очевидно, резко отрицательно сказывается на качестве соединения.

Полагая, что в любом случае должна быть использована вся длина соединения, установим крайний допустимый вариант расположения поля натяга в виде треугольника (рис. 6 *a* и *б*).

Очевидно, что неравномерность распределения натяга по длине соединения обуславливается разницей в углах уклона у наружного и внутреннего конусов; при этом возможны два случая: 1) угол уклона у наружного конуса меньше, чем у внутреннего ($\alpha_B < \alpha_A$ — рис. 6 *a*); 2) угол уклона у наружного конуса больше, чем у внутреннего ($\alpha_B > \alpha_A$) — рис. 6 *б*.

Исходя из принятого нами крайнего допустимого варианта распределения поля натяга, следует определять величину допусков на углы уклона конусов, образующих соединение.

При этом следует учесть, что:

- 1) прочность конического соединения при треугольном поле натяга должна быть равна прочности того же соединения при равномерно распределенном натяге, что будет иметь место при какой-то определенной величине максимального натяга (Δ_{\max}), которую можно определить из расчета на равнопрочность;

- 2) зная Δ_{\max} и длину соединения L , можно легко определить допустимую разницу углов уклона наружного и внутреннего конусов — $\Delta\alpha$.

Соответствующий расчет допусков приведен ниже.

Относительное осевое положение деталей после образования соединения

Относительное осевое положение конусов после образования соединения в отличие от цилиндрических посадок нельзя установить произвольно, так как всякому относительному осевому смещению конусов соответствует изменение натяга (зазора).

Относительное осевое положение конусов фиксируется базорасстоянием, то есть расстоянием между измерительными базами наружного и внутреннего конусов.

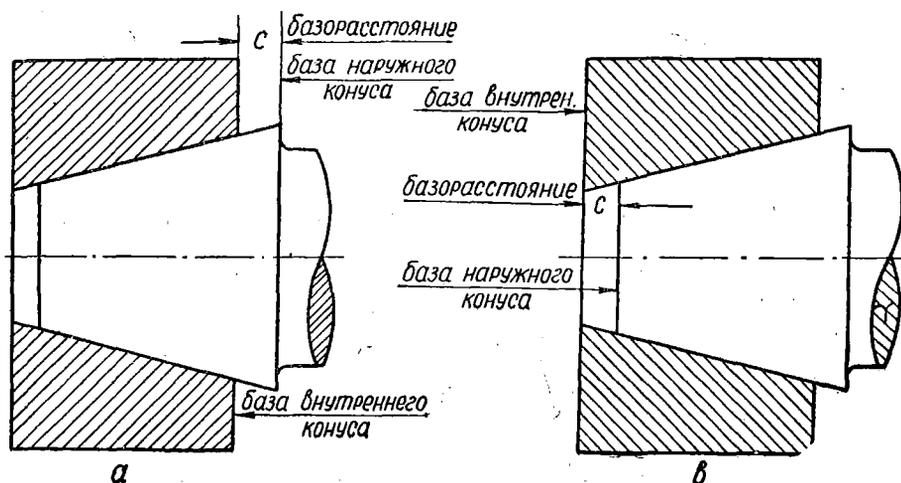


Рис. 7. Расположение баз.

В зависимости от конструкции соединения и удобства замера базы¹ могут быть расположены или со стороны большого или со стороны малого основания конусов (рис. 7).

Базорасстояние (C) ограничивается допуском (ΔC), величина которого зависит от конструктивных требований и назначается конструктором.

Колебания относительного осевого положения конусов вызываются колебаниями величины диаметров и углов уклона и, следовательно, допуск базорасстояния может быть выражен как функция от допусков на диаметры и углы уклона.

Так как допуск базорасстояния задан, а допуск угла уклона определен ранее, легко перейти к расчету допусков на диаметры.

Для определения расчетных зависимостей необходимо рассмотреть сочетания конусов с различно расположенными суммарными полями допусков.

Соответствующий расчет допусков приведен ниже.

¹ В технической литературе по данному вопросу указывается, что диаметры конусов должны замеряться на базовых поверхностях, что, с нашей точки зрения, нецелесообразно, так как противоречит желательной простановке размеров и не дает возможности стандартизировать размеры конусов.

В связи с этим принятый нами термин «база» отличается от существующего в настоящее время.

РАСЧЕТ ДОПУСКОВ КОНУСОВ

Согласно предыдущему рассчитаем вначале допуски на угол, а затем допуски на диаметр.

Расчет допусков на угол уклона

Технология образования конического прессового соединения (механическая запрессовка) обуславливает регламентацию натяга величиной усилия запрессовки независимо от того равномерно или неравномерно распределен натяг по длине соединения.

Для принятых нами крайних допустимых вариантов расположения поля натяга (рис. 6 а и 6 б) величину Δ_{\max} , следовательно, можно определить из расчета на равнопрочность соединений по осевой силе.

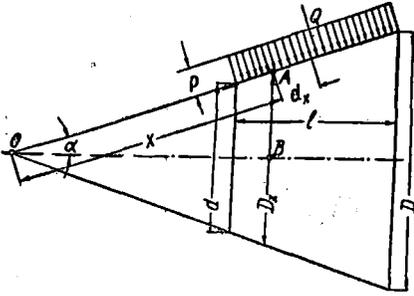


Рис. 8. Расчетная схема конусного соединения при равномерно распределенном натяге.

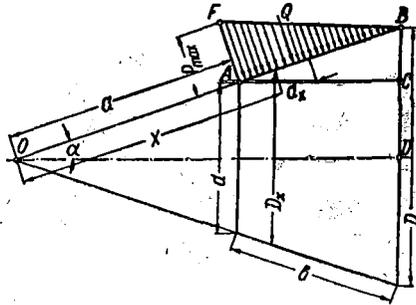


Рис. 9. Расчетная схема конусного соединения при неравномерно распределенном натяге (максимум у малого основания конуса).

Принятые нами расчетные схемы показаны на рис. 8, 9, 10. В результате соответствующих расчетов на равнопрочность получим: для случая $\alpha_B < \alpha_A$ (схема дана на рис. 9):

$$\frac{P_{\max}}{P} = \frac{3\left(\frac{D}{d} + 1\right)}{\frac{D}{d} + 2}. \quad [1]$$

Или, так как натяг¹ прямо пропорционален удельному давлению,

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta} = \frac{3\left(\frac{D}{d} + 1\right)}{\frac{D}{d} + 2}. \quad [2]$$

Для случая $\alpha_B > \alpha_A$ (схема дана на рис. 10):

$$\frac{P_{\max}}{P} = \frac{\Delta_{\max}}{\Delta}, \quad [3a]$$

¹ Здесь сравниваются два принципиально различных случая: прессовое соединение, нагруженное постоянным по длине давлением, и прессовое соединение, нагруженное переменным давлением.

Расчет, приведенный В. Л. Бидерманом (4), показывает, что в случае переменного давления, изменяющегося по линейному закону, расчетные формулы те же, что и в случае постоянного давления.

Так как нами принят линейный закон изменения давлений (по треугольнику), переход от формулы 1 к формуле 2 вполне оправдан.

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta} = \frac{3\left(\frac{D}{d} + 1\right)}{2\frac{D}{d} + 1} \quad [3]$$

Из тех же соображений

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta} = \frac{3\left(\frac{D}{d} + 1\right)}{2\frac{D}{d} + 1} \quad [4]$$

По уравнениям [2] и [4] для отношения диаметров $\frac{D}{d}$ от 1 до 2 построена диаграмма (рис. 11).

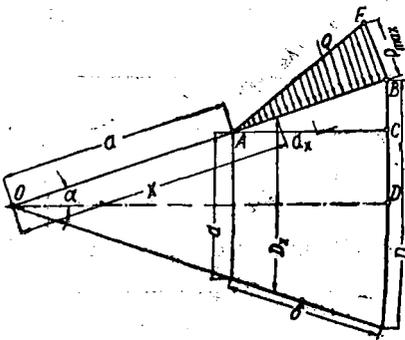


Рис. 10. Расчетная схема конусного соединения при неравномерно распределенном натяге (максимум у большего основания конуса).

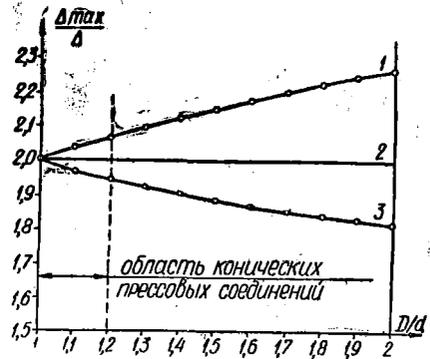


Рис. 11. Зависимость отношения $\frac{\Delta_{\max}}{\Delta}$ от отношения диаметров конусов.

На диаграмме показана область конических прессовых соединений, для которых $\frac{D}{d}$ практически изменяется от 1 до 1,2 ввиду малой конусности (от $K 1:20$ до $K 1:200$).

Как видно из диаграммы, в этом интервале величина $\frac{\Delta_{\max}}{\Delta}$ лежит в пределах 1,94—2,06.

Практически для расчета допусков (смотрите ниже) можем принять $\Delta_{\max} = 2\Delta$.

Из анализа расчетных схем, представленных на рис. 8, 9 и 10, вытекает следующее логическое заключение: соединения, выполненные по различным схемам с одинаковым усилием запрессовки, то есть одинаковыми по осевой прочности, будут обладать различной прочностью при их нагрузке крутящим моментом.

Это утверждение основывается на том, что одна и та же по величине суммарная сила трения в выполненных по различным схемам соединениях будет приложена на различных диаметрах.

Согласно этому для соединения по схеме рис. 9 передаваемый момент будет меньше, а для соединения по схеме рис. 10 больше, чем для соединения с равномерно распределенным натягом (рис. 8).

Примем следующие обозначения:

$M_{кр}$ — крутящий момент, который может выдержать соединение с равномерно распределенным натягом (рис. 8).

$M'_{кр}$ — крутящий момент, который может выдержать соединение с неравномерно распределенным натягом (рис. 9).

$M''_{кр}$ — крутящий момент, который может выдержать соединение с неравномерно распределенным натягом (рис. 10).

Все эти соединения выполнены с одинаковым усилием запрессовки.

После соответствующего расчета получим:

для случая $\alpha_B < \alpha_A$ (рис. 9):

$$\frac{M''_{кр}}{M_{кр}} = 0,75 \frac{\left(\frac{D}{d}\right)^2 + 2\frac{D}{d} + 3}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 + \frac{D}{d} + 1} \times \frac{\frac{D}{d} + 1}{\frac{D}{d} + 2}, \quad [5]$$

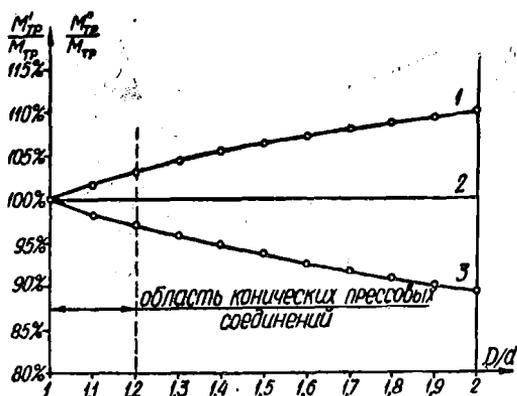


Рис. 12. Зависимость относительной прочности соединений от отношения диаметров конусов.

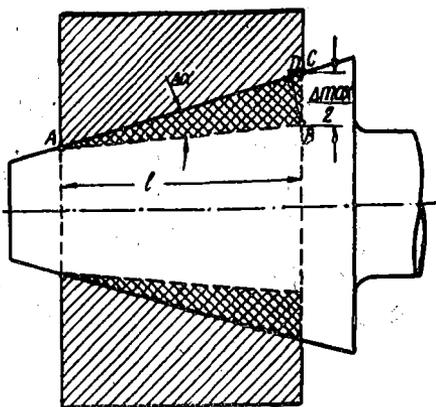


Рис. 13. Расчетная схема к определению допустимой разницы в углах уклона конусов.

для случая $\alpha_B > \alpha_A$ (рис. 10):

$$\frac{M''_{кр}}{M_{кр}} = 0,75 \frac{3\left(\frac{D}{d}\right)^2 + 2\frac{D}{d} + 1}{\left(\frac{D}{d}\right)^2 + \frac{D}{d} + 1} \times \frac{\frac{D}{d} + 1}{2\frac{D}{d} + 1}. \quad [6]$$

По уравнениям [5] и [6] построена диаграмма (рис. 12).

На диаграмме на тех же основаниях отмечена область конических прессовых соединений. Как видно из диаграммы, в этом интервале величина относительной прочности соединений лежит в пределах 96,9—103%.

Анализируя результаты проведенных нами выше расчетов, можно сделать следующие выводы:

1) с точки зрения прочности соединения более желательным является соединение при $\alpha_B > \alpha_A$.

2) соединение, выполненное по другому варианту ($\alpha_B < \alpha_A$), будет обладать пониженной прочностью и, следовательно, требует введения соответствующего коэффициента запаса;

3) возможное падение прочности соединения для области прессовых соединений сравнительно невелико, но достигает значительных величин при больших значениях отношения диаметров $\frac{D}{d}$, что, в частности, опасно для конических фрикционных муфт.

Следовательно, с этой точки зрения, коэффициент запаса для конических фрикционных муфт должен быть больше, чем для конических прессовых соединений.

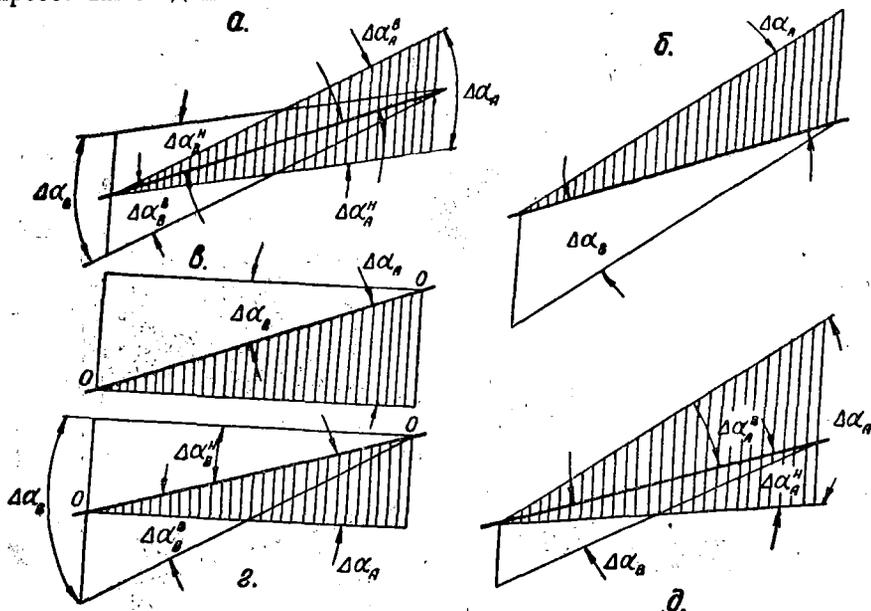


Рис 14. Целесообразные варианты сочетаний допусков на угол уклона.

На основе полученных результатов легко определяется допустимая разница углов уклона наружного и внутреннего конусов (см. рис. 13).

Ввиду малых значений $\Delta\alpha$

$$CB = \frac{\Delta_{\max}}{2} \approx \cup BD.$$

Ввиду малых значений конусностей

$$AB \approx l.$$

Тогда из сектора ABD определим величину угла $\Delta\alpha$ в минутах

$$\Delta\alpha = \frac{\cup BD \cdot 180 \cdot 60}{\pi \cdot AB} = \frac{\Delta_{\max} \cdot 180 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot AB}.$$

Подставим сюда значение $\Delta_{\max} = 2\Delta$ и выразим натяг в микронах. Окончательно получим

$$\Delta\alpha = 3,5 \frac{\Delta}{l} \text{ мин.} \quad [7]$$

По формуле [7] определяется допустимая разница в углах уклона наружного и внутреннего конусов — $\Delta\alpha$.

Возможны 9 различных сочетаний допусков на углы уклона. Самые целесообразные варианты, по нашему мнению, должны отвечать следующим условиям:

1. Наиболее свободным допуском.

2. Большей вероятности получения соединений повышенной прочности, в крайнем случае одинаковой вероятности получения обоих типов соединений.

3. Возможности изготовления конусов с различными по величине допусками.

4. Возможности изготовления одного из конусов с допуском большим допустимой разницы углов уклона — $\Delta\alpha$.

По определенным выше условиям нами выбраны наиболее рациональные варианты¹ (рис. 14).

Расчет допусков на диаметры

Выше нами установлен допуск базорасстояния и допуск на угол уклона, а также порядок определения допусков на диаметры.

Прежде чем приступить непосредственно к расчету допусков, следует выбрать их наиболее рациональное расположение.

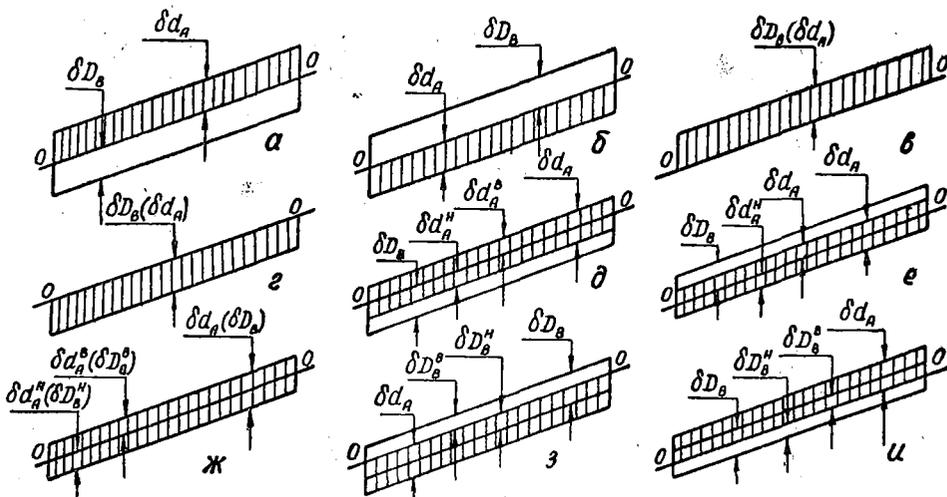


Рис. 15. Возможные варианты сочетаний допусков на диаметры конусов.

На рис. 15 показаны 9 основных вариантов сочетаний допусков на диаметры наружного и внутреннего конусов.

Здесь приняты следующие обозначения:

δD_B — допуск на диаметр наружного конуса (вала);

δd_A — допуск на диаметр внутреннего конуса (отверстия);

δD_B^B — верхнее отклонение диаметра вала;

δD_B^H — нижнее отклонение диаметра вала;

δd_A^B — верхнее отклонение диаметра отверстия;

δd_A^H — нижнее отклонение диаметра отверстия;

¹ Варианты б и в, строго говоря, условию 4 не отвечают. Они введены нами в группу рациональных, так как являются предельными случаями для вариантов г и д.

В основу дальнейших рассуждений примем следующее положение: сочетания допусков на углы уклона и диаметры конусов в соединении должны обеспечить симметричное расположение допуска базорасстояния относительно номинального значения¹.

Если сочетание допусков на углы уклона вызывает увеличение базорасстояния, сочетание допусков на диаметры тех же конусов должно вызвать уменьшение базорасстояния и наоборот; если же сочетание допусков

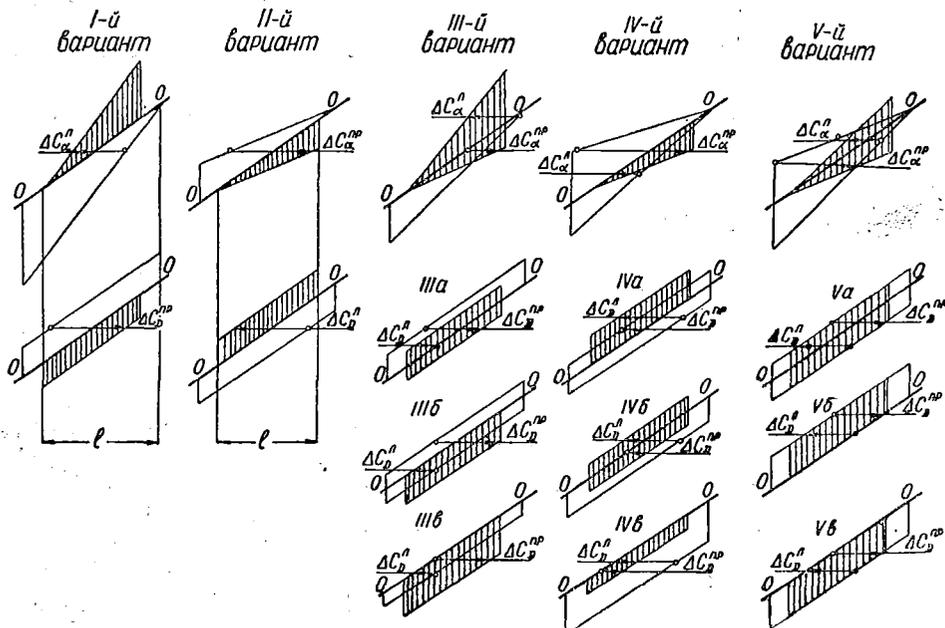


Рис. 16. Целесообразные варианты расположения допусков в соединении.

на углы уклона вызывает изменение базорасстояния в ту и другую сторону, сочетание допусков на диаметры должно аналогично изменять базорасстояние.

Принятое нами условие должно улучшить качество соединений в силу следующих обстоятельств:

1. Симметричное расположение допуска базорасстояния наиболее удобно, так как уменьшается величина возможной разницы между действительным и номинальным значением базорасстояния.

2. Так как допуски на углы уклона и допуски на диаметры вызывают изменение базорасстояния в разные стороны, возрастает вероятность получения его значений, наиболее близких к номинальному.

Очевидно, что для выполнения заданного условия, каждый из выбранных ранее вариантов сочетаний допусков на углы уклона потребует определенных сочетаний допусков на диаметры конусов.

Необходимые сочетания допусков на диаметры к каждому из выбранных выше вариантов сочетаний допусков на углы показаны на рис. 16, где приняты следующие обозначения:

¹ При необходимости частого ремонта деталей соединения допуск базорасстояния лучше располагать в одну сторону. При этом соответственно изменится геометрический расчет, приведенный ниже.

l — длина внутреннего конуса (длина соединения);

L — расстояние от большого основания наружного конуса до малого основания внутреннего конуса;

ΔC_D^{np} — осевое смещение наружного конуса вправо, вызванное допусками диаметров (от малого основания конуса к большому);

ΔC_D^a — то же, влево (от большого основания конуса к малому);

ΔC_α^{np} — осевое смещение наружного конуса вправо, вызванное допусками углов уклона;

ΔC_α^a — то же, влево.

Отметим следующие обстоятельства:

1. Для всех вариантов допуск базорасстояния принят одинаковым и равен возможному изменению базорасстояния в 1 или 2 вариантах, так как в этом случае оно будет наибольшим.

Так как для 1 и 2 вариантов

$$\Delta C_\alpha = \Delta C_D = \frac{\Delta C}{2},$$

то

$$\Delta C = 2\Delta C_\alpha; \quad \Delta C^B = +\Delta C_\alpha; \quad \Delta C^H = -\Delta C_\alpha,$$

где

ΔC — допуск базорасстояния;

ΔC^B — верхнее отклонение базорасстояния;

ΔC^H — нижнее отклонение базорасстояния.

Таким образом, допуск базорасстояния не назначается конструктором произвольно, а подсчитывается по формуле.

Формула для расчета допуска базорасстояния выведена ниже.

2. На рис. 16 показан размер L , влияющий на изменение базорасстояния; следовательно, он должен учитываться в расчете допусков на диаметры.

3. При изготовлении конусов по 3 варианту возможны три различных случая: 3а, 3б, 3в. Наиболее рациональным¹ является вариант 3а, так как здесь допуск вала расположен аналогично варианту 1.

4. При изготовлении конусов по 4 варианту также возможны три случая: 4а, 4б, 4в. Наиболее рациональный вариант 4а, так как здесь допуск отверстия расположен аналогично варианту 2.

5. При изготовлении конусов по 5 варианту также возможны три случая: 5а, 5б, 5в. Больше других удовлетворяет условиям вариант 5а, так как здесь возможны различные по величине допуски на диаметры наружного и внутреннего конусов.

6. Таким образом, конусы, образующие соединение, целесообразно изготавливать с расположением допусков по одному из пяти вариантов: 1, 2, 3а, 4а, 5а.

Допуски на диаметры для каждого из пяти вариантов находим по следующей методике:

1. Определяем изменение базорасстояния, вызванное допусками на углы уклона,

$$\Delta C_\alpha^{np} \text{ и } \Delta C_\alpha^a.$$

¹ Выбор варианта 3а, так же как в дальнейшем и 4а, связан с предлагаемым ниже проектом системы допусков и посадок.

2. Определяем изменение базорасстояния, вызванное допусками на диаметры

$$\Delta C_D^{np} = \frac{\Delta C}{2} - \Delta C_\alpha^{np}; \quad \Delta C_D^a = \frac{\Delta C}{2} \neq -\Delta C_\alpha^a.$$

3. Определяем допуски на диаметры конусов.

Результаты расчетов по всем пяти вариантам помещены в методической карте 1.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДОПУСКОВ

Расчет производим на основе данных карты 1.

Нами предлагается следующая методика расчета:

1. Выписываем имеющиеся данные.
2. Выбираем один из вариантов расположения допусков.
3. Определяем допуск базорасстояния¹.
4. Определяем допустимую разницу в углах уклона.
5. Назначаем для одного из конусов допуски на угол уклона и диаметр. При этом необходимо соблюдать следующие условия:
 - а) величина допуска на угол должна быть меньше или равна допустимой разнице в углах уклона конусов:

$$\Delta \alpha_B (\Delta \alpha_A) \leq \Delta \alpha.$$

- б) Величина допуска на диаметр должна быть меньше или равна приведенному натягу:

$$\delta D_B (\delta d_A) \leq \Delta \frac{L}{l}.$$

6. Определяем допуски для второго конуса.
7. Выписываем размеры конусов с допусками.

ПРИМЕР РАСЧЕТА ДОПУСКОВ

1. Данные:

$$\Delta = 35 \mu; \quad l = 50 \text{ мм}; \quad L = 65 \text{ мм}.$$

$$K = 1 : 50; \quad \alpha = 0^\circ 34' 20''.$$

$$D_B = 31,3 \text{ мм}; \quad d_A = 30 \text{ мм}; \quad C = 15 \text{ мм}.$$

2. Выбираем вариант 3а расположения допусков.

¹ При малых конусностях допуск базорасстояния велик (см. ниже).

Однако следует иметь в виду, что разница в действительных значениях базорасстояния, равная ΔC , получится только в том случае, если одно соединение будет выполнено с номинальными диаметрами и крайними допустимыми углами, а второе — наоборот, что практически исключается.

Благодаря принятому нами расположению допусков вероятность получения соединений с разницей действительных значений базорасстояния, близкой к ΔC , очень мала, вследствие чего допуск базорасстояния можно понизить против расчетного.

Для определения действительного допуска базорасстояния можно воспользоваться положениями теории вероятности, которая применяется также при назначении допусков в размерных цепях.

3. Допуск базорасстояния

$$\Delta C = 4 \frac{\Delta}{k} \cdot \frac{L}{l} = 4 \cdot 35 \cdot 50 \cdot \frac{65}{50} = 9100 \mu = 9,1 \text{ мм.}$$

$$\Delta C^B = +4,05 \text{ мм; } \Delta C^H = -4,05 \text{ мм.}$$

4. Допустимая разница в углах уклона конусов

$$\Delta \alpha = 3,5 \frac{\Delta}{l} = 3,5 \frac{35}{50} = 2,45'.$$

5. Назначаем допуски для наружного конуса (вала):

$$\text{а) } \Delta \alpha_B = 2' \quad (< 2,45'); \quad \Delta \alpha_B^B = +2'; \quad \Delta \alpha_B^H = 0.$$

$$\text{б) } \delta D_B = 30 \mu \quad \left(< \Delta \frac{L}{l} = 45,5 \right); \quad \delta D_B^B = +30; \quad \delta D_B^H = 0.$$

6. Определяем допуски для внутреннего конуса (отверстия):

$$\text{а) } \Delta \alpha_A = 2 \Delta \alpha - \Delta \alpha_B = 2 \cdot 2,45 - 2 = 2,9';$$

$$\Delta \alpha_A^B = + \Delta \alpha = +2,45';$$

$$\Delta \alpha_A^H = - (\Delta \alpha - \Delta \alpha_B) = - (2,45 - 2) = -0,45'.$$

$$\text{б) } \delta d_A^B = + 2 \Delta \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{\Delta \alpha_B}{\Delta \alpha} \right) = + 11 \mu;$$

$$\delta d_A^H = - \left\{ 2 \Delta \left[\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta \alpha_B}{\Delta \alpha} \right) \right] - \delta D_B \right\} = - 55 \mu.$$

7. Размеры конусов с допусками:

а) наружный конус

$$D_B = 31,3^{+0,030} \text{ мм;}$$

$$\alpha_B = 0^\circ 34' 20''^{+2'}.$$

б) внутренний конус

$$d_A = 30_{-0,055}^{+0,011} \text{ мм;}$$

$$\alpha_A = 0^\circ 34' 20''_{-0'27''}^{+2'27''}.$$

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ДЛЯ КОНИЧЕСКИХ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Результаты приведенного выше исследования дают возможность предложить проект системы допусков и посадок для конических прессовых соединений как необходимое условие при серийном производстве последних.

Предлагаемая нами система характеризуется рядом признаков, из которых основные:

1. Деление на систему вала (наружного конуса) и систему отверстия (внутреннего конуса).

2. Деление на ряд классов точности.
 3. Деление на ряд посадок.
 4. Градация натягов в каждом классе точности.
- Рассмотрим каждый из признаков в отдельности.

Деление на систему вала и систему отверстия

Система отверстия (CA_k) характеризуется тем, что в ней при заданных номинальных размерах и заданной точности изготовления предельные размеры отверстия остаются постоянными, независимыми от натяга; в зависимости от натяга изменяются предельные размеры вала.

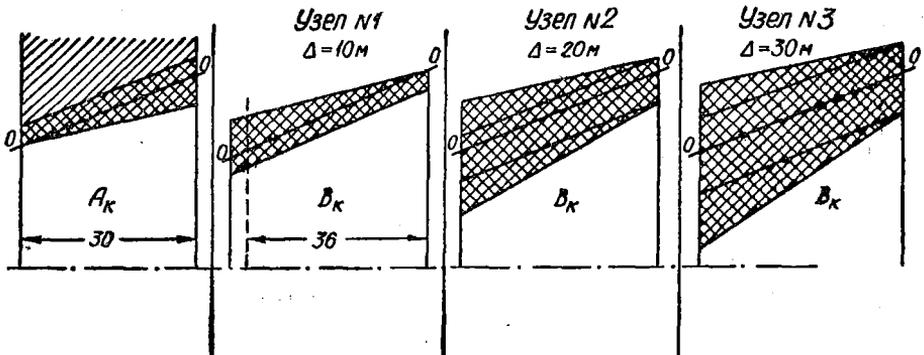


Рис. 17. Осуществление системы отверстия.

Система отверстия основана на варианте 4а расположения допусков. На рис. 17 графически показано осуществление конических соединений с различными натягами по системе отверстия.

Система вала (CB_k) характеризуется тем, что в ней при заданных номинальных размерах и заданной точности изготовления предельные размеры вала остаются постоянными, независимыми от натяга; в зависимости от натяга изменяются предельные размеры отверстия.

Система вала основана на варианте 3а расположения допусков.

Осуществление конических сопряжений с различными натягами по системе вала показано на рис. 18.

Отметим свойственный такому построению системы недостаток, заключающийся в том, что при большом диапазоне натягов, наружный и внутренний конусы изготавливаются с резко отличными степенями точности (основная деталь изготавливается более точно).

При выборе системы отверстия и системы вала исходим из следующих соображений:

1. Преимуществом системы отверстия является сокращение ассортимента дорогих режущих инструментов для обработки отверстий (развертки).

2. Преимуществом системы вала является то, что основная, более точно изготавливаемая деталь здесь значительно легче измеряется.

Деление на ряд классов точности

Выше уже отмечалось, что необходимая точность изготовления конусов зависит от натяга — чем меньше натяг, тем более точно должны изготавливаться конусы, образующие соединения.

Поэтому каждый класс точности должен включать в себя определенный диапазон натягов, причем чем выше класс точности, тем меньшие натяги должны в него входить.

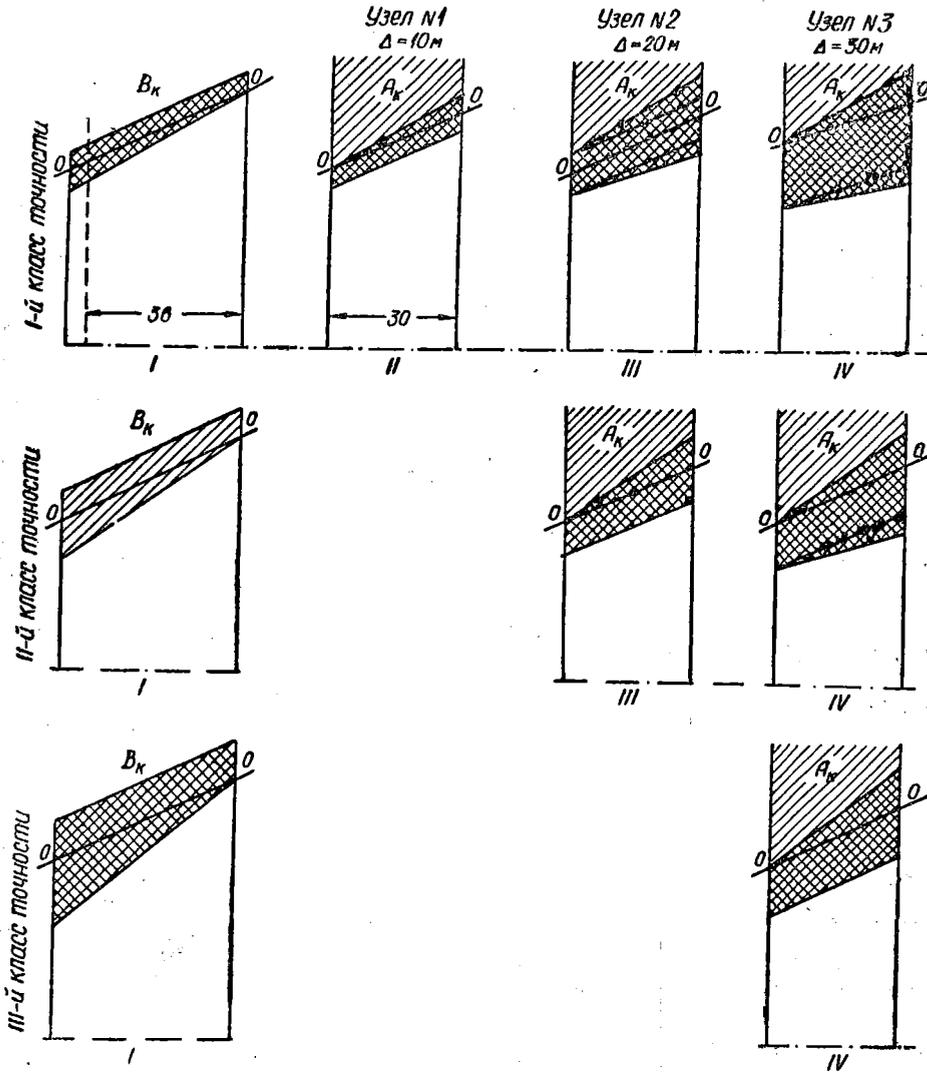


Рис. 18. Осуществление различных классов точности:

Показателем класса точности является точность изготовления, то есть допуски основной детали:

$\delta\alpha$ — допуск на угол уклона основного конуса;

$\delta D(d)$ — допуск на диаметр основного конуса.

Таким образом, каждый класс точности характеризуется:

1) охватываемым диапазоном натягов;

2) показателями класса, то есть допусками основного конуса.

Необходимое число классов точности, величину диапазона натягов

и величину показателей каждого класса следует установить путем широкого экспериментального исследования, а также обобщения имеющихся экспериментальных данных.

На рис. 18 графически показано осуществление конических соединений по системе вала с различными натягами и по различным классам точности.

Деление на ряд посадок

В цилиндрических соединениях посадка определяется характером сопряжения, а для прессовых соединений — величиной натяга.

Так как в конических соединениях натяг регулируется, посадки в зависимости от величины натяга различать нельзя.

По нашему мнению, целесообразно для конических соединений различать посадки по номинальной конусности соединения, что основывается на следующем:

1. Соединения различной конусности, выполненные с одинаковыми натягами, имеют различную прочностную характеристику, то есть соотношение между усилиями запрессовки и выпрессовки; чем меньше конусность, тем меньше усилие запрессовки и тем больше усилие выпрессовки, то есть тем лучше характеристика прочности соединения¹.

2. Соединения различной конусности, выполненные с одинаковыми допусками на углы уклона и диаметры, имеют различные допуски базорасстояния.

Число посадок, очевидно, должно быть равно числу стандартных конусностей для области конических прессовых соединений.

Считая область прессовых соединений от $K 1:20$ до $K 1:200$ по ОСТ/ВКС 7652, получим пять конусных посадок (см. таблицу 1).

Таблица 1

Стандартные конусные посадки

Обозначение посадки	Конусность K	Угол уклона α	Допуск базорасстояния Δl в микронах	
Прессовая $K 1:20$	1: 20	1°25'56"	$\frac{L}{4\Delta \frac{1}{K}}$	$80 \Delta \frac{L}{l}$
Прессовая $K 1:30$	1: 30	0°57'18"		$120 \Delta \frac{L}{l}$
Прессовая $K 1:50$	1: 50	0°34'23"		$200 \Delta \frac{L}{l}$
Прессовая $K 1:100$	1: 100	0°17'12"		$400 \Delta \frac{L}{l}$
Прессовая $K 1:200$	1: 200	0° 8'37"		$800 \Delta \frac{L}{l}$

¹ Это положение вытекает из расчета и подтверждается экспериментальными данными ряда исследователей, в том числе и автора.

Градации натягов в каждом классе точности

Каждый класс точности, как уже указывалось выше, охватывает определенный диапазон натягов; в этом диапазоне должно содержаться определенное число стандартных натягов.

Количество и величину стандартных натягов в каждом классе точности следует установить, исходя из практических данных.

Для обеспечения возможности изготовления конусов с различной степенью точности при одинаковых натягах необходимо обеспечить содержание одинаковых натягов в различных классах точности (см. рис. 18).

Показатели класса точности ($\delta\alpha$, $\delta D(d)$) должны устанавливаться по наименьшему стандартному натягу, включенному в данный класс точности.

Необходимый действительный натяг соединения рассчитывается конструктором, после чего он должен округляться до ближайшего стандартного натяга в сторону увеличения.

Класс точности определяется после выбора стандартного натяга в зависимости от того, насколько точно возможно и целесообразно изготовить основной конус.

На карте 2 представлен проект системы в виде таблицы допусков и посадок.

В таблицу включены три класса точности и три из имеющихся пяти посадок ($K 1:20$, $K 1:50$, $K 1:100$).

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КОНУСОВ

В этом разделе мы рассмотрим конструкцию калибров для контроля гладких конических изделий, не останавливаясь на универсальных средствах, применение которых в серийном производстве нежелательно.

Контроль конусов с помощью калибров в настоящее время производится главным образом по осевому перемещению калибра относительно изделия и направлен тем самым к ограничению допуском отклонений базорасстояния.

Калибры выполняются с двумя рисками, расстояние между которыми (m) зависит от допуска базорасстояния; в процессе проверки наблюдают, находится ли торец изделия между этими рисками калибра.

На рис. 19 показаны различные конструкции таких калибров.

Здесь a — калибр-пробка с уступом у малого основания конуса;

b — калибр-пробка с рисками у большого основания конуса;

v — калибр-скоба с уступом у малого основания конуса;

z — калибр-скоба с уступом у большого основания конуса;

d — калибр-скоба (плоский) с рисками у малого основания конуса.

Нетрудно убедиться в том, что такая проверка является недостаточной.

В самом деле, как уже указывалось выше, допуск базорасстояния является функцией от допусков на диаметры и углы уклона

$$\Delta C = F(\delta\alpha, \delta D).$$

Поэтому, даже если допуск базорасстояния выдержан, нет оснований утверждать, что конус изготовлен правильно, так как возможно бла-

гоприятное (с точки зрения допуска базорасстояния) сочетание значительно превосходящих допустимых отклонений диаметров и углов уклона.

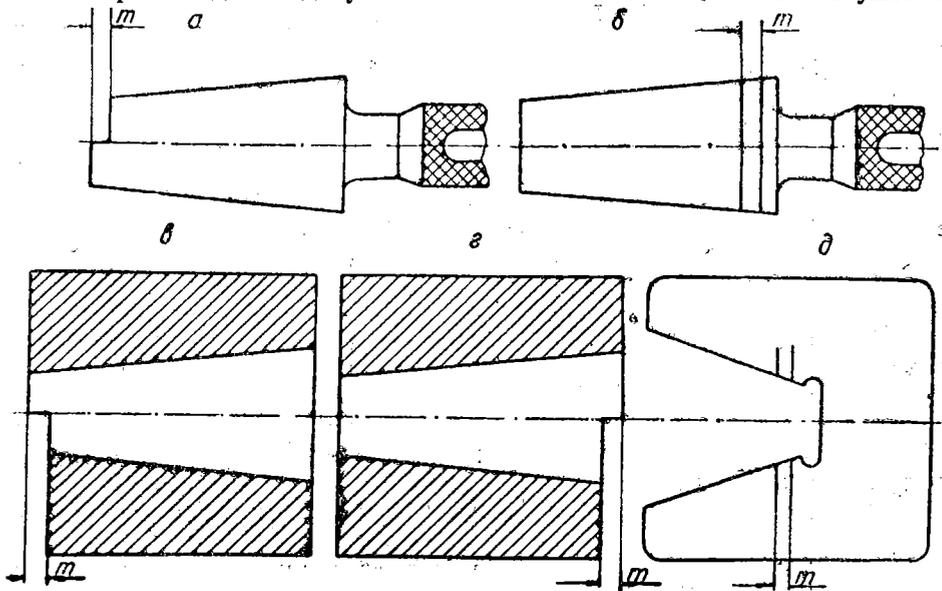


Рис. 19. Конусные калибры.

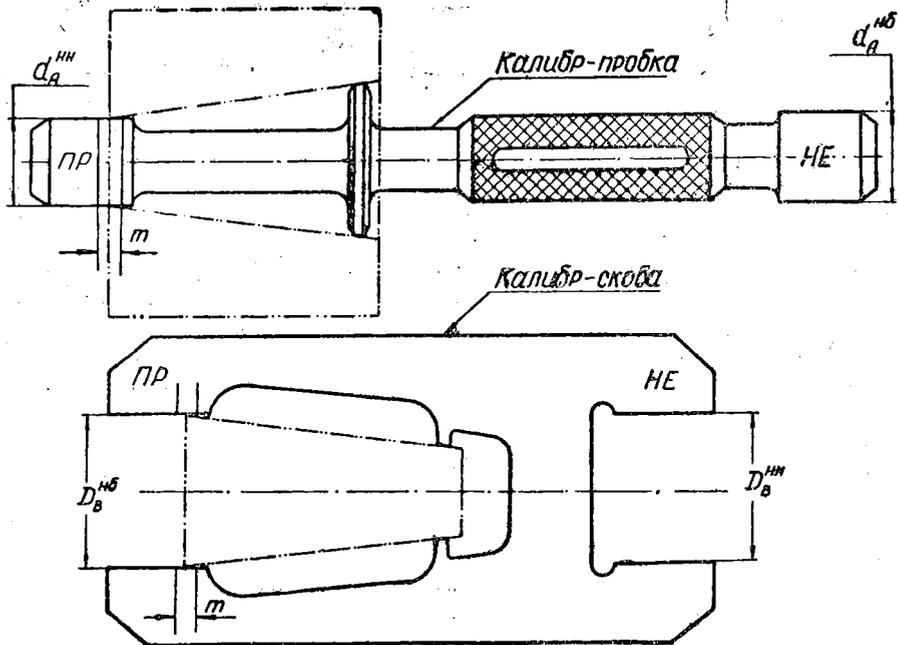


Рис. 20. Комплексные калибры.

Следовательно, кроме проверки конуса таким калибром, необходимо дополнительно проверить один из упомянутых выше размеров; только после этого можно гарантировать правильность изготовления конуса.

На практике производится дополнительная проверка: а) угла уклона при помощи соответствующих калибров на краску или на просвет; б) диаметра при помощи универсальных средств или специальных калибров.

Необходимо отметить, что проверка любого из этих размеров затрудняет процесс контроля конусов, так как проверка угла уклона требует значительного времени и высокой квалификации контролера, а проверка диаметра — применения калибров специальной конструкции, поскольку приходится проверять трудно измеряемые диаметры: d — у наружного конуса, D — у внутреннего конуса.

Нами предлагаются для контроля конусов комплексные калибры, конструкция которых основана на следующем:

1. Для полной проверки конуса достаточно измерить отклонение базорасстояния и диаметр.

2. Диаметры замеряются обычными предельными калибрами, так как базовыми у нас являются легко измеряемые диаметры: D — у наружного конуса, d — у внутреннего конуса.

3. Размер t определяется специальным расчетом и всегда меньше допуска базорасстояния, так как допуски на диаметры и углы уклона для калибров меньше, чем для сопрягаемых конусов.

На рис. 20 показана конструкция комплексных калибров.

При пользовании комплексными калибрами необходимо вначале проверить деталь непроходным (НП), а затем проходным (ПР) калибром.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апарин Г. А. и Городецкий И. Е. — Допуски и технические измерения. Машгиз (1950).

2. Ачеркан Н. С. — Расчет и конструирование металлорежущих станков. Машгиз (1949).

3. Карпин Е. Б. — Теоретико-экспериментальное исследование статической и динамической прочности взаимозаменяемых конусных сопряжений. Сб. Лонитомаш «Взаимозаменяемость, точность и техника измерения в машиностроении». Машгиз (1951).

4. Пономарев С. Д., Бидерман В. Л. и др. — Основы современных методов расчета на прочность в машиностроении, Машгиз, т. I (1950).

5. Рабинович Н. А. — Исследование работы конических соединений. Автореферат диссертации, Львов (1954).

Ва- рианты	Вариант IIIa		Вариант IVa		Вариант Va	
	Отверстие	Вал	Отверстие	Вал	Отверстие	Вал
Суммарное поле допуска						
Данные	$\Delta, l, L, \alpha, K, D_B, d_A, C$		$\Delta, l, L, \alpha, K, D_B, d_A, C$		$\Delta, l, L, \alpha, K, D_B, d_A, C$	
	$\Delta\alpha_B, \delta D_B$ — назначаются		$\Delta\alpha_A, \delta d_A$ — назначаются		Назначаются $\Delta\alpha_B, \delta D_B$	Назначаются $\Delta\alpha_A, \delta d_A$
ΔC	Для всех вариантов $4 \frac{\Delta}{K} \cdot \frac{L}{l}$					
ΔC^B	Для всех вариантов $+2 \frac{\Delta}{K} \cdot \frac{L}{l}$					
ΔC^H	Для всех вариантов $-2 \frac{\Delta}{K} \cdot \frac{L}{l}$					
$\Delta\alpha$	Для всех вариантов $3,5 \frac{\Delta}{l}$ минут					
$\Delta\alpha_B$	Назначается		$2\Delta\alpha - \Delta\alpha_A$		Назначается	
$\Delta\alpha_B^B$	$+\Delta\alpha_B$		$+(\Delta\alpha - \Delta\alpha_A)$		$+\frac{1}{2}\Delta\alpha_B$	
					$+\frac{1}{2}\Delta\alpha_B$	

$\Delta\alpha_B^H$	0	$-\Delta\alpha$	$-\frac{1}{2}\Delta\alpha_B$	$-\frac{1}{2}\Delta\alpha_B$
$\Delta\alpha_A$	$2\Delta\alpha - \Delta\alpha_B$	Назначается	$2\Delta\alpha - \Delta\alpha_B$	Назначается
$\Delta\alpha_A^B$	$+\Delta\alpha$	0	$+\frac{1}{2}\Delta\alpha_A$	$+\frac{1}{2}\Delta\alpha_A$
$\Delta\alpha_A^H$	$-(\Delta\alpha - \Delta\alpha_B)$	$-\Delta\alpha_A$	$-\frac{1}{2}\Delta\alpha_A$	$-\frac{1}{2}\Delta\alpha_A$
δD_B	Назначается	$\delta D_B^B - \delta D_B^H$	Назначается	$2\Delta \left[\frac{L}{l} \left(2 - \frac{\Delta\alpha_B}{\Delta\alpha} \right) + \frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha_B - \Delta\alpha_A}{\Delta\alpha} \right] - \delta d_A$
δD_B^B	$+\delta D_B$	$+\Delta \left(1 - \frac{\Delta\alpha_A}{\Delta\alpha} \right)$	$+\frac{1}{2}\delta D_B$	$+\frac{1}{2}\delta D_B$
δD_B^H	0	$-\left\{ 2\Delta \left[\frac{\Delta\alpha_A}{\Delta\alpha} \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right] - d_A \right\}$	$-\frac{1}{2}\delta D_B$	$-\frac{1}{2}\delta D_B$
δd_A	$\delta d_A^B - \delta d_A^H$	Назначается	$2\Delta \left[\frac{L}{l} \left(2 - \frac{\Delta\alpha_B}{\Delta\alpha} \right) + \frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha_B - \Delta\alpha_A}{\Delta\alpha} \right] - \delta D_B$	Назначается
δd_A^B	$+2\Delta \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{\Delta\alpha_B}{\Delta\alpha} \right)$	$+\delta\alpha_A$	$+\frac{1}{2}\delta d_A$	$+\frac{1}{2}\delta d_A$
δd_A^H	$-\left\{ 2\Delta \left[\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Delta d_B}{\Delta\alpha} \right) \right] - \delta D_B \right\}$	0	$-\frac{1}{2}\delta d_A$	$-\frac{1}{2}\delta d_A$

Методическая карта для расчета допусков

ТАБЛИЦА ДОПУСКОВ

Классы точности	Показатели класса	Натяги в микронах	Система отверстия											
			Отклонение базорасстояния											
			Посадки											
			Отклонения отверстия Ak				Прессовая $K 1:20$		Прессовая $K 1:50$		Прессовая $K 1:100$			
			B		H		B	H	B		H		H	
			+		-		+	-	+		-		-	
			$40\Delta \frac{L}{l}$		$40\Delta \frac{L}{l}$		$100\Delta \frac{L}{l}$	$100\Delta \frac{L}{l}$	$200\Delta \frac{L}{l}$		$200\Delta \frac{L}{l}$		$200\Delta \frac{L}{l}$	
Отклонения вала Bk														
Угол α_A		Диаметр d_A		Угол α_B		Диаметр D_B								
B	H	B	H	B	H	B		H						
+	-	+	-	+	-	+		-						
I	δ_a^I $\delta_{D(d)}^I$	Δ_1^I Δ_2^I Δ_3^I ...	0	δ_a^I δ_d^I	0	$\Delta\alpha_i^I - \delta\alpha^I$ $\Delta\alpha_i^I = 3,5 \frac{\Delta_1^I}{l}$	$\Delta\alpha_i^I = 3,5 \frac{\Delta_1^I}{l}$	$\Delta_i^I \left(1 - \frac{\delta_a^I}{\Delta\alpha_i^I} \right)$	$2\Delta_i^I \left[\frac{\delta_a^I}{\Delta\alpha_i^I} \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right] - \delta_d^I$					
II	δ_a^{II} $\delta_{D(d)}^{II}$	Δ_1^{II} Δ_2^{II} Δ_3^{II} ...	0	δ_a^{II} δ_d^{II}	0	$\Delta\alpha_i^{II} - \delta\alpha^{II}$ $\Delta\alpha_i^{II} = 3,5 \frac{\Delta_1^{II}}{l}$	$\Delta\alpha_i^{II} = 3,5 \frac{\Delta_1^{II}}{l}$	$\Delta_i^{II} \left(1 - \frac{\delta_a^{II}}{\Delta\alpha_i^{II}} \right)$	$2\Delta_i^{II} \left[\frac{\delta_a^{II}}{\Delta\alpha_i^{II}} \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right] - \delta_d^{II}$					
III	δ_a^{III} $\delta_{D(d)}^{III}$	Δ_1^{III} Δ_2^{III} Δ_3^{III} ...	0	δ_a^{III} δ_d^{III}	0	$\Delta\alpha_i^{III} - \delta\alpha^{III}$ $\Delta\alpha_i^{III} = 3,5 \frac{\Delta_1^{III}}{l}$	$\Delta\alpha_i^{III} = 3,5 \frac{\Delta_1^{III}}{l}$	$\Delta_i^{III} \left(1 - \frac{\delta_a^{III}}{\Delta\alpha_i^{III}} \right)$	$2\Delta_i^{III} \left[\frac{\delta_a^{III}}{\Delta\alpha_i^{III}} \left(\frac{L}{l} + \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2} \right] - \delta_d^{III}$					

Система допусков

И ПОСАДОК

Система вала													
Отклонение базорасстояния													
П о с а д к и													
Отклонения вала <i>Bk</i>		Прессовая <i>K 1:20</i>				Прессовая <i>K 1:50</i>				Прессовая <i>K 1:100</i>			
		<i>B</i>		<i>H</i>		<i>B</i>		<i>H</i>		<i>B</i>		<i>H</i>	
		+		-		+		-		+		-	
		$40\Delta \frac{L}{l}$		$40\Delta \frac{L}{l}$		$100\Delta \frac{L}{l}$		$100\Delta \frac{L}{l}$		$200\Delta \frac{L}{l}$		$200\Delta \frac{L}{l}$	
Отклонения отверстия <i>Ak</i>													
Угол α_B		Диаметр D_B		Угол α_A		Диаметр d_A							
<i>B</i>	<i>H</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>B</i>	<i>H</i>	<i>B</i>			<i>H</i>				
+	-	+	-	+	-	+			-				
δ_α^I	0	δ_D^I	0	$\Delta\alpha_i^I$	$\Delta\alpha_i^I - \delta_\alpha^I$	$2\Delta_i^I \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{\delta_\alpha^I}{\Delta\alpha_i^I} \right)$			$2\Delta_i^I \left[\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\delta_\alpha^I}{\Delta\alpha_i^I} \right) \right] - \delta_D^I$				
δ_α^{II}	0	δ_D^{II}	0	$\Delta\alpha_i^{II}$	$\Delta\alpha_i^{II} - \delta_\alpha^{II}$	$2\Delta_i^{II} \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{\delta_\alpha^{II}}{\Delta\alpha_i^{II}} \right)$			$2\Delta_i^{II} \left[\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\delta_\alpha^{II}}{\Delta\alpha_i^{II}} \right) \right] - \delta_D^{II}$				
δ_α^{III}	0	δ_D^{III}	0	$\Delta\alpha_i^{III}$	$\Delta\alpha_i^{III} - \delta_\alpha^{III}$	$2\Delta_i^{III} \left(\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \right) \left(1 - \frac{\delta_\alpha^{III}}{\Delta\alpha_i^{III}} \right)$			$2\Delta_i^{III} \left[\frac{L}{l} - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\delta_\alpha^{III}}{\Delta\alpha_i^{III}} \right) \right] - \delta_D^{III}$				

и посадок (проект).