И. С. Чижов.

О методе сортировки во взаимозаменяемом производстве.

Общеизвестно, что неточность обработки сопрягаемых деталей весьма заметным образом влияет на характер посадки. Это влияние сказывается в большем или меньшем колебании величины зазоров и натягов, определяющих характер посадки. Более того,—иногда допускаемые колебания в размерах изготовляемых деталей приводят к изменению знака зазора или натяга. С последним обстоятельством мы встречаемся в так назыв. „тугих посадках" [1]), 2-го и $2^1/_2$ классов точности. Между тем условия работы деталей, прочность исходных материалов, служащих для изготовления деталей, величина передаваемых усилий и моментов, условия работы смазочного слоя и пр. конструктивные соображения могут ставить границы таким колебаниям в характере сопряжений. Естественным в этом случае является переход к более высоким классам точности при назначении посадок, т. к. в более высоком классе точности колебания зазоров (или натягов) не столь велики и сама посадка при этом получает бо́льшую определенность. Но такой переход в более высокий класс точности—1) сопровождается всегда значительным повышением стоимости обработки, т. к. всякое уменьшение допуска на обработку прогрессивно увеличивает потребное время изготовления, 2) требует труда повышенной квалификации, повышает процент брака при изготовлении, требует дополнительного оборудования, инструмента и прочих условий, которые не всегда могут быть в наличии и 3) такой переход в более высокий класс точности не всегда возможен по формальным соображениям, т. к. в этом классе может не быть аналогичных посадок, утвержденных ОСТ'ом,—„плодить" же самостийно потребные посадки каждому конструктору или даже заводу, значит сознательно отказаться от выгод, обеспечиваемых стандартизацией.

Заграничная, в частности американская, практика нашла выход из указанных затруднений в применении метода так наз. выборочной сборки (selective assembly). Правильнее этот метод можно назвать сборкой с предварительной сортировкой или же обработкой с последующей сортировкой.

Принцип работы по этому способу заключается в следующем.

Как известно, посадка определяется: 1) взаимным положением полей допусков сопрягаемых деталей, 2) величиной полей допусков. Взаимное положение полей допусков обусловливает определенную величину среднего зазора (или соответственно натяга) между сопрягаемыми деталями (см. расстояние *AB*, черт. 1).

Вследствие невозможности абсолютно точно изготовить детали приходится на изготовление их задать определенные допуски, величина которых и характеризует размер полей допусков указанных деталей. В результате этого при сборке возможны такие случаи, когда отверстие минимального

---

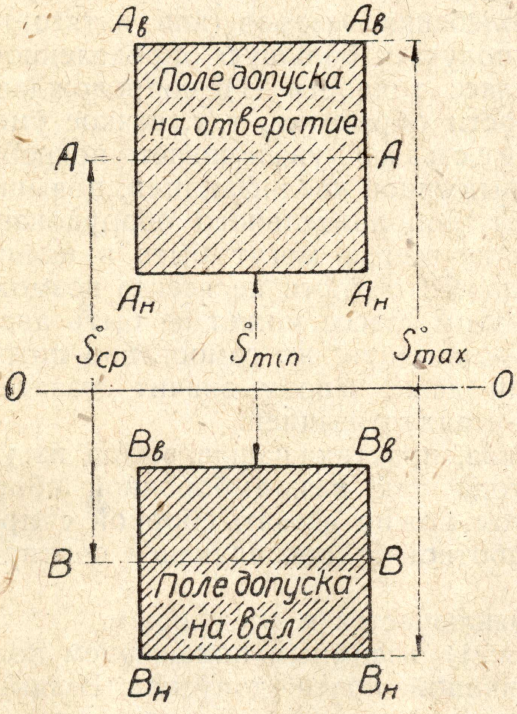
[1]) Мы разделяем все посадки на 3 больших класса: 1) прессовые посадки—посадки с гарантированным минимальным натягом, 2) ходовые посадки—посадки с гарантированным минимальным зазором, 3) тугие посадки—в которых, в зависимости от величины допусков сопрягаемых деталей, могут получаться как зазоры, так и натяги.

диаметра встретится с валом максимального диаметра, что дает минимальный зазор (см. расстояние S°_{min} черт. 1) или наоборот, вал минимального диаметра встретится с отверстием максимального диаметра, что даст максимальный зазор (см. расстояние S°_{max}, фиг. 1). Аналогичные рассуждения могут быть повторены и для деталей, собирающихся с натягом.

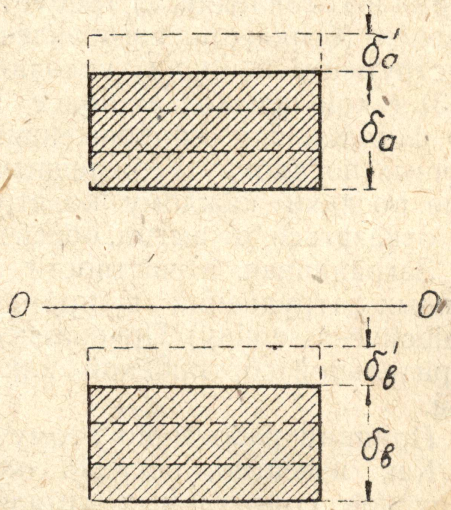
Желая уменьшить разность между максимальным и минимальным зазорами или натягами (назовем ее допуском посадки и обозначим $\triangle_s$), не создавая дополнительных трудностей в обработке, сортируют детали A и B на несколько классов согласно полученних размеров и собирают большие валы с большими отверстиями, меньшие валы—с меньшими отверстиями и т. д. Естественно, что подобная сортировка поведет к изменению разности между максимальным и минимальным зазорами (или натягами) и придаст сопряжениям бо́льшую определенность и четкость, не изменяя характера посадки, определяемого величиной среднего зазора или натяга.

Малое колебание зазоров и натягов, естественно, приводит к резкому улучшению качества изделий, так например, после введения сортировки поршневых пальцев и шатунов на заводах Форда, резко уменьшились случаи стука в машинах (слишком большой зазор), уменьшились случаи перегрева подшипн. головки шатуна (слишком малый зазор) и резко возросла продолжительность службы сопряжения до первого ремонта.

При работе обычным способом величина поля допуска зависела в известной степени от расположения полей допусков, т. к. при желании получения незначительных зазоров или натягов, слишком большие поля допусков могли резко изменить характер посадки. При работе с сортировкой величина поля допуска выбирается независимо от взаимного располо-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

жения полей допусков и при затруднениях в обработке по данному классу точности даже может быть увеличена путем установления дополнительно стандартных размеров на вал и отверстие (фиг. 2). Так, например, если обработка по допускам δ_a и δ_b затруднительна или дает значительное количество брака, поля допусков могут быть увеличены соответственно на величину δ'_a и δ'_b (последний прием получил в Америке название метода over-size).

Следует заметить, что в большинстве случаев выгоды, получаемые от обработки по более грубому классу точности, настолько велики, что они с лихвой покрывают расходы по сортировке деталей, тем более что самый процесс сортировки может производиться в процессе контроля. Контрольно-браковочный аппарат тем самым частично превращается в сортировочный орган завода.

В итоге применение метода обработки „с последующей сортировкой" в соединении со способом „сверхразмеров" или без такового, сулит очень большие технические и экономические преимущества.

К сожалению, большая сумма вопросов по теории и практике применения этих методов не получила достаточного освещения в технической литературе. Во всяком случае доля внимания, проявляемого к этим вопросам со стороны инженерно-технических кругов нашей машиностроительной промышленности, не соответствует значению и важности поднимаемых вопросов.

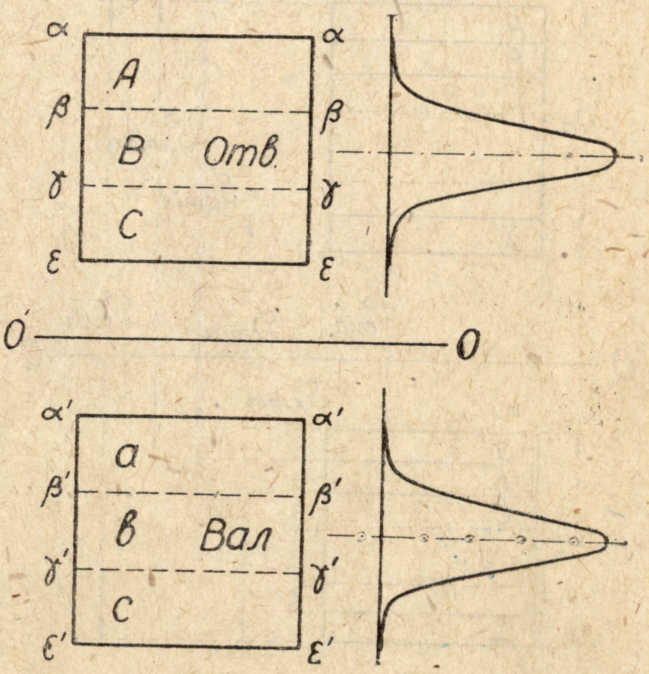
В настоящей статье автор предлагает подход к определению числа интервалов, на которые должны быть разбиты поля допусков для случая так назыв. нормального распределения деталей по полю допуска. Попутно выясняется целый ряд вопросов теоретического порядка относительно возможностей, какие таит в себе метод сборки с сортировкой, т. к иногда этот метод рекомендуется в таких случаях, где применение его не может дать ожидаемых результатов.

В целях общности выводов мы будем в дальнейшем понимать под δ_a больший допуск, будет ли то допуск на изготовление вала, или допуск на изготовление отверстия, и под δ_b будем понимать меньший допуск, т. е.

$$\delta_a \geqslant \delta_b \tag{1}$$

Точно также натяги будем выражать как отрицательные зазоры. Так например, имея максимальный натяг, мы должны будем его выражать как минимальный зазор, подставляя его числовое значение со знаком минус.

Разобьем поле допуска δ_a на n равных интервалов. Вообще говоря разбивка на равные интервалы вовсе не обязательна. Даже более, поскольку большинство деталей расположены у средины поля допуска, постольку целесообразнее при одном и том же количестве интервалов располагать последние у средины поля допуска более часто, обеспечивая тем самым высокое качество сопряжений большинству деталей и пониженное качество меньшинству деталей. Но в практике американских, а также и наших заводов, применяющих метод сборки с сортировкой, установилась только равномерная разбивка поля допусков на интервалы. Очевидно, что число интервалов для поля допуска δ_b не может быть иным, чем для допуска δ_a. Разбивка допуска δ_b по тому же закону, что и δ_a (равномерная) предполагает так наз. нормальное распределение деталей по полю допуска, т. е. по кривой Гаусса (фиг. 3).



Фиг. 3.

Такое распределение не всегда имеет место. Данные исследований произведенных в этом направлении, позволяют сделать следующее заключение:

1. Там, где процесс изготовления детали, будь то вал или отверстие, поставлено так, что окончательный размер детали определяется соответствующей предварительной настройкой станка, инструмента, приспособления—там мы вправе ожидать симметричного распределения деталей по полю допуска по кривой нормального распределения Гаусса. Сюда относятся обработка на автоматах, обработка на токарных и револьверных станках по упорам, развертывание и сверление отверстий, безцентровая шлифовка.

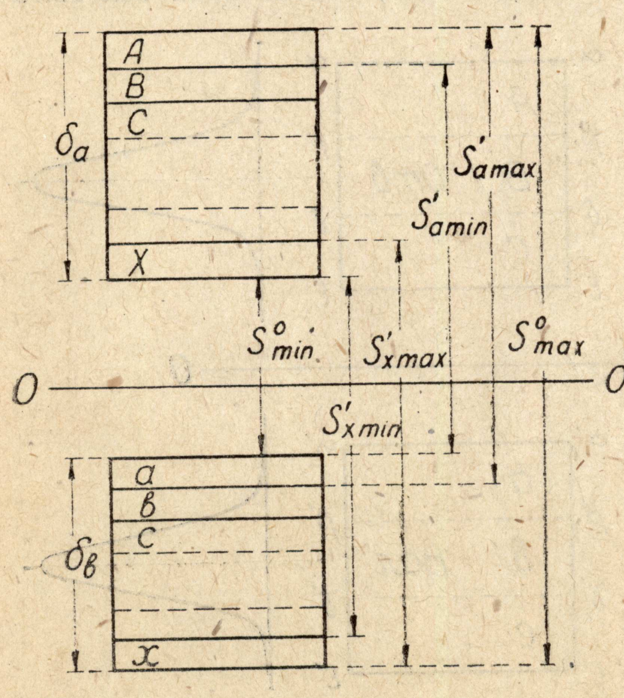
2. Там же, где процесс изготовления детали построен таким образом, что доведение до окончательного размера предоставлено квалификации оператора, кривая распределения получается асимметричной. Вследствие естественного желания рабочего держаться ближе к проходной стороне калибра вершина кривой распределения смещена на некоторое расстояние к началу поля допуска.

Естественно, что все наши дальнейшие выводы, построенные на равномерной разбивке поля допуска на интервалы, имеют лишь ограниченное приложение, предполагая, как указано выше, распределение по кривой Гаусса. Равномерная разбивка на интервалы при асимметричном распределении деталей по полю допуска привела бы к значительному росту незавершенного производства.

Для массового и крупно-серийного характера производства, где работа по предельным калибрам на основе принципа взаимозаменяемости имеет исключительное распространение, наиболее характерен как раз первый вид построения технологич. процессов. Это значительно повышает практическую приложимость излагаемых ниже выводов.

Для практического осуществления разбивки на n интервалов необходимо дополнительно изготовить $(n-1)$ комплектов предельных калибров. Так, при разбивке на 3 интервала необходимо дополнительно изготовить скобы β' и γ', и пробки γ и β или же изготовить 1 скобу и пробку, у которых проходным размером будет β' и β и непроходным γ' и γ.

Валы, принятые нормальной скобой $ПР = \alpha'$ и $НЕ = \varepsilon'$, подвергаются при сортировке промеру дополнительной скобой. Если эта скоба проходит своей непроходной частью, вал относят к группе c, если не проходит даже и проходная сторона скобы, вал относят к группе a. Если же проходная сторона проходит и непроходная не проходит, вал относят к группе b. На тех же основаниях строятся и калибры для отверстий.



Фиг. 4.

После сортировки, отверстия группы A собирают с валами группы a, отверстия группы B с валами группы b и т. д. При этом, вообще говоря, в каждой группе получаются свои минимальные зазоры, отличные от аналогичных зазоров других групп.

Так, обозначив через S^0 зазоры данной посадки до сортировки, после сортировки мы получим для комбинации отверстий A с валами a. (фиг. 4):

$$\left.\begin{aligned}
S_{a\,\min} &= S^\circ_{\min} + \frac{\delta_a}{n}(n-1) = S^\circ_{\min} + \left(1-\frac{1}{n}\right)\delta_a \\
S_{a\,\max} &= S^\circ_{\max} - \left(1-\frac{1}{n}\right)\delta_b \\
S_{a\,\text{ср}} &= S^\circ_{\text{ср}} + \left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{\delta_a - \delta_b}{2}
\end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

для группы X_x

$$\left.\begin{aligned}
S_{x\,\min} &= S^\circ_{\min} + \left(1-\frac{1}{n}\right)\delta_b \\
S_{x\,\max} &= S^\circ_{\max} - \left(1-\frac{1}{n}\right)\delta_a \\
S_{x\,\text{ср}} &= S^\circ_{\text{ср}} - \left(1-\frac{1}{n}\right)\frac{\delta_a - \delta_b}{2}
\end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

т. е. если, $\delta_a > \delta_b$, то большие зазоры получаются в группе Aa и меньшие зазоры получаются в группе Xx, т. е. большие зазоры смещены в сторону расположения поля бóльшего допуска и меньшие зазоры смещены в сторону расположения поля меньшего допуска.

Допуски посадки Δ для какой-либо комбинации, наприм., Aa, будет

$$\Delta_a = S_{a\,\max} - S_{a\,\min} = S^\circ_{\max} - \delta_b\left(1-\frac{1}{n}\right) - S^\circ_{\min} - \delta_a\left(1-\frac{1}{n}\right) =$$

$$= (S^\circ_{\max} - S^\circ_{\min}) - \left(1-\frac{1}{n}\right)(\delta_a - \delta_e),$$

но $S^\circ_{\max} - S^\circ_{\min} = \delta_a + \delta_b$, т. е. допуск посадки равен сумме допусков на вал и отверстий.

После подстановки получаем

$$\Delta_a = (\delta_a + \delta_b) - \left(1-\frac{1}{n}\right)(\delta_a + \delta_b) = \frac{\delta_a + \delta_b}{n}.$$

Обозначая допуск посадки до сортировки через Δ°, получим

$$\Delta_a = \frac{\Delta^\circ}{n} \qquad (4)$$

Аналогичный результат мы получим для всякой другой группы $Bв$, Cc и т. д. вплоть до группы Xx.

Таким образом неточности сопряжения (колебания зазора) в каждой группе при разбивке полей допусков на n интервалов уменьшатся в n раз.

Максимальный зазор из всех групп надо искать согласно вышесказанного в группе Aa. Обозначим этот максимальный из максимальных зазоров через $S'_{\max}$

$$S'_{\max} = S_{a\,\max} = S^\circ_{\max} - \delta_b\left(1-\frac{1}{n}\right) \qquad (5)$$

Минимальный зазор из всех минимальных будет в группе X_x

$$S'_{\min} = S_{x\,\min} = S^\circ_{\min} + \delta_b\left(1-\frac{1}{n}\right) \qquad (6)$$

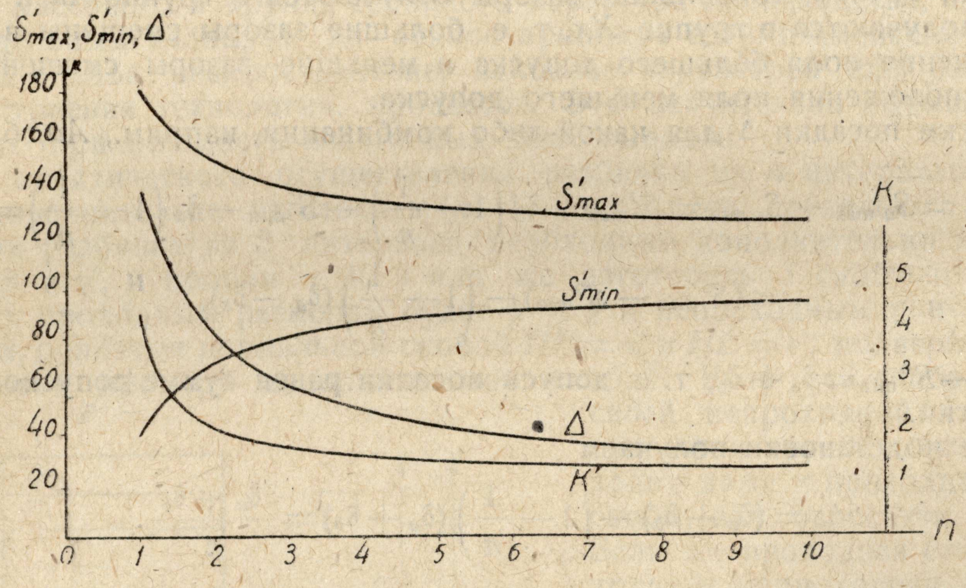
Общее колебание зазора в посадке после сортировки, которое назовем междугрупповым допуском посадки, определяется как разность приведенных выше $S'_{\max}$ и $S'_{\min}$. Обозначим его Δ', тогда

$$\Delta' = S'_{\max} - S'_{\min} = S^{\circ}_{\max} - \delta_b\left[1 - \frac{1}{n}\right] - S^{\circ}_{\min} - \delta_b\left[1 - \frac{1}{n}\right] =$$

$$= (S^{\circ}_{\max} - S^{\circ}_{\min}) - 2\delta_b\left[1 - \frac{1}{n}\right] = \Delta^{\circ} - 2\delta_b\left[1 - \frac{1}{n}\right] \qquad (7)$$

Таким образом при увеличении числа интервалов, максимальный из зазоров уменьшается и минимальный из зазоров увеличивается. Общий (междугрупповой) допуск посадки, также как и отношение $\frac{S'_{\max}}{S'_{\min}}$, которое обозначим через K, уменьшается с увеличением числа групп (числа интервалов) [1]). Характер изменения указанных величин с увеличением n показан на диаграмме фиг. 5.

Надо принять во внимание, что указанная диаграмма построена для частного случая посадки X_3 в системе вала для номинального диаметра 50—80 *м*. Для других посадок положение кривых будет конечно иное, но



Фиг. 5.

характер изменения кривых останется, примерно, тем же, за исключением изменения величины K, которая может как уменьшаться, так и увеличиваться.

Как можно заключить из вида кривых, а также из аналитического исследования соответствующих формул $S'_{\max}$, $S'_{\min}$, Δ' и K при увеличении числа n до ∞ стремятся к некоторым пределам, асимптотически приближаясь к значениям этих пределов.

Так, при бесконечно большом n получим для группы Aa из ур-ний (2), при подстановке $n \longrightarrow \infty$, в пределе

$$S_{a\min} = S_{a\max} = S_{a\,\text{ср}} = S^{\circ}_{\min} + \delta_a = S^{\circ}_{\max} - \delta_b = S_{\text{ср}} + \frac{\delta_a - \delta_b}{2}, \qquad (8)$$

---

[1]) Как будет показано далее (см. пример 3-й) величина $K = \frac{S'_{\max}}{S'_{\min}}$ является прерывной функцией от n, и при опред. условиях претерпевает изменения от $-\infty$ до $+\infty$

для группы X из ур-ний (3) при подстановке $n \to \infty$ получим в пределе

$$S_{x\,\min} = S_{x\,\max} = S_{x\,\text{ср}} = S^{\circ}_{\min} + \delta_b = S^{\circ}_{\max} - \delta_a = S_{\text{ср}} - \frac{\delta_a - \delta_b}{2} \tag{9}$$

Частичный допуск посадки, как это очевидно из ур-ний 8 и 9, будет равен нулю

$$\Delta_{a\,\min} = \Delta_{x\,\min} = 0 \tag{10}$$

Междугрупповой (общий) допуск посадки будет из ур-ний (8) и (9)

$$\Delta'_{\min} = \Delta^{\circ} - 2\delta_b = \delta_a - \delta_b \tag{11}$$

и предельное отношение максимального зазора к минимальному

$$K'_{\text{пред}} = \frac{S'_{\max}}{S'_{\min}} = \frac{S_{\max} - \delta_b}{S_{\min} + \delta_b} = \frac{S_{\min} + \delta_a}{S_{\max} - \delta_a} = \frac{S_{\max} - \delta_b}{S_{\max} - \delta_a} = \frac{S_{\min} + \delta_a}{S_{\min} + \delta_b} \tag{12}$$

В формулах 8, 9, 10, 11 и 12 каждая из строк содержит по несколько ур-ний вполне тождественных, так что выбор того или иного из них приводит к идентичному результату.

Ур-ния (8), (9) и (10) показывают, что в пределах данной группы при увеличении числа n минимальный, максимальный и средний зазоры сближаются, и в пределе при $n \to \infty$ становятся равными друг другу, так что частичный допуск посадки становится равным нулю. Междугрупповой же (общий) допуск посадки, уменьшаясь с увеличением n, стремится к своему пределу, равному разности между меньшим и бо́льшим допуском. Отношение $K = \frac{S'_{\max}}{S'_{\min}}$ в пределе тоже не может быть равным единице, если $\delta_a \neq \delta_e$.

Конечно, случай $n \to \infty$ представляет для нас, главным образом, теоретический интерес, с точки зрения уяснения тенденций изменения отдельных величин, характеризующих сопряжение деталей, и тех теоретических предельных возможностей, которые могут быть получены при обработке с последующей сортировкой перед сборкой.

Как показывает характер кривых (фиг. 5) величины $S'_{\max}$, $S'_{\min}$, Δ' и K' претерпевают резкие изменения при $n = 2,3,4$. Дальнейшее увеличение числа интервалов не вносит существенных изменений величины указанных характеристик. Поэтому практически редко идут в разбивке поля допуска более чем на 4 интервала, так что $n = 4$, и максимум—5 могут быть приняты за практический предел числа групп при сортировке.

При разбивке полей допусков на интервалы конструктор может руководиться различными соображениями. Разберем различные случаи, могущие встретиться в конструкторской практике.

1. Пусть перед нами поставлено условие, чтобы максимальный (из всех групп) зазор не превосходил заданной величины a или же был менее ее.

Такое требование возникает, например, в случае ходовых посадок. Величина зазора в зависимости от условий работы подшипника: удельного давления, числа оборотов, вязкости масла, длины и диаметра подшипника, как известно не должна превышать определенной величины во избежание перехода из жидкостного трения в полужидкостное, или даже в полусухое [1]).

Точно так же в случае, например, прессовых посадок минимальный натяг не должен быть меньше наперед заданной величины [2]), т. к. в противном случае не может быть гарантирована передача крутящего момента без провертывания вала во втулке. Так, по техническим условиям НКПС при насадке колесных центров на вагонные и паровозные оси, предписываются

[1]) См. Фальц. „Основы смазочной техники". Лесохин. „Допуски в машиностроении".

[2]) Не надо забывать, что мы условилиeь уменьшение натяга считать эквивалентным увеличению зазора.

определенные границы для величины усилия запрессовки, которая, как известно, прямо пропорциональна натягу.

Для случая глухих посадок, где обычно для одной и той же посадки могут иметь место как натяги, так и зазоры, иногда путем разбивки поля допуска на интервалы стараются обеспечить такое положение, чтобы возможность получения сборок с зазорами или была абсолютно исключена, или же чтобы получающийся максимальный зазор был не более заданной величины, или же чтобы получающийся минимальный натяг был не менее заданной величины.

Для всех вышеуказанных случаев, определяющим число групп ур-нием будет

$$S'_{\max} \leqslant a, \tag{13}$$

или

$$a \geqq S^0_{\max} - \left(1 - \frac{1}{n}\right)\delta_b$$

Отсюда

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b - (S^0_{\max} - a)} \tag{14}$$

Из последнего ур-ния видно, что поставленная задача не всегда разрешима.

Условием получения конечного и положительного n будет

$$a > S^0_{\max} - \delta_b \tag{15}$$

При $a = S^0_{\max} - \delta_b$ получаем $n = \infty$ и при $a < S^0_{\max} - \delta_b$ задача оказывается невозможной.

Положив $a = 0$, получим условие возможности сборки без зазоров при введении сортировки

$$S^0_{\max} \leqslant \delta_b \tag{16}$$

Инж. Лесохин А. в книге „Допуски в машиностроении", стр. 81, изд. 4-е, пишет в отношении тугих посадок 2 класса точности, что ввиду того, что вместо минимальных натягов возможно получение зазоров, „полная надежность посадки при сплошной сборке без сортировки не обеспечена". Но здесь следует указать, что и при сортировке эта задача оказывается практически выполнимой только для глухой посадки 2 кл. [1]) и тугой посадки 1-го класса. Для посадок H_8/n_7 и h_7/N_8 ОСТ—1026 и ОСТ—1016 (так назыв. глухие посадки $2^1/_2$ кл. точности) полностью избежать зазоров удается только при очень значительном числе групп сортировки ($n \cong 7 \div 8$).

Все прочие посадки 1-го класса (H_1 $П_1$) 2-го класса (Т,Н,П) и $2^1/_2$ класса (M_8/h_7, K_8/h_7, I_8/h_7, H_8/n_7, H_8/m_7, H_8/k_7, H_8/j_7) не смогут обеспечить отсутствие сборок с зазорами даже и в случае сортировки. Все же путем сортировки можно будет для этих посадок уменьшить возможные зазоры, правда, за счет соответствующего уменьшения максимальных натягов.

О последнем обстоятельстве никогда не следует забывать, так как при введении сортировки всякое уменьшение максимального зазора сопровождается уменьшением и максимального натяга.

Иногда введением сортировки стараются обеспечить такое условие, чтобы минимальный зазор (соответственно максимальный натяг) был более (для натяга, соответств. менее) некоторой наперед заданной величины b.

[1]) Глухая посадка 1 класса точности Г, обеспечивает сборку без зазоров без всякой сортировки.

В случае ходовых посадок согласно гидродинамич. теории трения Гюмбеля с уменьшением зазора против оптимального повышается коэфициент трения, а следовательно и температура подшипника. Поэтому ниже некоторого минимального зазора, который, по предложению Лесохина, сделанному согласно теории Гюмбеля, равен 0,644 оптимального зазора, переходить не следует [1]). Точно также в случае прессовых посадок конструктор старается обеспечить такое положение, чтобы максимальный возможный натяг не провосходил допускаемого прочностью материалов, из которых изготовлены вал и втулка.

Итак
$$S'_{\min} \geqq b, \tag{17}$$
или
$$S^0_{\min} + \delta_b\left(1 - \frac{1}{n}\right) \geqq b.$$

Отсюда, определяя n, получим формулу для определения минимального числа групп

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b + (S^0_{\min} - b)} \tag{18}$$

Эта задача точно так же не всегда выполнима. Условием получения конечного и положительного n будет

$$b < \delta_b + S^0_{\min} \tag{19}$$

Как то следует из формулы (18), минимальный зазор (максимальный натяг) будет равен нулю при числе групп

$$n = \frac{\delta_b}{\delta_b + S^0_{\min}} \tag{20}$$

Иногда перед конструктором задача состоит в том, чтобы допуск посадки при сортировке уменьшить до некоторой величины c, составляющей по отношению к старому допуску посадки Δ° некоторую долю γ, где $\gamma < 1$, т. е. $\Delta' \leqq \gamma \Delta^0 = c$. (21)

Как нетрудно вывести из ф-лы (7), необходимое для соблюдения данного условия число групп при сортировке

$$n \geqslant \frac{2\delta_b}{2\delta_b - (\Delta^0 - c)}, \tag{22}$$

или иначе

$$n \geqslant \frac{2\delta_b}{2\delta_b - \Delta^0(1-\gamma)}. \tag{22}$$

Интересно проследить, как изменяется отношение $\frac{S'^{\max}}{S'_{\min}}$ при увеличении числа сортировочных групп. Здесь надо различать два случая. Если абсолютная величина максимального зазора будет более абсолютной величины минимального зазора, то относительное значение указанного отношения уменьшается, и наоборот.

Так, например, для посадки X_3 $S^0_{\max} = 180\mu$

$$S^0_{\min} = 40\mu$$

$[S_{\max}] > [S_{\min}]$; следовательно, отношение $\frac{S'_{\max}}{S'_{\min}}$ уменьшается с увеличением числа групп.

---

[1]) Подробнее см. Лесохин. „Допуски в машиностроении“.

Для посадки H_8/m_7 по ISA ОСТ—1016 $S_{max} = +35\mu$, $S_{min} = +45\mu$ $[S_{max}] < [S_{min}]$, следов., отношение $\frac{S'_{max}}{S''_{min}}$ увеличивается с увеличением числа групп, а именно при $n = 2$ оно равно — 0,77 и при $n = 4$ оно равно—0,67.

В первом случае часто ставится при разбивке на группы требование, чтобы отношение $\frac{S'_{max}}{S'_{min}}$ было менее заданной величины K. Во втором случае ставится требование, чтобы отношение $\frac{S'_{max}}{S'_{min}}$ было более заданной величины K.

Необходимое число групп для обоих случаев находится согласно следующих рассуждений:

$$\frac{S'_{max}}{S'_{min}} = \frac{S^0_{max} - \left(1 - \frac{1}{n}\right)\delta_b}{S^0_{min} + \left(1 - \frac{1}{n}\right)\delta_b} = k \tag{23}$$

Из этого ур-ния находим

$$\frac{1}{n} \leqq 1 - \frac{S^0_{max} - kS^0_{min}}{\delta_b\,(1 + k)} \tag{24}$$

Отсюда легко определить n.

Условие получения конечного и положительного значения n, т. е. условие возможности реального разрешения поставленной задачи, очевидно, напишется в виде

$$|S^0_{max} - KS^0_{min}| < |\delta_b\,(1 + k)| \tag{25}$$

Для иллюстрации применения приведенных выше формул разрешим несколько конкретных примеров.

Пример 1. Пусть обработка ведется по допускам посадки X_3 в системе вала ОСТ—1023, в интервале диаметров 50—80 *мм*. Из ОСТ—1023 имеем $\delta_a = 80\mu$; $\delta_b = 60\mu$; $S^0_{max} = +180\mu$; $S^0_{min} = +40\mu$.

Следовательно, $K_0 = \frac{S^0_{min}}{S^0_{max}} = \frac{180}{40} = 4{,}5$.

а) Если бы мы пожелали разбить детали при посадке на такое число групп, чтобы величина отношения $\frac{S'_{max}}{S'_{min}} \leqslant 2$, то сначало необходимо проверить возможность реального разрешения поставленной задачи. Согласно ф-лы (25) имеем

$$|S^0_{max} - KS_{min}| < |\delta_b\,(1 + k)|$$

или

$$|180 - 2.40| < |60\,(1 + 2)|$$
$$100 < 180,$$

т. е. задача возможна.

Число групп определится из уравнения (24)

$$\frac{1}{n} \leqq 1 - \frac{S^0_{max} - kS^0_{min}}{\delta_b\,(1 + k)}$$

$$\frac{1}{n} \leqq 1 - \frac{180 - 2{,}40}{60\,(1 + 2)}.$$

Откуда $n \geqslant 2{,}25$.

Принимаем $n = 3.$
Тогда

$$k = \frac{S^0_{\max} - \left(1 - \frac{1}{n}\right)\delta_b}{S^0_{\min} + \left(1 - \frac{1}{n}\right)\delta_b} = \frac{180 - \left(1 - \frac{1}{3}\right)60}{40 + \left(1 - \frac{1}{3}\right)60} = 1{,}75.$$

Максимально, чего можно достигнуть в идеальном случае методом сортировки, т. е. при $n = \infty$, по формуле (12)

$$k_{\text{пред}} = \frac{S^0_{\max} - \delta_b}{S^0_{\min} + \delta_b} = \frac{180 - 60}{40 + 60} = 1{,}20;$$

при принятом выше $n = 3$ будем иметь

$$S'_{\max} = S^0_{\max} - \delta_b\left(1 - \frac{1}{n}\right) = 180 - \left(1 - \frac{1}{3}\right)60 = 140\mu,$$

$$S'_{\min} = S^0_{\text{mni}} + \delta_b\left(1 - \frac{1}{n}\right) = 40 + 60\left(1 - \frac{1}{3}\right) = 80\mu.$$

б) Если при тех же условиях обработки будет поставлена другая задача: разбить детали на такое число групп, чтобы максимальный зазор был менее заданной величины $a = 150\mu$, условие конечного положительного n будет по формуле (15)

$$a > S^0_{\max} - \delta_b,$$

$$150 > 180 - 60,$$

т. е. оно будет соблюдено.

Необходимое число групп определится по формуле (14)

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b - (S^0_{\max} - a)} = \frac{60}{60 -- (180 - 150)}.$$

$$n \geqq 2.$$

в) Если сортировка должна исходить из того условия, чтобы $S'_{\min} \geqslant b = 80\mu$, то условие конечного положительного n напишется по формуле (19)

или $$b < \delta_b = S^0_{\min}$$

$$80 < 60 + 40 \text{ или } 80 < 100$$

т. е. условие соблюдено.

Необходимое число групп определится по формуле (18)

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b + (S^0_{\min} - b)} = \frac{60}{60 + (40 - 80)} = 3.$$

Как было выше вычислено при $n = 3$ $S'_{\min} = 80\mu$.

г) Пусть при сортировке поставлена задача: уменьшить допуск посадки в 2 раза, т. е.

$$\Delta' \leqq \gamma\Delta = \frac{1}{2}\Delta.$$

По формуле (22) находим необходимое число групп

$$n \geqq \frac{2\delta_b}{2\delta_b - \Delta^0(1 - \gamma)} = \frac{2{,}60}{2{,}60 - 140\left[1 - \frac{1}{2}\right]} = 2{,}4.$$

При $n=3$ имеем $\Delta'=140-80=60\mu$, что составляет по отношению к начальному допуску посадки

$$\gamma=\frac{\Delta'}{\Delta_0}=\frac{60}{140}=0{,}43<0{,}50.$$

Пример 2. Обработка ведется по допускам посадки $Пр1_3$ системы отверстия (ОСТ—1069) для диаметра $d=60$ *мм.*

По ОСТ—1069 имеем $\delta_a=60\mu$, $\delta_b=60\mu$. Следов., $\Delta^0=120\mu$, максимальный натяг $H_{\max}=135\mu$. Минимальный натяг $H_{\min}=15\mu$.

В соответствии с принятыми обозначениями имеем $S^0{}_{\max}=15,\mu$ $S^0{}_{\min}=$ $=-135\mu$, т. е. отношение $\frac{S^0{}_{\max}}{S^0{}_{\min}}=\frac{-15}{-135}=0{,}111$. При разбивке полей допусков на интервалы, величина $\frac{S^0{}_{\max}}{S^0{}_{\min}}$ будет увеличиваться, так как согласно формуле (12) при $n=\infty$

$$k_{пред}=\frac{S_{\max}-\delta_b}{S_{\min}+\delta_b}=\frac{-15-60}{-135+60}=\frac{-75}{-75}=1{,}00$$

а) Сортировка из условия $k\geqq 0{,}333=\frac{1}{3}$.

Условие конечного положительного n напишется так:

$$|\,S^0{}_{\max}-kS_{\min}\,|<|\,\delta_b\,(1+k)\,|$$

$$\left|-15-\frac{1}{3}\,(-135)\right|<\left|60\left(1+\frac{1}{3}\right)\right|$$

$$|\,30\,|<|\,80\,|$$

т. е. условие соблюдено.

Число групп

$$\frac{1}{n}\leqq 1-\frac{S^0{}_{\max}-kS^0{}_{\min}}{\delta_b\,(1+k)}$$

$$\frac{1}{n}\leqq 1-\frac{-15-0{,}333(-135)}{60\,(1+0{,}333)}.$$

Откуда

$$n\geqq\frac{8}{5}.$$

Примем

$$n=2.$$

Тогда

$$k=\frac{S^0{}_{\max}-\left[1-\frac{1}{n}\right]\delta_b}{S^0{}_{\min}+\left[1-\frac{1}{n}\right]\delta_b}=\frac{-15\left[1-\frac{1}{2}\right]60}{-135+\left[1-\frac{1}{2}\right]60},$$

$$k\cong 0{,}43.$$

б) Сортировка из условия $S'_{\max}\leqq a$. Пусть $a=-50\mu$. Условие положительного конечного n: $a\geqslant S^0{}_{\max}-\delta_b$

$$-50\geqslant -15-50,$$

т. е. условие соблюдено $\qquad -50\geqslant -65$

Число групп

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b = (S_{\max} - a)} = \frac{60}{60 - [-15 = 50]} = 2{,}4.$$

Примем $n = 3$. Тогда

$$S'_{\max} = S^0_{\max} - \left[1 - \frac{1}{n}\right]\delta_b = -15 - \left[1 - \frac{1}{3}\right]60 = -55\mu.$$

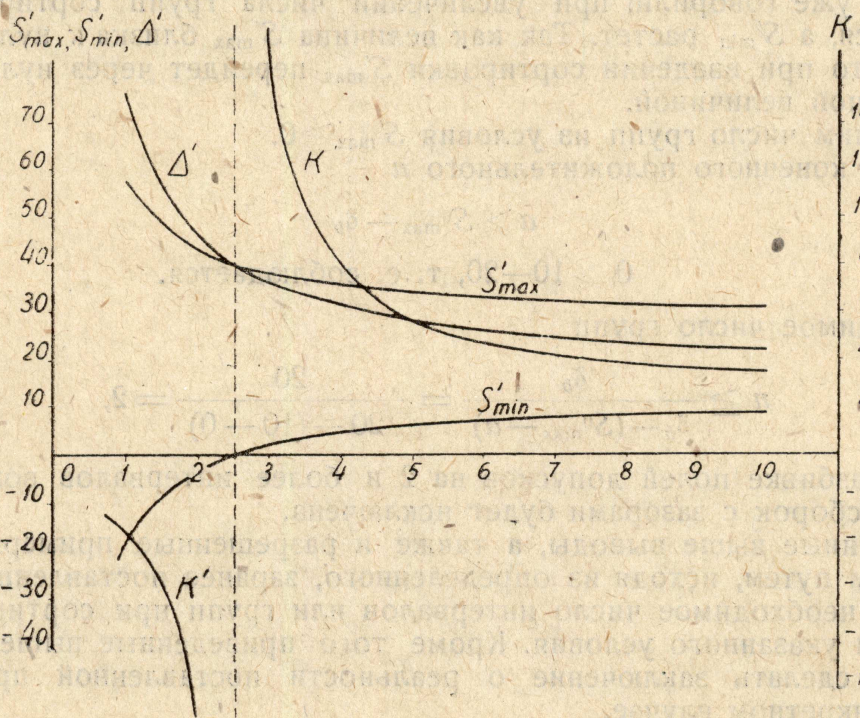
Эта задача ставится тогда, когда желают сохранить известный минимальный натяг. В данном случае полученный натяг равен 55μ, более заданного минимума 50μ, что и требовалось.

в) Определение числа групп из условия $S'_{\min} \geqq b$, соответственно (в данной задаче) условию установления числа групп n из предельного максимального натяга. Решается аналогично, а потому опускается.

Пример 3. Обработка производится по допускам посадки $H_8\,j_7$ по ISA см. ОСТ—1016, что соответствует плотной посадке $2^1/_2$ кл. точности в системе отверстия. Диаметр 50—80 *мм* $\delta_a = 46\mu$

$$\delta_b = 30\mu; \quad S^0_{\max} = 58\mu; \quad S^0_{\min} = -18\mu.$$

В этой посадке интересно проследить изменение $S'_{\max}$, $S'_{\min}$, Δ' и K с увеличением числа n. Как видно из прилагаемой диаграммы (фиг. 6)



Фиг. 6.

$S'_{\min}$ при введении сортировки переходит из натяга в зазор. Величина $K = \dfrac{S'_{\max}}{S'_{\min}}$ сначала убывает от $-3{,}23$ до -14 и $-\infty$, затем убывает от $-\infty$, 19 и до 2,33, при $n = \infty$.

Такой же картины надо ожидать и в посадках $П_1$ и $П$. Следовательно, введение сортировки при плотных посадках не только не может свести количество сборок с зазорами к нулю или уменьшить их, наоборот, при введении сортировки мы получим посадки исключительно с зазорами если только возьмем достаточное число групп.

Определим это число групп. По формуле (17)

$$S_{\min} \geqq b. \text{ Здесь } b = 0.$$

Условие конечного положительного n по формуле (19)

$$b < \delta_b + S^0_{\min} \quad 0 < 30 - 18 \text{ соблюдается.}$$

Тогда число групп по формуле (18)

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b + (S^0_{\min} - b)} = \frac{30}{30 + (-18 - 0)} = 2{,}5.$$

Итак, начиная с $n=3$ мы будем от сборки сортированных деталей получать исключительно посадки с зазорами.

Пример 4. Обработка ведется по допускам посадки Г ОСТ—1012. (Глухая 2 кл. точности в системе отверстия). Диаметр 50—80 *мм*. По ОСТ—1012 имеем

$$\delta_a = 30\mu \quad \delta_b = 20\mu \quad S^0_{\max} = 10 \quad S^0_{\min} = -40\mu \quad K = \frac{S^0_{\max}}{S^0_{\min}} = -0{,}250.$$

Картина допусков, даваемая этой посадкой, совершенно иная.

Как мы уже говорили, при увеличении числа групп сортировки $S'_{\max}$ уменьшается, а $S'_{\min}$ растет. Так как величина $S'_{\max}$ близка к нулю, то надо ожидать, что при введении сортировки $S'_{\max}$ перейдет через нуль и станет отрицательной величиной.

Определим число групп из условия $S'_{\max} \geqq 0$.

Условие конечного положительного n

$$a \geqslant S^0_{\max} - \delta_b$$

$$0 \geqslant 10 - 20, \text{ т. е. соблюдается.}$$

Необходимое число групп

$$n \geqq \frac{\delta_b}{\delta_b - (S^0_{\max} - a)} = \frac{20}{20 - (10 - 0)} = 2,$$

т. е. при разбивке полей допусков на 2 и более интервалов возможность появления сборок с зазорами будет исключена.

Приведенные выше выводы, а также и разрешенные примеры показывают, каким путем, исходя из определенного, заранее поставленного условия, найти необходимое число интервалов или групп при сортировке для выполнения указанного условия. Кроме того приведенные выше формулы позволяют сделать заключение о реальности поставленной проблемы в каждом конкретном случае.

Использованная литература.

1. Лесохин А. „Допуски в машиностроении", изд. 4.
2. Пивовар, инж. „Распределение деталей по полю допуска". Вестник Металлопромышленности, 1935, № 9.