

УДК 621.757:519.827.7

М. В. Полякова, аспирант, **А. А. Плешаков**, аспирант, **А.Ю. Горелова**, аспирант,

Научный руководитель: **М. Г. Кристаль**, д.т.н., проф., Волгоградский государственный технический университет

Организованная пригонка многономенклатурных прецизионных соединений типа «буровая коронка – зубки»

Рассмотрена возможность снижения величины незавершенного производства при сборке многономенклатурных прецизионных изделий типа «буровая коронка – зубки». Это достигается специально организованной обработкой охватываемых деталей. Приведен алгоритм и результаты моделирования процесса пригонки деталей. Установлено, что объем незавершенного производства может быть сведен к минимуму, как при нормальном, так и при произвольном законе распределения размеров сопрягаемых поверхностей.

Ключевые слова: пригонка, сборка, сопрягаемые поверхности, прецизионный, закон распределения размеров.

M. V. Polyakova, A. A. Pleshakov, A. Yu. Gorelova, M. G. Kristal

The Organized Adjustment of Multinomenclature Precision Connections Like "Drill Bit – Teeth"

Possibility of lowering of value of a work in progress is considered in case of assembly of multinomenclature precision "products a drill bit – teeth". It is reached by specially organized processing of enveloped details. The algorithm and results of process modeling of adjustment of details is given. It is set that the volume of a work in progress can be minimized, both in case of normal, and in case of arbitrary distribution law of the sizes of interfaced surfaces.

Keywords: fitting, assembly, mating surfaces, precision, law of the size distribution.

В технологии производства коронок для перфораторного бурения типа КШН комплектование коронки зубками выполняется методом селективной сборки. Как известно, такой способ прецизионной сборки основан на подборе комплектующих элементов изделия по их размерным сопрягаемым параметрам и позволяет получить заданные параметры точности соединения.

Однако, необходимость размерного комплектования деталей приводит, как известно, к образованию недоукомплектованных изделий – к так называемому незавершенному производству (НП).

Объем НП зависит от степени неидентичности распределений размеров сопрягаемых поверхностей и достигает значений, соизмеримых с объемами собираемой прецизионной продукции.

Рассмотрим, как этого можно достичь на примере сборки зубков и корпусов коронок для бурения (пара «вал-втулка»).

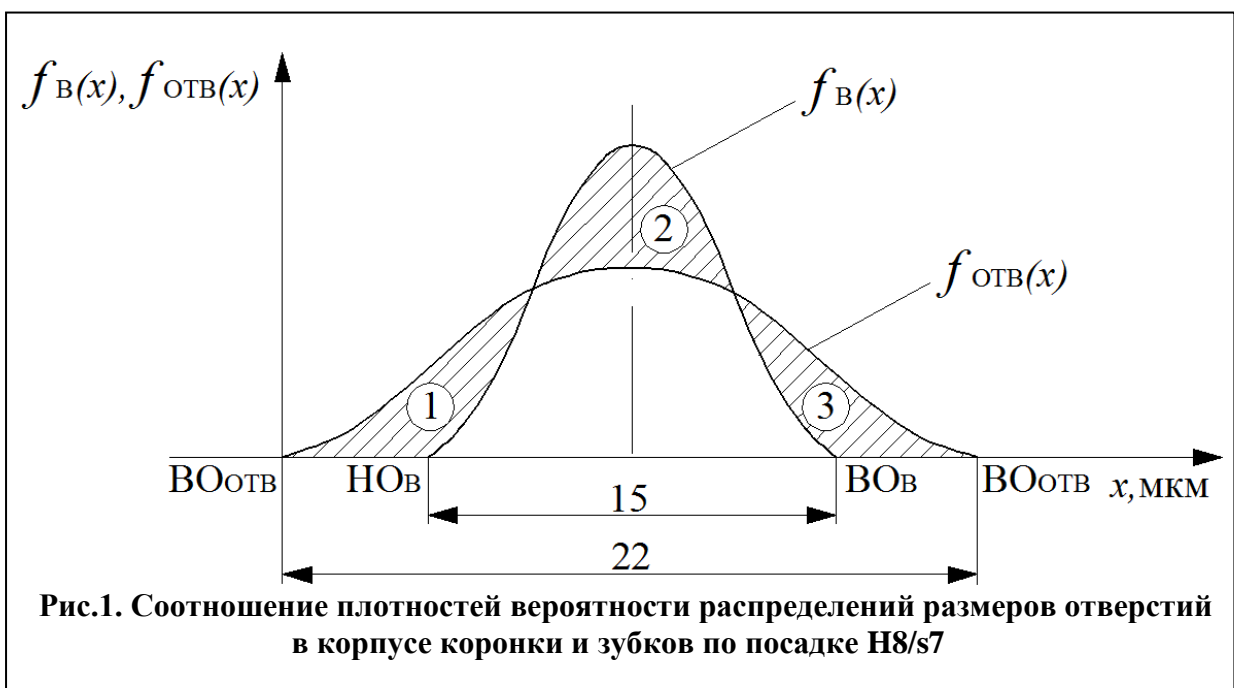
Согласно [1] предлагается несколько посадок для сборки оборудования горнодобывающей промышленности. Рассмотрим для примера сборку с натягом по посадке H8/s7 для коронки типа КШН32-22.12.00.000 (центральные зубки Ø7мм – 2шт., периферийные зубки Ø8мм – 3шт.). Примем эту посадку для обоих сопрягаемых пар Ø7мм и Ø8мм. Такая посадка предполагает следующие предельные отклонения: для отверстий – $\text{Ø}6 \dots 10^{+0,022}_0$ мм, для зубков – $\text{Ø}6 \dots 10^{+0,038}_{+0,023}$ мм. Поскольку предельные отклонения размеров деталей и допустимые значения натяга для пары Ø7мм и Ø8мм одинаковы, рассмотрим вариант сборки одной из них (например, для пары Ø7мм) и распространим результат на оставшуюся собираемую пару.

Обозначим плотность вероятности распределения размеров отверстий в коронке через $f_{\text{отв}}(x)$, а плотность вероятности распределения размеров зубков - $f_{\text{з}}(x)$. Примем, что данные плотности вероятности имеют нормальное распределение.

Тогда в общем случае плотностей вероятности $f_{\text{отв}}(x)$ и $f_{\text{з}}(x)$ долю НП в партии, при комплектовании деталей их одноименных групп с совпадающими для деталей обоих типов групповыми допусками, подсчитывают по формуле вида:

$$Q = \int_{-\infty}^{+\infty} |f_{\text{отв}}(x) - f_{\text{з}}(x)| dx \quad (1)$$

Оценим объем НП при сборке для нашего примера. Для этого, согласно [2], совместим поля допусков размеров отверстий в корпусах коронок и зубков, как показано на рис.1.



Здесь HO_B и BO_B – нижнее и верхнее предельное отклонение размера зубка, а HO_{OTB} и BO_{OTB} – нижнее и верхнее предельное отклонение размера отверстия в корпусе коронки согласно выбранной посадки. Заштрихованные области №1, №2 и №3 составляют общий объем недоукомплектованных деталей по отверстиям и зубкам.

Вначале определим величину НП Q для областей №1 ($Q1$) и №2 ($Q2$), где недоукомплектованными останутся отверстия в коронках. Для этого необходимо вычислить площадь под кривой функции $f_{OTB}(x)$, которая не пересекается с площадью под кривой функции $f_B(x)$.

Распределения случайных величин диаметральных размеров отверстий в коронке и зубков, поступающих на сборку, отличаются среднеквадратическим отклонением (СКО) σ , которое определяет степень разброса случайных величин размеров от центра, т.е. математического ожидания распределения. Чем точнее изготовлена деталь, тем ближе к центру распределения будут располагаться случайные величины и наоборот.

Обозначим символом σ_B – СКО распределения валов, а символом σ_{OTB} – СКО отверстий. Выразим вероятность появления НП $Q1$ и $Q2$ через отношение СКО валов к СКО отверстий σ_B/σ_{OTB} , используя функцию Лапласа $F(x)$:

$$Q1 = Q2 = F\left(\frac{3\sigma_{OTB}}{\sigma_{OTB}}\right) - F\left(\frac{3\sigma_B}{\sigma_{OTB}}\right) = 0.5 - F\left(\frac{3\sigma_B}{\sigma_{OTB}}\right) \quad (2)$$

Изменение величины образующегося при сборке НП в зависимости от соотношения величин σ_B и σ_{OTB} показано на рис.2.

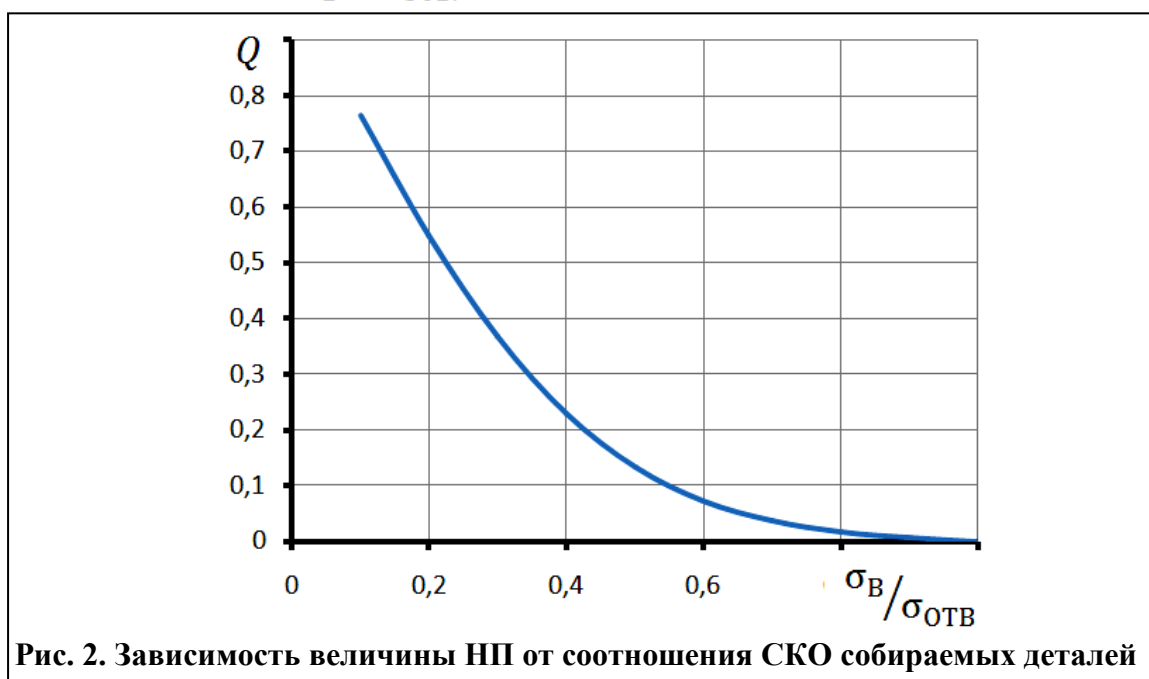


Рис. 2. Зависимость величины НП от соотношения СКО собираемых деталей

Подставляя в формулу (2) значения $\sigma_{\text{ОТВ.}} = 22\text{мкм}/6 = 3.667\text{мкм}$ и $\sigma_{\text{В}} = 15\text{мкм}/6 = 2.5\text{мкм}$, получаем значение $Q1 = Q2 = 0.041$, т.е. 4,1% от размера партии деталей, поступивших на сборку.

Величину НП Q для области №3 ($Q3$), где недоукомплектованными останутся детали зубков, определим как разность площадей под кривыми функций $f_{\text{В}}(x)$ и $f_{\text{ОТВ.}}(x)$, в пределах от 23 до 38мкм для $f_{\text{В}}(x)$ с математическим ожиданием $m_{\text{В}} = 30.5\text{мкм}$, и от 3,5 до 18,5мкм для $f_{\text{ОТВ.}}(x)$ с математическим ожиданием $m_{\text{ОТВ.}} = 11\text{мкм}$:

$$Q3 = \frac{1}{\sigma_{\text{В}} \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{23}^{38} e^{-\frac{(x-m_{\text{В}})^2}{2\sigma_{\text{В}}^2}} - \frac{1}{\sigma_{\text{ОТВ.}} \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{23}^{38} e^{-\frac{(x-m_{\text{ОТВ.}})^2}{2\sigma_{\text{ОТВ.}}^2}} \quad (3)$$

Подставляя имеющиеся значения $\sigma_{\text{В}}$, $\sigma_{\text{ОТВ.}}$, $m_{\text{В}}$ и $m_{\text{ОТВ.}}$, получим величину $Q3 = 0.038$, т.е. 3,8% от размера партии деталей, поступивших на сборку.

Таким образом, общий объем НП после сборки сопрягаемой пары «буровая коронка - зубки» Ø7мм для партии деталей будет равен:

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 = 0.041 + 0.038 = 0.079 = 7.9\% \quad (4)$$

Величина Q для пары «буровая коронка - зубки» Ø8мм будет аналогичным. В целом объем НП после сборки обеих пар деталей составит соответственно 15,8% от размера партии изделий.

Величину НП $Q1$ и $Q2$ можно снизить досборкой деталей, при которой, однако, не всегда гарантируется качество сборки. В рассматриваемом случае имеет смысл использовать остатки зубков из области №2 (рис. 1) для дошлифовки и последующего комплектования с оставшимися отверстиями в коронках из области №1. Такие операции, естественно усложняют технологию сборочного процесса, ведут к дополнительным затратам на ее выполнение, и не гарантируют при этом полной собираемости оставшихся деталей в годные сборочные единицы. Для отверстий из области №3 парных деталей получить уже нельзя.

Однако, НП может быть существенно уменьшено и даже вообще исключено соответствующей организацией размерной обработки сопрягаемых поверхностей по алгоритму, описанному в статье [3]. Согласно предложенному способу организации сборки более точно обрабатываемые детали соединения – валы, должны изготавливаться в пределах всего допуска менее точно обрабатываемых деталей – отверстий, т.е. сопрягаемые поверхности валов следует обрабатывать, производя размерную перенастройку оборудования.

При этом перенастройки k в процессе изготовления валов должны обеспечить распределение размеров, по возможности, наиболее близкое к распределению размеров в партии поступивших на сборку отверстий.

В машиностроении известен метод индивидуальной пригонки сопрягаемых деталей прецизионных соединений. Поэтому здесь и далее предлагаемую нами технологию пригонки сопрягаемых деталей для последующей их сборки будем называть организованной пригонкой партии деталей [3] с групповой взаимозаменяемостью.

Поясним назначение пригонки партий деталей показанными на рис. 3 плотностями вероятности размеров сопрягаемых поверхностей отверстий $f_{\text{отв}}(x)$ и валов $f_{\text{в}}(x)$; при этом валы предполагается изготавливать на k настроечных размерах $D_{\text{H}j}$, назначенных определенным образом относительно номинального диаметра $D_{\text{НОМ}}$ соединения.

Очевидно, что в каждую i -ую ($i = \overline{1, r}$) размерную группу валы будут изготавливаться от каждого из j -ых ($j = \overline{1, k}$) настроечных размеров в количествах, определяемых площадью под кривыми $f_{\text{в}}(x)$, ограниченной пределами i -ой размерной группы. Поэтому количество валов, изготавливаемых для i -ой размерной группы, определяем по зависимости:

$$\frac{n_{\text{В}i}}{N_{\text{отв}}} = \sum_{j=1}^k g_j \cdot \left[F\left(\frac{\text{ВГ}_i - D_{\text{H}j}}{\sigma_{\text{В}}}\right) - F\left(\frac{\text{НГ}_i - D_{\text{H}j}}{\sigma_{\text{В}}}\right) \right] \quad (5)$$

где $n_{\text{В}i}$ - относительно количество валов в i -ой размерной группе; $N_{\text{отв}}$ - количество отверстий в партии деталей, поступивших на сборку прецизионного соединения; k - число перенастроек при изготовлении валов; $\sigma_{\text{В}}$ - среднеквадратическое отклонение размеров валов; НГ_i и ВГ_i - соответственно нижняя и верхняя границы i -ой размерной группы валов.

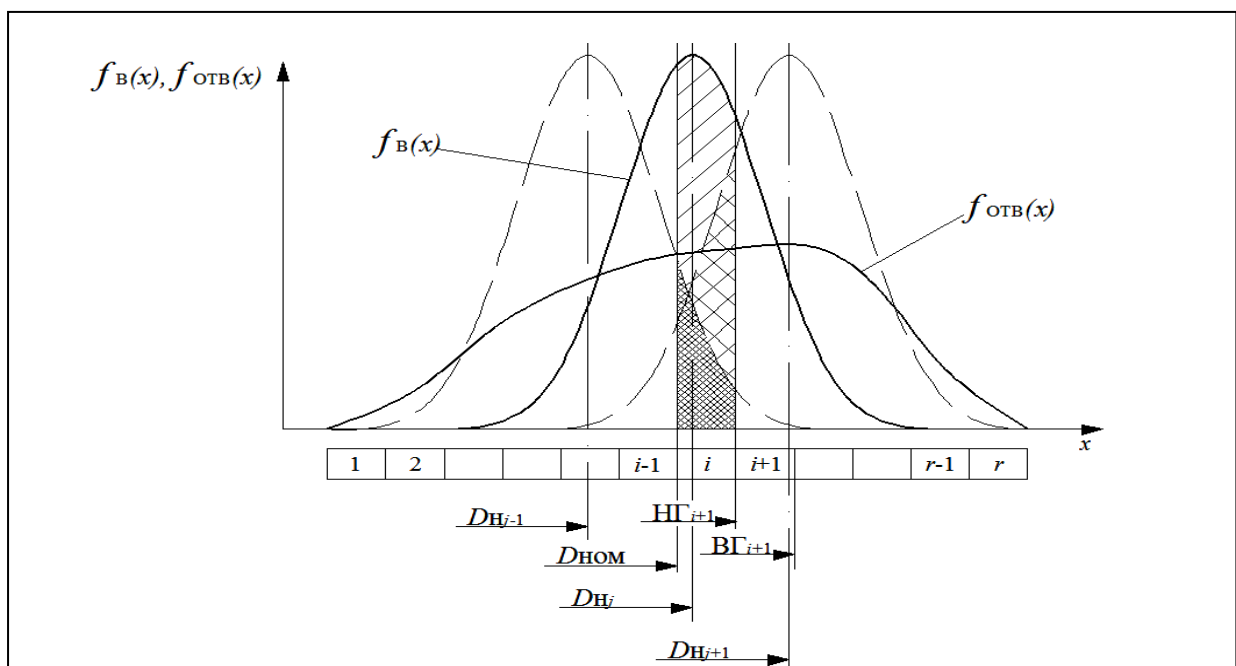


Рис. 3. Распределения размеров сопрягаемых поверхностей собираемой пары

В выражении (5) не определенными являются значения k , D_{H_j} и g_j . Их можно установить следующим образом: принимается значение k , и назначаются D_{H_j} ($j = \overline{1, k}$) и тогда из системы k уравнений рассчитываются величины g_j , задающие количественную программу изготовления валов на каждой настройке оборудования.

Для данного решения оговорены следующие условия. В уравнениях (5) количеству отверстий в селективных группах приравнивается сумма произведений количества валов с соответствующей настройкой, попадающих в данную селективную группу. Поэтому число уравнений в системе (5) равно числу r селективных групп отверстий. Количество же перенастроек k существенно меньше r . Таким образом, возникает неопределенность в выборе условий для решения g_j . Однако, так как целью решения g_j является достижение минимума НП, то и значение g_j следует выбрать из ряда возможных решений по образованию минимума незавершенного производства. Теперь остается оговорить условия по назначению величин k и D_{H_j} .

Количество k настроечных размеров устанавливают таким, при котором НП, образующееся в результате комплектования партий, поступивших на сборку деталей с отверстиями и изготовленных с k перенастройками валов, будет уменьшено до практически допустимого объема. С другой стороны, число перенастроек следует сделать наименьшим. Поэтому начальное значение k принимают равным двум. При $k = 2$ по системе из двух уравнений, составленных по выражениям (5), рассчитывают g_1 и g_2 – относительные количества валов, изготавливаемых на первой и второй настройках.

Значения D_{H_j} должны устанавливаться в пределах допусков наиболее насыщенных размерных групп парных деталей соединения (отверстий) таким образом, чтобы при настройке на размер валы обрабатывались пропорционально для двух смежных наиболее многочисленных групп отверстий.

Теперь при назначенных D_{H_1} и D_{H_2} , рассчитанных значениях g_1 и g_2 может быть выполнена сортировка валов на селективные группы, вычислены количества неукомплектованных валов и отверстий, т.е. объем НП при данном варианте настройки для размерной обработки валов. Очевидно, что он покажет уменьшение Q по сравнению с тем, который образуется при изготовлении валов для всей партии отверстий при одной размерной настройке оборудования. Логично, однако, попытаться улучшить дополнительно результаты сборки, получаемые для двух настроек. Для этого следует увеличить разность настроечных размеров

обработки вала сначала на одну величину дискретности перенастройки оборудования, выполняющего финишную размерную обработку валов, затем на две величины и так далее. Затем все расчеты повторяют до тех пор, пока объем НП будет уменьшаться, кроме того такую процедуру необходимо повторить аналогично уменьшая расстояние между размерами настройки D_{H_1} и D_{H_2} . Минимальная величина НП покажет технологическую возможность повысить собираемость сопрягаемых пар при двух настройках оборудования, на котором обрабатывается сопрягаемая поверхность валов.

Аналогичные расчеты выполняют при трех, четырех и так далее перенастройках D_{H_j} до тех пор, пока объем НП не достигнет минимального значения, либо не будет оптимизирован по минимуму затрат на селективное комплектование собираемых пар. Отметим, что достижение минимального НП указывает на предельно возможное совпадение законов распределения размеров сопрягаемых поверхностей.

Применение описанной методики и возможности программного расчета покажем на рассмотренном ранее примере сборки отверстий буровой коронки с зубками по двум номинальным диаметрам. Исходя из условий выбранной для сборочной единицы посадки H8/s7, допуск на натяг в соединении составляет $\delta = 0.037\text{мм}$. Поскольку рациональным для селективной сборки значением группового допуска является величина $\delta/2$, и, учитывая, поле допуска на размер отверстия, примем, что они сортируются на две размерные группы.

Согласно результатам расчета по вышеизложенной методике для каждой собираемой пары с номинальным значением диаметра $\varnothing 7\text{мм}$ и $\varnothing 8\text{мм}$ рекомендуется выполнять финишную размерную обработку зубков с двумя перенастройками: $\varnothing 7^{+0.024}\text{мм}$ ($\varnothing 8^{+0.024}\text{мм}$) и $\varnothing 7^{+0.034}\text{мм}$ ($\varnothing 8^{+0.034}\text{мм}$). Итоговый объем НП по каждому сборочному комплекту, а также его суммарная величина будет менее 1%.

Предложенный подход назначения и корректировки настроечных размеров обеспечивает значительное уменьшение или даже сведение к нулю вероятности появления НП, как для нормального, так и для случая произвольного распределения размеров отверстий.

Список литературы

1. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. Т.1 – М.: Машиностроение. – 2001. – 920 с.
2. **Катковник В. Я., Савченко А.И.** Основы теории селективной сборки – Л.: Политехника. –1991. – 303 с.
3. **Полякова М.В., Рабинович Л.А., Плешаков А.А., Горелова А.Ю., Кристаль М.Г.** Технологические особенности пригонки деталей для прецизионной сборки// Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013, № 9. – С. 39-44.