

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕЦИЗИОННОЙ СБОРКИ
ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПРИПУСКА ДЛЯ СОПРЯЖЕННОЙ ОБРАБОТКИ****Рабинович Л. А., Полякова М. В.** (*ВолгГТУ, г. Волгоград, Россия*)

The increase of productivity of the interfaced processing is connected with necessity to reduction of number of passes at final dimensional processing of preparations, which adjusted to the size for pair details of precision connection. For this purpose it is necessary to reduce maximum deviations of an allowance by the size of a processable surface of preparations, It leads to occurrence of a quantity of not completed details. Minimization of cost of total expenses at certain technological conditions of precision assembly by a method of the interfaced processing solves in the form of a problem of linear programming, as a result of which optimum deviations of the sizes of an allowance at the preparations adjusted towards the size of pair details of precision connection are established. The decision is illustrated by an example of connection «a finger – an aperture in internal-combustion engine».

При сборке прецизионных узлов по способу сопряженной обработки поверхность сопряжения одной из деталей изготавливается в экономически целесообразных допусках, а затем к размеру одной из деталей соединения автоматически подгоняется размер сопрягаемой поверхности парной детали (обычно вал подгоняется под размер отверстия). Во избежание возникновения незавершенного производства, вал, поступающий на сопряженную обработку, должен иметь размер больше диаметра отверстия как минимум на величину припуска на окончательное шлифование. При этом диаметр вала d должен быть таким, чтобы при сборке с парным отверстием диаметром D обеспечивался размер замыкающего звена (величина Δ зазора или натяга в соединении) требуемой величины.

Валы до сопряженной обработки выполняются, как правило, грубее отверстий и размеры сопрягаемых деталей в партиях распределяются с неодинаковыми параметрами рассеивания. Так как припуск является случайной величиной и представляет собой сумму случайных отклонений диаметров d заготовок валов и окончательно обработанных отверстий D , то распределение припуска на обработку вала будет нормальным с математическим ожиданием $M(\Pi)$ и дисперсией S_n^2 , которые можно найти по формулам:

$$M(\Pi) = 0.5 \cdot (\delta_D + \Pi_d) + \Pi_m \mp [\Delta]_{\delta(m)}; \quad (1)$$

$$S_n^2 = \frac{1}{36} (\delta_D^2 + \Pi_d^2),$$

где знак «+» перед $[\Delta]_m$ – для сборки с натягом, а знак «-» перед $[\Delta]_\delta$ – для сборки с зазором; δ_D – допуск на отверстие; Π_d – припуск заготовки вала под последующую размерную обработку; Π_m – величина минимально допустимого припуска; $[\Delta]_m$ и $[\Delta]_\delta$ – величины соответственно минимального и максимального допустимого натяга (зазора) в соединении.

Очевидно, что поле рассеяния случайного значения припуска у заготовки вала, будет превышать величину, снимаемую в один проход. В среднем при подгонке сопрягаемой поверхности вала число проходов рассчитывается по формуле:

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

$$R = \sum_{i=1}^k i \cdot P_i \text{ (прох/дет)} \quad (2)$$

где k – возможное наибольшее число проходов, определяется с учетом предельного значения требуемой точности соединения и рассчитывается как:

$$k = \frac{\delta_D + \Pi_d}{\Pi_{\max 1} \mp [\Delta]_{M(\delta)}}; \quad (3)$$

$\Pi_{\max 1}$ – величина максимально допустимого припуска для обработки детали в один проход а P_i – вероятность обработки текущей заготовки за число проходов i ; рассчитывается по формуле:

$$P_i = F \left[\frac{\Pi_{\text{ср}} - (i-1) \cdot (\Pi_{\max 1} \mp [\Delta]_{M(\delta)})}{S_n} \right] - F \left[\frac{\Pi_{\text{ср}} - i \cdot (\Pi_{\max 1} \mp [\Delta]_{M(\delta)})}{S_n} \right]; \quad (4)$$

здесь, как и в выражении (1), знак «+» перед $[\Delta]_{\delta}$ – для сборки с натягом, а знак «-» перед $[\Delta]_m$ – для сборки с зазором, а $\Pi_{\text{ср}}$ – среднее значение припуска у заготовки вала.

Сократить R можно за счет уменьшения среднего значения припуска и допустить, тем самым, возникновение некоторого объема незавершенной продукции. Поясним сказанное на следующем примере.

В соединении «палец-отверстие в поршне» диаметром $\square 60$ мм необходимо образовать натяг Δ от 7 до 17 мкм; при этом у окончательно обработанного отверстия выдерживается точность диаметра N5: от 0,015 до 0,028 мм. Величина припуска для чистового шлифования пальца на круглошлифовальном станке составляет не менее 60 мкм [1], а величина, снимаемая в один проход, лежит в пределах от 5 до 15 мкм. Величина R для данного примера составляет 2,01 прох/дет.

При уменьшении средней величины припуска у заготовки вала соответствующим образом уменьшается средняя величина припуска на обработку, что изменит величину R и приведет к появлению некоторой вероятности q отказов в обработке очередной заготовки. Значение q может быть определено по формуле:

$$q = 0.5 - F \left(3 - \frac{\Pi_{\text{ср}} - \Pi'_{\text{ср}}}{S_n} \right), \quad (5)$$

и соответствующие изменения возникают при расчете величины R . При сдвиге $\Pi_{\text{ср}}$ в сторону уменьшения на величину $(\Pi_{\text{ср}} - \Pi'_{\text{ср}})$ q и R составляют, соответственно 2% и 1,757 прох/дет. Очевидно, что с последующим изменением R значение q будет увеличиваться, а R – уменьшаться, изменяя, тем самым, затратные расходы на прецизионную сборку. Вместе с тем, очевидно, что потери, связанные с образованием незавершенной продукции и экономия затрат от сокращения расходов на выполнение пригоночных операций будут не равнозначны и требуют соответствующего анализа. По его результатам технологические условия сопряженной обработки должны быть оптимизированы по параметру стоимости.

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Получение оптимального решения, которое определит соотношение номинальных значений диаметров отверстия и заготовок вала, при котором компромиссные величины среднего числа проходов на деталь (R_j) и вероятности q_j невозможности подгонки заготовки вала под отобранную для сборки деталь с отверстием, должны привести к минимальной стоимости $L1$ прецизионной сборки. Целевая функция задачи линейного программирования для таких условий будет иметь вид:

$$L1 = C_1 \cdot \sum_{j=1}^H R_j + C_2 \cdot \sum_{j=1}^H q_j \rightarrow \min, \quad (6)$$

при ограничениях:

$$I < R_j \leq R_{\max}; \\ 0 < q_j < 1; 1 \leq j \leq H,$$

j – порядковый номер очередного шага, на который сдвигается $\Pi_{\text{ср}}$; H – максимально возможное количество шагов; C_1 – расходы, затрачиваемые на осуществление одного прохода финишной размерной обработки при подгонке заготовки вала; C_2 – стоимость одной пары сопрягаемых деталей, подгонка которых оказалась невозможной (т.е. одной единицы незавершенной продукции).

Данная задача оптимизации относится к классу линейного программирования. Ее решение для данных ранее приведенного примера и для условных значений C_1 и C_2 , равных 0,2 и 1,0 соответственно, рекомендует следующие оптимальные условия сопряженной обработки: среднее число проходов на деталь $R = 1,64$, вероятность появления незавершенного производства $q = 4\%$, минимизированная условная стоимость комплекта $L1 = 0,369$. Значения припуска на окончательную размерную обработку определяются по найденной оптимальной величине вероятности появления незавершенной продукции и составляют: $\Pi_m = 0,018$ мм; $\Pi_6 = 0,078$ мм; оптимизированными размерами заготовок пальца будут – $\varnothing 60^{+0,078}_{+0,018}$ мм.

Эффективность сопряженной обработки можно сделать еще более высокой, если выполнить подгонку заготовки под размер окончательно обработанной поверхности парной детали соединения, отобранной из m предварительно аттестованных деталей по меньшему абсолютному отклонению припуска от средней величины.

Тогда предельные отклонения припуска на обработку заготовки существенно уменьшаются, а функция плотности вероятности припуска приобретает вид [2]:

$$f_m(x) = \sum_{n=1}^m \left\{ \varphi_n(x) \cdot \prod_{\substack{n=1 \\ n \neq m}}^m [1 - 2F_n(x)] \right\}. \quad (7)$$

Здесь $F_n(x) = \int_0^x \varphi_n(z) dz$, а подынтегральная функция выражается формулой:

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

$$\varphi_n(x) = \frac{n}{2} \cdot \Phi\left(\frac{x}{\sigma}\right) \cdot \left\{ \left[0.5 + F\left(\frac{x}{\sigma}\right) \right]^{n-1} + \left[0.5 - F\left(\frac{x}{\sigma}\right) \right]^{n-1} \right\}, \quad (8)$$

где $\Phi\left(\frac{x}{\sigma}\right)$ – функция Гаусса, а $F\left(\frac{x}{\sigma}\right)$ – функция Лапласа.

Для последующих расчетов вероятностных характеристик сопряженной обработки функция (7) может быть аппроксимирована распределением Гаусса с таким же математическим ожиданием и величиной среднего квадратичного отклонения (σ), рассчитываемого для функции (7).

Для указанного случая в задаче оптимизации затрат на сопряженную обработку добавляется третья составляющая $\left(C_3 \cdot \frac{M}{m=1} \middle| m\right)$, связанная с затратами на аттестацию, адресное хранение и выполнение вычислительных операций по определению парной детали, отбираемой для сопряжения (M – максимальное количество предварительно аттестовываемых деталей соединения). Для примера расчета примем $C_3 = 0,05$ от себестоимости единицы незавершенной продукции и $M = 6$ деталей. Тогда целевая функция задачи линейного программирования при условии, что $m \leq M$, примет вид:

$$L = C_1 \cdot \frac{H_m}{j=1} \middle| R_{j,m} + C_2 \cdot \frac{H_m}{j=1} \middle| q_{j,m} + C_3 \cdot \frac{6}{m=1} \middle| m \rightarrow \min, \quad (9)$$

Для рассматриваемого числового примера получим следующие результаты: $m = 3$ детали для предварительного сравнения; $R = 1,265$ прох/дет; $q = 1\%$; $L = 0,353$; оптимизированными размерами заготовок пальца будут – $\varnothing 60^{+0,062}_{+0,002}$ мм.

Проведенные исследования дают основание заключить, что технологические возможности автоматической подгонки позволяют организовать эффективную по качеству и экономическим показателям прецизионную сборку методом сопряженной обработки в точном машиностроении при уровне серийности, сравнимом с условиями сборки с групповой взаимозаменяемостью. При этом оптимизация припуска заготовок, подгоняемых под размер парных деталей соединения приводит к существенному повышению производительности сборочного процесса.

Список источников: 1. Расчет припусков и межоперационных размеров в машиностроении / Радкевич Я. М. и др. – М.: Высшая школа., 2004. – 272 с. 2. Гибкие производственные системы сборки / Герасимов А. Г., Рабинович Л. А. и др. – СПб.: Машиностроение. – 1979. – 349с.