

Оптимизация показателей селективной сборки питателей смазочных систем

О.В. Филипович

Севастопольский государственный университет

Аннотация: Рассматривается задача оптимизации показателей процесса селективной сборки прецизионных соединений «плунжер-корпус» питателей централизованных смазочных систем, применяемых в машиностроении, металлургии, горнодобывающей промышленности и пр. В качестве целевой функции используется вероятность образования сборочных комплектов всех типов, управляемыми переменными являются количество и объемы частей партий и их центры настройки, а также величины групповых допусков. Рассматривается несколько вариантов решения задачи при различных комбинациях управляемых переменных. Приведен пример решения оптимизационной задачи на базе разработанных ранее математических моделей при заданных исходных данных и ограничениях, обозначены достоинства и недостатки каждого из вариантов. Оптимизация позволяет увеличить рассматриваемый показатель на величину от 5% до 20%.

Ключевые слова: селективная сборка, смазочный питатель, прецизионное соединение, математическая модель, оптимизация.

Введение

Наиболее приемлемым для сборки золотниковых и плунжерных пар узлов смазочной аппаратуры является метод групповой взаимозаменяемости, согласно которому предварительно определяют размеры сопрягаемых поверхностей и образуют сборочные комплекты из деталей по заданному алгоритму [1,2]. При использовании метода, как правило, оперируют с размерами соединяемых деталей, однако, как показывает практический опыт машиностроения, собираемость соединений ухудшается влиянием на замыкающее звено труднопрогнозируемых случайных факторов, к которым следует отнести отклонения формы и шероховатость [3]. Для смазки современного оборудования, применяемого в машиностроении, металлургии, горнодобывающей промышленности и пр., широко используются централизованные смазочные системы, позволяющие снижать затраты на материалы, потребляемую мощность и ремонт, улучшить качество смазки, сократить количество обслуживающего персонала и повысить безопасность

производства [4-6]. В данной работе рассматривается процесс селективной сборки прецизионных соединений питателей для двухмагистральных централизованных смазочных систем (ГОСТ 6911-71).

Конструктивные особенности питателей и технологические сложности, возникающие при обработке сопрягаемых поверхностей описаны в [7]. Целью данной работы является постановка и решение задачи оптимизации показателей процесса селективной сборки прецизионной пары плунжер-корпус.

Задача оптимизации

Математические модели процессов одновариантной селективной сборки построены в [8,9] и будут использоваться для решения оптимизационной задачи. В качестве критерия оптимизации примем показатель $I_{СК}$ (вероятность образования сборочных комплектов всех типов). Для достижения необходимой точности окончательно обработанных прецизионных отверстий, а также диаметров плунжеров, допуски на их обработку принимаются одинаковыми $T_{x_1} = T_{x_2} = 0,02$ мм. Проведенные исследования показали, что с учетом допустимой утечки смазки максимальная величина зазора в сопряжении не должна превышать $0,007...0,010$ мм. Минимально допустимая величина зазора принята $0,003$ мм, равная максимальной погрешности геометрических форм. Из условий обеспечения точности замыкающего звена при равномерной разбивке допуска на размеры деталей групповые допуски должны быть равны $0,002$ мм при количестве селективных групп годных $l_i - 2 = 10$. Сортировка сопрягаемых деталей на размерные группы производится с помощью специальных приборов с погрешность измерения, не превышающей $0,001$ мм.

Задачу определения оптимальных параметров селективной сборки будем рассматривать для соединения корпуса с плунжером, интервалы допусков размеров которых схематично показаны на рис. 1.

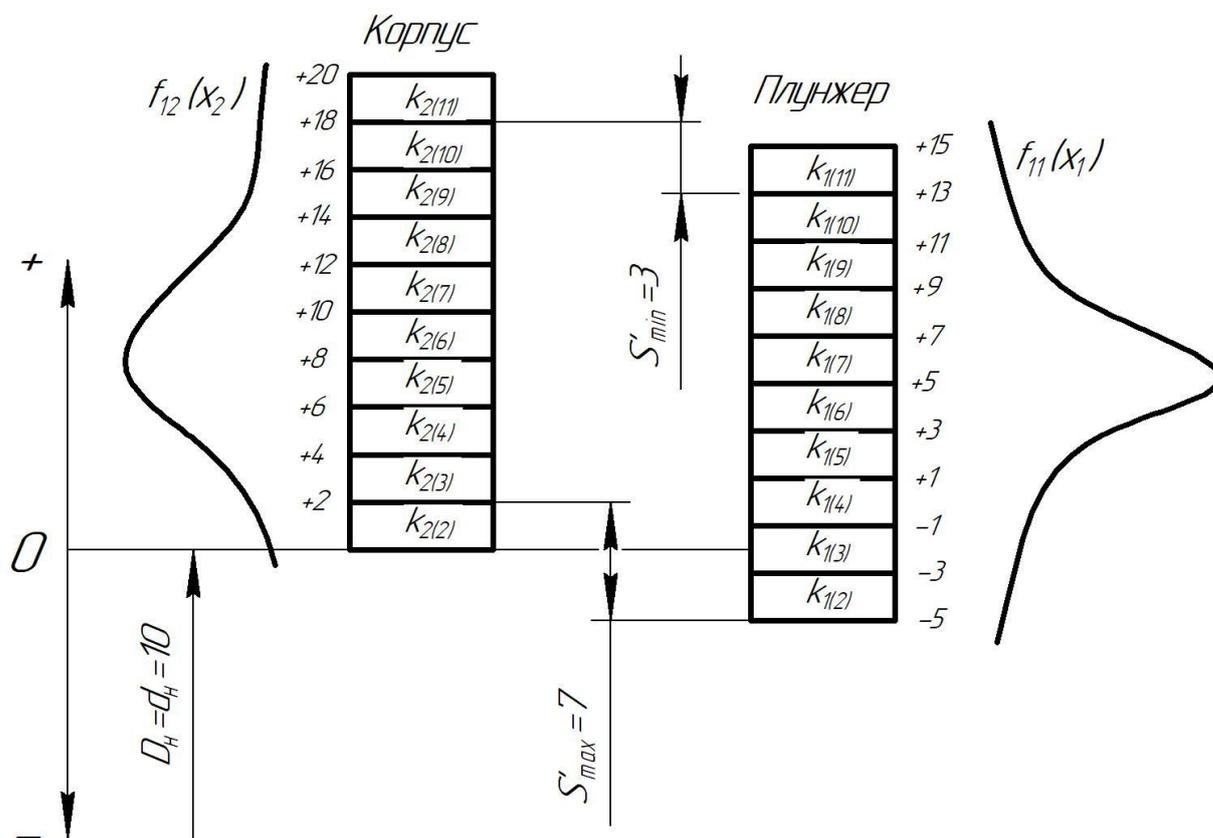


Рис. 1. – Схема расположения интервалов допусков

Показанные на рис. 1 границы селективных групп являются номинальными и образуются при условиях равенства групповых допусков и обеспечения групповой взаимозаменяемости с одновариантным правилом комплектования.

Для увеличения собираемости при наличии различных смещений математических ожиданий и величин разбросов размеров деталей используется прием, связанный с целенаправленным изменением настроек технологического оборудования на этапе изготовления элементов [10,11].

Для этого объемы партий Q_i разбиваются на определенное количество n_i неравных частей с вероятностью попадания в j -ю часть, равной $\frac{q_{ij}}{Q_i}$ ($j = \overline{1, n_i}$). Каждая часть изготавливается независимо от остальных при заданном смещении центра настройки c_{ij} основного технологического оборудования либо относительно координат середин интервалов допусков $Escx_i$, либо относительно математических ожиданий случайных величин x_i . Плотности распределений параметров каждой из частей имеют вид

$$\frac{q_{ij}}{Q_i} f_{li}(x_i - c_{ij}), j = \overline{1, n_i}, i = \overline{1, 2}.$$

Управляемые переменные, к которым в данном случае относятся количество и объемы частей партий и их центры настройки, выбираются таким образом, чтобы достичь экстремума заданной целевой функции.

Дополнительно для решения данной задачи можно использовать величины групповых допусков $Tx_i^{(k_i)}$ или соответствующие им границы селективных групп $a_i^{(k_i)}$. Т.к. по условиям технологического процесса изготовления и сборки заданы число селективных групп и расширенные допуски на изготовление деталей, то здесь задача состоит в оптимальном распределении $a_i^{(k_i)}$ при учете неравенств:

$$y_{\min} - y \leq 0, \quad y - y_{\max} \leq 0 \quad (1)$$

и выполнении требований:

$$X_i^{(s_i)} \cap X_i^{(t_i)} = \emptyset, s_i \neq t_i, \sum_{k_i} X_i^{(k_i)} = X_i, \quad (2)$$

где $y = x_2 - x_1$, x_1 – наружный диаметр плунжера, x_2 – размер отверстия корпуса, y_{\min} , y_{\max} – предельные значения выходного параметра (зазора), X_i – множество значений параметров x_i , разбитое на l_i подмножеств $X_i^{(k_i)}$,

называемых селективными группами. При этом считается, что искомые границы $a_i^{(k_i)}$ могут принимать строго определенные значения, кратные дискретностям D_i отсчетов приборов, осуществляющих контрольно-измерительные операции.

Таким образом, задача оптимизации процесса сборки прецизионного соединения двух однопараметрических деталей питателя селективным методом состоит в нахождении значений управляемых переменных для обеспечения максимума целевой функции:

$$I_{CK} = I_{CK}(a_i^{(k_i)}, n_i, q_{ij}, c_{ij}), \quad j = \overline{1, n_i}, \quad i = \overline{1, 2}, \quad (3)$$

при заданных ограничениях. К ним относятся неравенства (1), условия (2) и ограничения на максимально возможное количество частей партий ($n_i \leq n_{i\max}$), пределы и минимальные величины (шаг) смещений ($c_{ij\min} \leq c_{ij} \leq c_{ij\max}; [c]_{ij} \geq [c]_{ij\min}$), минимальный объем части партии ($q_{ij} \geq q_{ij\min}$) при выполнении нормировочного соотношения:

$$\frac{1}{Q_i} \sum_{j=1}^{j=n_i} q_{ij} = 1.$$

Данная задача является задачей нелинейного дискретного многопараметрического программирования, которая может быть решена методом полного перебора всех возможных вариантов при относительно небольшой их размерности.

Будем полагать, что распределения размеров деталей в партиях равных объемов $Q_1 = Q_2 = 1000$ штук являются нормальными с параметрами $m_{x_1} = 10,004$ мм, $\sigma_{x_1} = 0,0032$ мм, $m_{x_2} = 10,011$ мм, $\sigma_{x_2} = 0,0036$ мм. Указанные распределения имеют смещения относительно соответствующих координат середин интервалов допусков $E_{сх_i}$, а сами случайные величины x_i – различные дисперсии. При решении задачи максимизации (3)

зафиксируем управляемые переменные одной из деталей при варьировании переменных другой. В качестве последней логично взять ту, которую проще изготовить (в нашем случае – плунжер). Тогда (3) примет вид:

$$I_{CK} = I_{CK}(a_1^{(k_1)}, n_1, q_{1j}, c_{1j}), (j = \overline{1, n_1}) \rightarrow \max, \quad (4)$$

при условиях $0,003 \text{ мм} \leq y \leq 0,009 \text{ мм}$, $n_{1\max} = 2$, $q_{1j\min} = 100$ штук, $c_{1j} \in [-0,001; 0,001]$ мм с шагом 0,001 мм. В качестве дискретных значений приняты: $D_1 = 0,001$ мм, $q_{1j} = 200$ штук. Данную задачу будем решать в трех вариантах:

- 1) без разбиения партий на части при варьировании групповых допусков одной из деталей (плунжер);
- 2) с разбиением партии одной из деталей (плунжер) на части $n_1 = 2$ при номинальных значениях групповых допусков (см. рис. 1);
- 3) комбинация вариантов 1 и 2.

Результаты решения (4) приведены в таблицах №№1...3, где смещения определены относительно величин m_{x1} .

Таблица №1

Результаты решения задачи оптимизации (вариант 1)

Верхние предельные отклонения селективных групп Esx_1 , мм									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-0,004	-0,003	-0,001	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,012	0,015
Нижние предельные отклонения селективных групп Eix_1 , мм									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-0,005	-0,004	-0,003	-0,001	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,012

Таблица №2

Результаты решения задачи оптимизации (вариант 2)

q_{11} , штук	q_{12} , штук	c_{11} , мм	c_{12} , мм
1000	0	0,001	-0,001

Таблица №3

Результаты решения задачи оптимизации (вариант 3)

$q_{11}=400$ штук, $q_{12}=600$ штук, $c_{11} = 0,001$ мм, $c_{12} = -0,001$ мм									
Верхние предельные отклонения селективных групп Esx_1 , мм									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-0,003	-0,002	-0,001	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,013	0,015
Нижние предельные отклонения селективных групп Eix_1 , мм									
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-0,005	-0,003	-0,002	-0,001	0,001	0,003	0,005	0,007	0,009	0,013

Заключение

При значениях управляемых переменных, найденных в результате поиска оптимального решения и указанных в таблицах №№1...3, вероятности образования комплектов всех типов составляют:

- вариант 1 $I_{CK}=0,940$;
- вариант 2 $I_{CK}=0,874$;
- вариант 3 $I_{CK}=0,942$.

При отсутствии оптимизации $I_{CK}=0,768$. Первый вариант практически лишен недостатков и используется на этапе сортировки деталей. Его применимость обусловлена наличием системы управления указанным процессом, эффективность – точностью измерений. Второй вариант целесообразно применять в тех случаях, когда имеется возможность разделения партии хотя бы одной из деталей на части и отношение дискретности перемещения рабочих органов технологического оборудования к расширенному допуску на изготовление не превышает 25%. Его основной недостаток – усложнение технологического процесса изготовления и дополнительные требования к транспортно-складской системе. Третий вариант объединяет достоинства и недостатки первых двух и в некоторых случаях дает достаточно неплохие

результаты. В целом, решение задачи оптимизации позволяет увеличить рассматриваемый показатель на 5-20%.

Литература

1. Катковник В.Я., Савченко А.И. Основы теории селективной сборки. Л.: Политехника, 1991. 303 с.
2. Филипович О.В. Сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования процесса селективной сборки двух элементов с учетом погрешностей измерения при сортировке // Инженерный вестник Дона, 2024. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9107.
3. Мартынов А.П., Зенкин А.С., Васильев А.П. Управление качеством неподвижных соединений за счет нормирования конструктивно-технологических параметров // Сборка в машиностроении, приборостроении, 2010. №9. С. 37-41.
4. Наземцев А.С., Рыбальченко Д.Е. Пневматические и гидравлические приводы и системы. Часть 2: Гидравлические приводы и системы. Основы. М.: Форум, 2007. 295 с.
5. Лагунова Е.О. Расчет клиновидной опоры (ползун, направляющая), работающей на микрополярном жидком смазочном материале // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4686.
6. Иванов С.Л., Дудко П.П., Дмитриев Г.Ю., Подхалюзин С.П. Автоматические централизованные системы смазки. Опыт применения, проблемы и перспективы использования // Записки Горного института. С.-Пб, 2008. №178. С. 22-26.
7. Мартынов А.П., Филипович О.В., Кноблех В.П., Михайлов Ю.Д. Собираемость прецизионных соединений по принципу групповой взаимозаменяемости на основе управления процессами изготовления // Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. науч. тр. Краматорск-Киев. Вып. 27, 2010. С. 94-101.

8. Filipovich O., Nevar G., Balakina N., Voloshina N. Method for taking into account measurement errors when sorting elements into selective groups //International Russian Automation Conference (RusAutoCon 2023): Advances in Automation V. 2024. pp. 174-182. DOI: 10.1007/978-3-031-51127-1_17.

9. Сорокин М.Н. Определение вероятности получения бракованных сопряжений при селективной сборке изделий типа вал-втулка при выборе селективных интервалов //Сборка в машиностроении, приборостроении, 2013. №1(150). С. 29-33.

10. Буловский П.И., Крылов Г.В., Лопухин В.А. Автоматизация селективной сборки приборов. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1978. 232 с.

11. Kopp V., Serova N. Vypocet a riadenie parametrov selektivnej montaze //8 celostatna konferencia s medzinarodnou ucast'ou Automatizacia/Robotika v teorii a praxi "Acta Mechanica Slovaca – Robtep 2006", Koske, 2-A/2006, Robtep 2006, Rocnik 10, pp. 257-267.

References

1. Katkovnik V.Ya., Savchenko A.I. Osnovy teorii selektivnoy sborki [Fundamentals of selective assembly theory]. L.: Politekhnik, 1991. 303 p.

2. Filipovich O.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9107.

3. Martynov A.P., Zenkin A.S., Vasil'ev A.P. Sborka v mashinostroenii, priborostroenii, 2010. №9. pp. 37-41.

4. Nazemtsev A.S., Rybal'chenko D.E. Pnevmaticheskie i gidravlicheskie privody i sistemy. Chast' 2: Gidravlicheskie privody i sistemy. Osnovy [Pneumatic and hydraulic drives and systems. Part 2: Hydraulic drives and systems. Fundamentals]. M.: Forum, 2007. 295 p.

5. Lagunova E.O. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4686.



6. Ivanov S.L., Dudko P.P., Dmitriev G.Yu., Podkhalyuzin S.P. Zapiski Gornogo instituta. S.-Pb, 2008. №178. pp. 22-26.

7. Martynov A.P., Filipovich O.V., Knobloch V.P., Mikhaylov Yu.D. Nadezhnost' instrumenta i optimizatsiya tekhnologicheskikh sistem. Sb. nauch. tr. Kramatorsk-Kiev. Vyp. 27, 2010. pp. 94-101.

8. Filipovich O., Nevar G., Balakina N., Voloshina N. International Russian Automation Conference (RusAutoCon 2023): Advances in Automation V. 2024. pp. 174-182. DOI: 10.1007/978-3-031-51127-1_17.

9. Sorokin M.N. Sborka v mashinostroenii, priborostroenii, 2013. №1 (150). pp. 29-33.

10. Bulovskiy P.I., Krylov G.V., Lopukhin V.A. Avtomatizatsiya selektivnoy sborki priborov [Automation of selective assembly of instruments]. L.: Mashinostroenie. Leningr. otd-nie, 1978. 232 p.

11. Kopp V., Serova N. 8 celostatna konferencia s medzinarodnou ucast'ou Automatizacia/Robotika v teorii a proxi "Acta Mechanica Slovaca – Robtpe 2006", Koske, 2-A/2006, 2006, Rocnik 10, pp. 257-267.

Дата поступления: 2.07.2024

Дата публикации: 16.08.2024