УДК 621.923.5

В.И. Коваленко, М.В. Меркулов
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯЖЕНИЯ ВАЛ-ШАТУН

В статье представлена методика построения карт кумулятивных сумм, приведены результаты анализа стабильности технологического процесса отделочной обработки поверхностей сопряжения вал-шатун. Представлена схема сопрягаемых поверхностей, результаты измерения контролируемых параметров, простая контрольная карта и карта кумулятивных сумм. Приведена методика предупредительного контроля стабильности технологического процесса.
Ключевые слова: *контрольная карта, карта кумулятивных сумм, выборка.*

Введение

Компрессоры, в которые входят сопряжения вал-шатун, широко применяются в машиностроении, в химической, холодильной промышленности и криогенной технике. Изучаемое сопряжение (пара вал-шатун) используется в поршневом герметичном компрессоре, где передача движения поршня осуществляется с помощью кривошипно-шатунного механизма.

В заводских условиях проводилось исследование обработки деталей типа вал и шатун, которые образуют сборочный узел поршневого компрессора.

Статистический метод анализа, который используется в данной работе, применяют для исследования стабильности технологического процесса при серийном и массовом типах производства с использованием простых контрольных карт и карт кумулятивных сумм.

Целью работы является использование методики построения карт кумулятивных сумм [1] для оценки стабильности технологического процесса.

Для анализа технологического процесса использован метод выборочного текущего контроля. В работе [2] с помощью этого метода проанализирована точность обработки аналогичных деталей. Метод выборочного текущего контроля был применен в настоящей работе для предварительной оценки стабильности технологического процесса

Основное содержание и результаты работы

Поршневой герметичный компрессор предназначен для поддержания разницы давлений в холодильном контуре, с помощью которого обеспечивается постоянная циркуляция жидкого холодильного агента и наличие холодильного цикла. В единый стальной корпус помещены герметичный компрессор и двигатель, соединенные напрямую. Корпус представляет собой две полуформы (верхняя и нижняя) из штампованной стали, которые свариваются воедино в процессе сборки. Электродвигатель герметичного компрессора охлаждается хладагентом, а также имеет защиту от перегрева.

На рис. 1 представлена схема сопряжения эксцентрикового вала и шатуна. Вал 1 (диаметр d) сопрягается с внутренней цилиндрической поверхностью шатуна 2 (диаметр D).

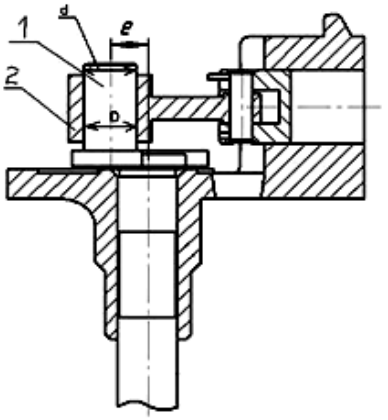

Рис. 1. Схема сопряжения вала с шатуном

Финишная обработка вала выполнялась на круглошлифовальном станке модели 3М 153 СФ1 кругом шлифовальным 1500×32×203 54С 10 – П СМ2 7К 50 м/с А 1кл. ГОСТ 2424-83. Диаметр наружной цилиндрической поверхности вала контролировался скобой СР25 ГОСТ 11098-75. Финишная обработка отверстия шатуна осуществлялась на хонинговальном станке модели 3Е 820 МОП 323. В качестве инструмента использовалась хонинговальная головка 90.1363 с четырьмя алмазными брусками 2768-0010 АС6 63/50 100М1 ГОСТ 25594-83. Размер обработанного отверстия контролировался электронным прибором с использованием индуктивного преобразователя модели ЭМ-0001.

Для оценки точности обработки сопрягаемых поверхностей были произведены измерения их диаметров. В заводских условиях по каждой поверхности были отобраны 6 выборок объемом 50 штук в каждой. Для оценки стабильности технологического процесса используются простые и накопленные (кумулятивные) контрольные карты.

Контрольные карты кумулятивных сумм, как и простые контрольные карты, могут строиться для любого контролируемого параметра: среднего арифметического значения какого-либо размера, стандартного отклонения, размаха и т. п.

Придерживаясь заводских норм контроля, измерялись наименьшие (D_{min}) и наибольшие (D_{max}) отклонения внутренней цилиндрической поверхности шатуна. В работе представлена методика построения карты кумулятивных сумм для минимального отклонения от номинального размера D_{min} внутренней цилиндрической поверхности шатуна (табл.1; рис.2). В результате расчетов построены карты кумулятивных сумм анализируемой поверхности: номинальный диаметр 14 мм (поле допуска Т=11 мкм, верхнее предельное отклонение - 11 мкм, нижнее предельное отклонение – 0).

Методика построения карты кумулятивных сумм представлена ниже. Для анализа технологического процесса принята выборка объемом 50 измерений. Обозначим: $\overline{Q}_н$ - середина поля допуска Т.

Значения размеров $\overline{Q}_{d^+}$ и $\overline{Q}_{d^-}$ при разладке технологического процесса определяют по выражениям

$$\overline{Q}_{d^+} = \overline{Q}_н + \Delta K * T,$$
$$\overline{Q}_{d^-} = \overline{Q}_н - \Delta K * T,$$

где ΔК – коэффициент, определяющий степень разладки. На основе анализа заводских условий обработки принято ΔК=0,25.

Степень разладки технологического процесса определяется по формуле:

$$\Delta = 0.5(\Delta^+ + \Delta^-),$$

где $$\Delta^+ = \frac{\overline{Q}_{d^+} - \overline{Q}_н}{\sigma},\ \Delta^- = \frac{\overline{Q}_н - \overline{Q}_{d^-}}{\sigma}.$$

В вышеприведенные выражения входит величина σ - стандартное отклонение, определяемое как

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - x_{cp})^2},$$

где N–количество измерений исследуемого параметра, x_i – текущее значение, $x_{ср}$ – среднее значение параметра.

Из работы [1] находят длины серий выборок L_o и L_1 (которые характеризуют степень наладки и разладки технологического процесса соответственно) и определяют количество деталей в выборке n.

Верхнюю L_s и нижнюю L_{in} границы регулирования определяют из выражений:

$$L_s = Q_н + t\frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \qquad L_{in} = Q_н - t\frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

где t – статистический параметр.

Кроме границ регулирования на контрольную карту кумулятивных сумм наносят верхнюю K^+ и нижнюю K^- предупредительные границы, которые рассчитывают следующим образом:

$$K^+ = \frac{\overline{Q}_н + \overline{Q}_{d^+}}{2};$$

$$K^- = \frac{\overline{Q}_н + \overline{Q}_{d^-}}{2}.$$

Методика расчета кумулятивных сумм представлена в табл. 1.

В столбце 1 таблицы указан номер анализируемой выборки, а в столбце 2 – номер кумулятивной суммы (если она образуется). Через определенные интервалы времени берутся выборки по n изделий, у которых измеряется контролируемый размер и вычисляется его среднее арифметическое значение Q_i (столбец 3). Как только в очередной выборке значение Q_i выйдет за одну из предупредительных границ K^+ или K^- (столбцы 4, 5), начинается определение кумулятивной суммы и ей присваивается первый номер (см. столбец 2). Кумулятивные суммы рассчитываются по формуле

$$Q\text{сум} = \sum_{i=1}^{j}(Q_i - K^+)$$

или по формуле

$$Q\text{сум} = \sum_{i=1}^{j}(Q_i - K^-),$$

где j – номер кумулятивной суммы,

в зависимости от того, за какой предупредительной границей (столбец 5) оказалось значение Q_i. Определение кумулятивной суммы показано в столбцах 6, 7 (табл. 1). Комментарии, необходимые при определении кумулятивных сумм, указываются в столбце 8.

Если $Q_{сум}$, не достигнув границы регулирования, меняет знак, вычисление кумулятивных сумм прекращается и техпроцесс считается налаженным. После этого образование кумулятивных сумм возобновляется при очередном выходе Q_i за предупредительную границу. Для удобства значение $Q_{сум}$ сравнивают с параметром ε, который характеризует границу регулирования и определяется по формуле:

$$|\varepsilon| = t\frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

Если $Q_{сум}$ выходит за границы регулирования, то технологический процесс считается разлаженным и выдаются рекомендации о прекращении соответствующей операции технологического процесса. После повторной наладки процесса обработки анализируемой поверхности образование кумулятивных сумм начинается заново по описанной выше методике.

Для анализируемой в работе выборки получены следующие результаты вычислений, мкм:

$$\overline{Q}_{н} = \frac{T}{2} = 5{,}5; \quad \overline{Q}_{d^+} = 8{,}25; \quad \overline{Q}_{d^-} = 2{,}75; \quad K^+ = 6{,}875; \quad K^- = 4{,}125; \quad \sigma = 1{,}814; \ \Delta = 1{,}519.$$

На основе анализа данных, полученных в заводских условиях, выбраны следующие длины серий выборок: $L_0 = 500$, $L_1 = 7$. При этом получаем $\Delta/\sqrt{n} = 1{,}18$; t=3,82. Отсюда

$$n = \left(\frac{\Delta}{1{,}18}\right)^2 \approx 1{,}65.$$

Округляя, примем число деталей, входящих в выборку n=2.

Границы регулирования: $Ls = 10{,}41$; $Lin = 0{,}59$; $|\varepsilon| = t\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$; $|\varepsilon| = |4{,}91|$.

В таблице 1 (фрагментарно) представлен порядок определения кумулятивных сумм.

Таблица 1. Последовательность расчета кумулятивных сумм

№	j	Qi	K	(+)/(-)	Qi - K	Qсум	Комментарий
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
1		5					
2	1	4	4,125	(-)	-0,125	-0,125	Начало образования кумулятивных сумм
3	2	6	4,125	(-)	1,875	1,75	Меняет знак. Конец образования
4	1	7	6,875	(+)	0,125	0,125	Начало образования кумулятивных сумм
5	2	4	6,875	(+)	-2,875	-2,75	Меняет знак. Конец образования
……..…….….....							
31	1	3	4,125	(-)	-1,125	-1,125	Начало образования кумулятивных сумм
32	2	5	4,125	(-)	0,875	-0,25	
……							
39	9	3	4,125	(-)	-1,125	-5,125	Принимается решение о разлаженности ТП

На рис.2 пунктирной линией обозначена простая контрольная карта, а сплошной линией изображена карта кумулятивных сумм.

Обозначим: m – порядковый номер детали, при обработке которой принимается решение о разлаженности технологического процесса. Из карты (см. рис. 2) видно, что в данном случае разладка технологического процесса наступает на 39 проверенной детали (m = 39).

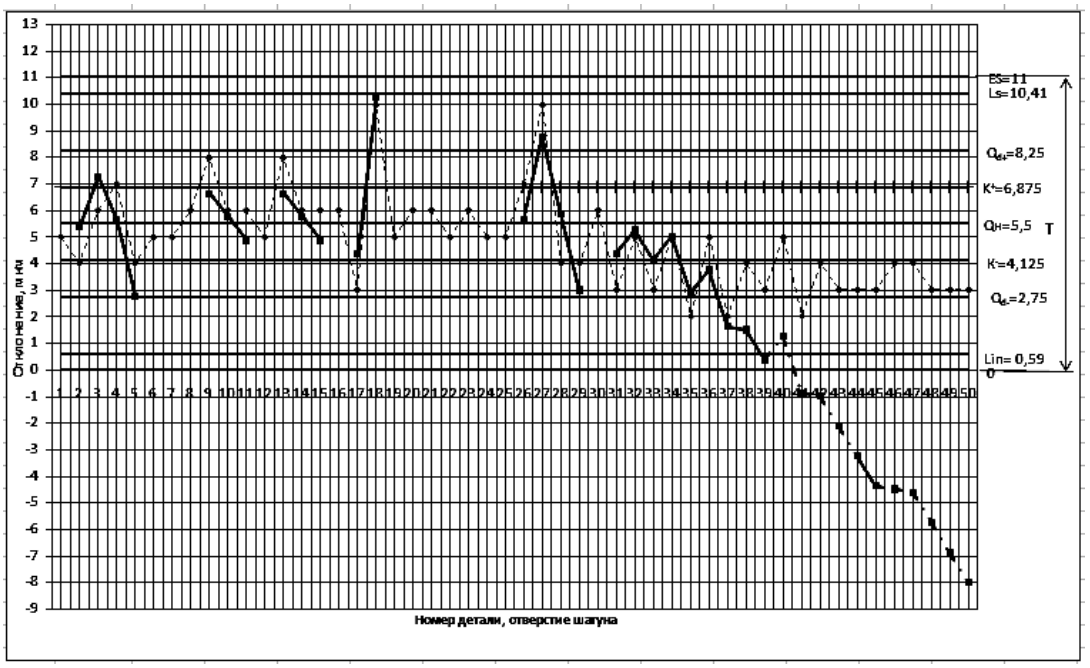

Рис. 2. Карта кумулятивных сумм

Аналогичным образом строятся карты кумулятивных сумм для максимального отклонения от номинального диаметра Dmax и среднего значения диаметра шатуна Dcp. Построив карты кумулятивных сумм для каждого из этих значений, установили, что для максимального значении диаметра шатуна разладка наступает на 27 обработанной детали (m = 27), а для среднего значения диаметра определено, что разладка технологического процесса наступает на 50-ой детали (m = 50). Полученные данные занесены в табл. 2 (выборка 1).

Всего в данной работе проанализированы 6 выборок объемом по 50 измерений. Для каждой выборки построены карты кумулятивных сумм для всех трех измеряемых параметров. Результаты вычислений также представлены в табл. 2.

Таблица 2. Оценка стабильности технологического процесса

№ выборки											
1		**2**		**3**		**4**		**5**		**6**	
Параметр	**m**	Параметр	**m**	Параметр	**m**	Параметр	**m**	Параметр	**m**	Параметр	**m**
D_{min}	39	D_{min}	-	D_{min}	38	D_{min}	-	D_{min}	37	D_{min}	40
D_{max}	27	D_{max}	9	D_{max}	-	D_{max}	-	D_{max}	13	D_{max}	-
$D_{ср}$	50	$D_{ср}$	13	$D_{ср}$	43	$D_{ср}$	-	$D_{ср}$	-	$D_{ср}$	42

Необходимо отметить, что при анализе технологического процесса с использованием карт кумулятивных сумм, коэффициент ΔK и параметры L_0 и L_1 принимаются на основе экспериментальных данных, полученных в заводских

условиях. Поэтому для применения рассмотренной методики необходим предварительный анализ значительного количества выборок обрабатываемых деталей при налаженном процессе производства.

Заключение

Используя методику построения карт кумулятивных сумм, произведена оценка стабильности технологического процесса. В качестве примера построена карта кумулятивных сумм минимального значения внутреннего диаметра шатуна, а также приведена сводная таблица оценки стабильности технологического процесса по шести выборкам.

Приведенная методика позволяет анализировать текущий технологический процесс и своевременно давать рекомендации о возможном моменте разладки техпроцесса еще до того, как технологический процесс станет разлаженным и появится вероятность появления бракованных деталей.

Список литературы:

1. Шишкин И.Ф. Контроль: учеб. пособие / И.Ф. Шишкин. - СПб.: СЗПИ, 1992 – 62 с.

2. Коваленко В.И. Дисперсионный анализ сопряжения вал-корпус / В.И. Коваленко, Е.А. Теряев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов. – 2011. – Вып.41. – С. 169 - 175.

Надійшла до редколегії 31.01.2012.

В.І. Коваленко, М.В. Меркулов

ОЦІНКА СТАБІЛЬНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ СПОЛУЧЕННЯ ВАЛ-ШАТУН

У статті представлена методика побудови карт кумулятивних сум, представлені результати аналізу стабільності технологічного процесу фінішної обробки поверхонь сполучення вал-шатун. Наведені схема сполучених поверхонь, результати виміряних параметрів, проста контрольна карта та карта кумулятивних сум. Представлена методика запобіжного контролю стабільності технологічного процесу.

Ключові слова: *контрольна карта, кумулятивна сума, вибірка*.

V.I. Kovalenko, M.V. Merkulov

STABILITY ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF TREATMENT OF SURFACES OF COUPLE SHAFT-RODS

In the article describe a method of construction maps of cumulative sums, presents results of analysis of stability of finishing technological process of surfaces of couple shaft and rod. Also presents scheme of mating surfaces, results of measured parameters, simple checklist and map of cumulative sums. Show a method of the preventive control of stability of the technological process.

Keywords: *control chart, cumulative sum, sample*.