

Б. С. ЕВМЕНЕНКО

## О ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ В ЦЕНТРИРУЮЩИХ ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

В условиях автоматизированной обработки деталей требования к точности центрирующих приспособлений и стабильности их работы во времени значительно возрастают.

Рассмотрение параметров точности установки деталей позволит улучшить характеристики центрирующих приспособлений и тем самым повысить их эксплуатационные качества.

В данной статье рассматривается точность установки деталей в центрирующих приспособлениях и характер изменения кривых мгновенного распределения погрешностей во времени действия технологического процесса.

На фиг. 1 представлена векторная схема составляющих параметров точности установки деталей в центрирующих приспособлениях.

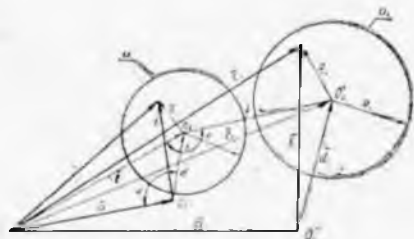
Суммарный вектор погрешности установки при закреплении детали в центрирующем приспособлении.

$$c = \bar{a} + \bar{b}. \quad (1)$$

Здесь:  $\bar{a}$  — вектор, представляющий геометрическую погрешность смещения оси  $O_1$  установочного элемента приспособления относительно оси шпинделя станка  $O$ ;

$\bar{b}$  — вектор динамической погрешности установки, возникающей при закреплении деталей.

Принимая, что вершины векторов  $\bar{b}$  в некоторый начальный промежуток времени, определяемый мгновенным распределением,



Фиг. 1. Векторная схема составляющих параметров точности.

находятся внутри круга  $\pi$  радиуса  $R$  с центром группирования в точке  $O_2$ , можем написать:

$$\vec{c} = \vec{l} + \vec{r}. \quad (2)$$

Здесь:  $\vec{l}$  — результирующий вектор систематической погрешности;  
 $\vec{r}$  — случайный вектор.

Вектор  $\vec{l}$  рассматривается как результирующий двух систематических погрешностей — геометрической  $\vec{a}$  и динамической  $\vec{d}$ , угол между которыми  $\varphi$  для партии приспособлений является случайной величиной и распределяется равномерно в пределах от 0 до  $2\pi$ . Опытным доказано, что при установке приспособлений без проверки величина  $a$  обычно больше  $d$ . В рассмотренном случае  $a$  является суммарной погрешностью и зависит от составляющих звеньев цепи соотношения, определяющих точность изготовления и сборки приспособления;  $d$  — также суммарная погрешность, являющаяся следствием различной жесткости отдельных элементов и стыков приспособления и связанного с этим различного перемещения отдельных точек установочной поверхности приспособления. Отклонения случайных векторов  $\vec{r}$  распределяются по закону Максвелла с плотностью вероятностей

$$f(r) = \frac{r}{\alpha^2} e^{-\frac{r^2}{2\alpha^2}},$$

где  $\alpha$  — параметр точности.

Если  $R = 3,6\alpha$ , то вероятность того, что отклонения  $r$  будут не больше  $R$ , равна 0,9985 и можно считать, что векторы  $\vec{r}$  также располагаются в круге  $\pi$  с радиусом  $R$  и с центром в точке  $O_2$  [1].

Суммарный вектор погрешности  $\vec{c}$ , выраженный в виде (2), следует рассматривать как составную погрешность, т. е. как векторную сумму систематической погрешности  $\vec{l}$  и случайного вектора  $\vec{r}$ . При дальнейшем изложении суммарные векторы подобно-го вида именуются составными.

При обработке деталей, вследствие износа приспособления, изменения жесткости стыков и других причин, систематические и случайные погрешности установки непрерывно изменяются.

Представим, что по истечении некоторого времени обработки деталей центры  $O_1$  и  $O_2$  займут соответственно положения  $O_1'$  и  $O_2'$ . Приняв в качестве допустимой погрешности установки деталей величину  $\delta_{\text{доп}}$  (фиг. 2), получим:

$$\delta_{\text{доп}} = l + f + R_1, \quad (4)$$

где  $f$  — приращение системати-



Фиг. 2. Характер изменения случайной погрешности с ростом систематической погрешности.

ческой погрешности, характеризующее период стойкости приспособления;

$R_1$  — величина конечной случайной погрешности.

Случайные погрешности  $r(R)$  во время обработки деталей увеличиваются. Это объясняется неравномерностью износа установочных элементов приспособления и нарушением устойчивости положения деталей при закреплении. Очевидно, по мере удаления зоны измерения установочного элемента погрешность  $r$  будет увеличиваться. Продолжительность сохранения погрешностей установки деталей в пределах выделенной переменной систематической погрешности  $\bar{f}$  зависит, главным образом, от интенсивности износа приспособления и изменения его жесткости.

Исходная погрешность  $l$  в значительной степени зависит от точности изготовления и установки приспособления на станке, от его жесткости, а также от качества установочной поверхности деталей. Соотношение погрешностей  $l:\bar{f}:R$  колеблется в значительных пределах.

Угол  $\gamma$  между векторами  $\bar{l}$  и  $\bar{f}$  для каждого приспособления является величиной случайной, распределяющейся равномерно в пределах от 0 до  $2\pi$ . В частном случае при  $\gamma \sim 0$  по мере увеличения  $\bar{f}$  и приближения центра группирования  $O^1$  к оси шпинделя  $O$ , точность установки во времени может повышаться и период стойкости приспособления увеличится.

Исходная точность центрирования приспособления характеризуется мгновенным распределением погрешностей в начальный период обработки деталей (фиг. 1, 2).

$$\delta_{\text{случ}} = l + R. \quad (5)$$

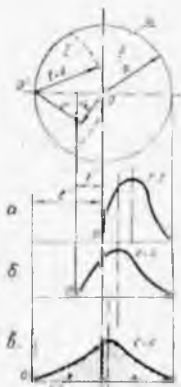
Точность установки деталей можно значительно повысить, совмещая с помощью выверки приспособления центр  $O_2$  с осью шпинделя  $O$ . В этом случае  $l=0$  и

$$\delta_{\text{случ}} \approx R.$$

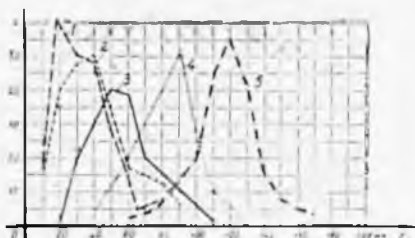
Так как модуль случайных векторов  $r$  распределяется по закону Максвелла, то при совмещении  $O_2$  с  $O$  (фиг. 1) распределение погрешностей установки также будет подчиняться этому закону и точность установки деталей в этом случае будет наибольшей (фиг. 3а). По мере увеличения систематической погрешности  $l$  (фиг. 3б), параметр  $\alpha$  будет увеличиваться, кривая распределения, уменьшаясь по высоте, расширяется и при  $l=R$  (фиг. 3в) достигнет максимума. Форма кривой распределения при увеличении  $l$  непрерывно изменяется: от кривой Максвелла, имеющей, как известно, левый наклон, перейдет в кривую с правым наклоном (фиг. 3б, в) и затем, при дальнейшем увеличении  $l$ , форма кривой будет приближаться к Гауссовой. Площади  $F_1$  и  $F_2$  кривой распределения для  $l=R$  соответствуют количествам векторов  $c$ , вершины которых находятся соответственно в зонах I и II круга  $u$ , разделенных пунктирной кривой радиуса  $l=R$  (фиг. 3) [1].

Этим объясняется и наличие асимметрии кривых распределения. С увеличением  $l$  разность площадей зон I и II круга  $u$  уменьшается, соответственно уменьшается разность плотностей, и кривые распределения стремятся к симметричной форме.

Высказанные выше положения хорошо согласуются с результатами проведенных экспериментов в лабораторных условиях, когда увеличение систематической погрешности  $l$  достигалось преднамеренной сбивкой корпуса патрона, т. е. увеличением  $a$ , а также в производственных условиях, где увеличение систематической погрешности  $l$  происходило вследствие потери точности зажимно-



Фиг. 3. Изменение случайной погрешности при увеличении систематической погрешности



Фиг. 4. Экспериментальные кривые распределения модулей составных векторных погрешностей при установке колец подшипников.

1	$a = 0$ ,	$\sigma = 0,012$ ,	$\Sigma = 0,652$ ;
2	$a = 0,027$ ,	$\sigma = 0,017$ ,	$\Sigma = 0,583$ ;
3	$a = 0,06$ ,	$\sigma = 0,019$ ,	$\Sigma = 0,208$ ;
4	$a = 0,09$ ,	$\sigma = 0,019$ ,	$\Sigma = -0,183$ ;
5	$a = 0,15$ ,	$\sigma = 0,021$ ,	$\Sigma = -0,090$

го приспособления по причине его износа, т. е. за счет роста обоих составляющих  $a$  и  $d$ .

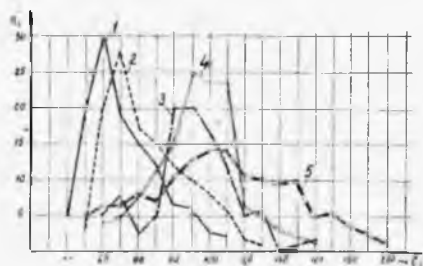
В первом случае производились замеры радиальных бисней деталей типа колец, во втором — валиков (распорка сепараторов) при закреплении их в цанговом патроне.

На фиг. 4 приведены экспериментальные кривые распределения модулей составных векторных погрешностей установки колец. Статистический материал проведенных в лаборатории 9 ГПЗ опытов с кольцами и форма экспериментальных кривых распределения показывают изменение характера мгновенного распределения модулей составных векторных погрешностей при возрастании систематической погрешности. Рассматривая полученные кривые распределения, можно заметить, что при  $a=0$  и  $a=0,027$  мм они более крутые с левой стороны и пологие с правой, а с увеличением  $a$  (следовательно и  $l$ ) становятся более симметричными (при  $a=0,06$  мм), а затем приобретают правый наклон, т. е. правая ветвь становится круче левой (при  $a=0,09$  мм). При дальнейшем увеличении систематической погрешности ( $a=0,15$  мм) кривая становится практически симметричной.

Во втором случае, т. е. реальных производственных условиях, последовало изменение характеристик  $l$  и  $R$  — составных векторных погрешностей установки и их соотношение  $\nu = \frac{l}{R}$  через определенные промежутки времени работы приспособления. Снятие характеристик производилось через каждые 3000 обработанных деталей. Результаты экспериментов, сведенные в таблицы, использовались для определения числовых характеристик и построения кривых распределения модулей биения, представленных на фиг. 5.

Исследования подтверждают, что по ходу процесса обработки, в связи с износом сопряженных деталей зажимного приспособления, изменением их контактной жесткости, износом установочных поверхностей, а также их загрязнением и другими причинами, параметры мгновенных распределений модулей погрешности установки изменяются.

Значение  $l$  и поле рассеивания  $2R$  с течением времени возрастают, кривые мгновенных распределений становятся



Фиг 5. Экспериментальные кривые распределения модулей составных векторных погрешностей при установке валков.

- |                               |                     |                      |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1 — новый патрон              | $\sigma = 0,0158$ , | $\Sigma_k = 0,553$ ; |
| 2 — после обработки 2000 шт.  | $\sigma = 0,0181$ , | $\Sigma_k = 0,441$ ; |
| 3 — после обработки 5000 шт.  | $\sigma = 0,0254$ , | $\Sigma_k = 0,116$ ; |
| 4 — после обработки 8000 шт.  | $\sigma = 0,0281$ , | $\Sigma_k = 0,095$ ; |
| 5 — после обработки 12000 шт. | $\sigma = 0,0342$ , | $\Sigma_k = 0,101$ . |

более симметричными и вытянутыми. Анализ соотношений  $\nu = \frac{l}{R}$  показывает, что они почти не изменяются, т. к. величины систематической погрешности  $l$  и поля рассеивания случайной погрешности  $R$  возрастают во времени пропорционально.

В результате статистической обработки полученных экспериментальных данных установлено, что для цанговых зажимных патронов и прочих аналогичных им центрирующих приспособлений значения  $\nu$  близки к единице. Это значительно упрощает ведение расчета точности расположения поверхностей деталей типа колец и втулок и позволяет оперировать непосредственно с допустимыми величинами составных погрешностей, исключая определение их составляющих.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Федорченко. «Суммирование векторных погрешностей». Школа высших учебных заведений. Серия «Авиационная техника», 1962.
2. Н. А. Бородачев. «Основные вопросы теории точности производств». Изд. АН СССР, 1960.