

*В. С. ОСТРИКОВА*

## **ВЛИЯНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ И ЖЕСТКОСТИ СПИД НА НАСТРОЕЧНЫЕ РАЗМЕРЫ И ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ТОКАРНЫХ АВТОМАТАХ И ПОЛУАВТОМАТАХ**

При изготовлении деталей на токарных автоматах и полуавтоматах одной из главных задач является обеспечение заданной точности диаметральных размеров.

Размеры в процессе изготовления деталей определяются взаимосвязанным положением лезвия режущего инструмента относительно базовых поверхностей установочных элементов приспособления (станка), которое не остается постоянным в течение времени обработки.

Исследование характера взаимосвязей и их изменения во времени дает возможность разработать методику предварительного расчета настроечных размеров и установить время переналадки, при которой изменяются эти взаимосвязи, что, в конечном счете, позволяет сократить затраты времени на обработку и избежать получения бракованных деталей.

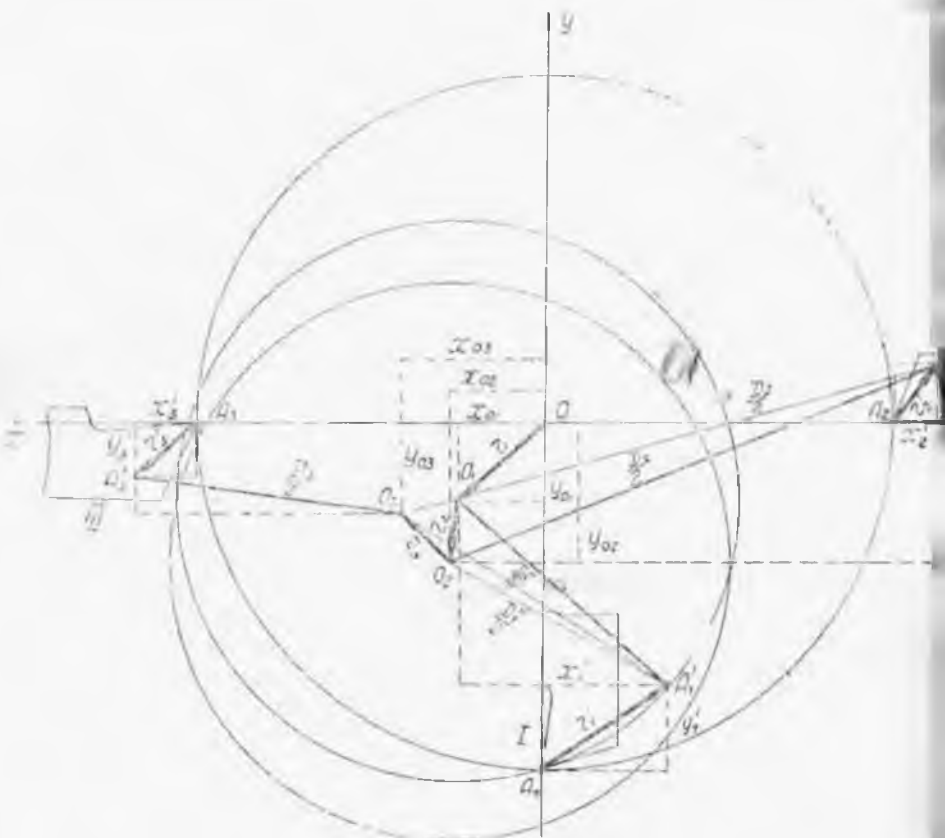
Связь между положением лезвия инструмента и установочными элементами приспособления (станка) зависит от многих факторов — таких, как жесткость системы СПИД, износ инструмента и т. д.

Составляющая суммарной погрешности от усилий резания в связи с податливостью системы СПИД, в большинстве случаев, является наибольшей по величине, определяющей точность обработки.

При обработке детали одним резцом, как известно, наибольшее влияние на точность оказывает радиальная составляющая усилия резания  $P_y$ , действующая в плоскости образования размера. Влияние остальных составляющих усилия резания незначительно и в практических расчетах на точность, в большинстве случаев, ими пренебрегают.

При многорезцовой обработке на токарных полуавтоматах и автоматах, где в работе участвуют одновременно несколько режущих инструментов, работающих в плоскости образования размера картина остается той же. Это положение неприемлемо для многоинструментальной обработки, когда режущие инструменты располагаются в различных плоскостях.

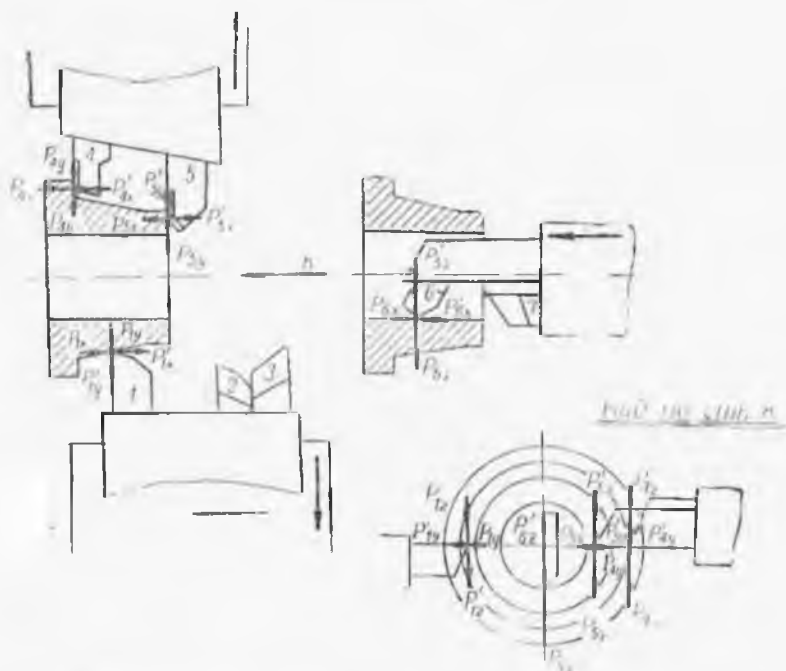
В точностных расчетах, относящихся к случаям положения резцов в нескольких плоскостях, необходимо учитывать влияние равнодействующей от системы сил  $P_y$  и  $P_z$ . Равнодействующая системы указанных сил  $R$ , возникающая в рассматриваемом случае (фиг. 1) от составляющих в двух плоскостях, вызывает упругие перемещения элементов системы СПИД в направлении ее действия.



Фиг. 1. Схема изменения настроечного размера за счет перемещений элементов системы СПИД.

Рассмотрим характер образования размеров на конкретном примере многоинструментальной обработки на одношпиндельном

полуавтоматах МР-5 с учетом последовательности работы резцов, установленных на трех суппортах, перемещающихся в двух взаимноперпендикулярных плоскостях (фиг. 2). При этом перемещения



Фиг. 2. Схема расположения резцов токарного полуавтомата МР-5.

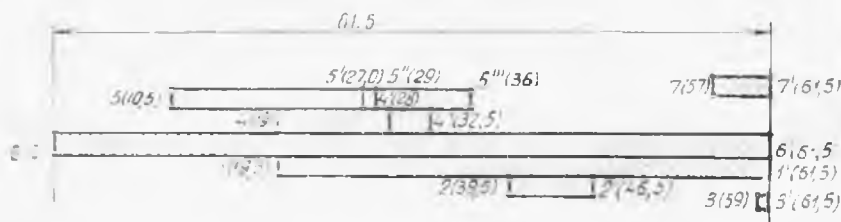
всей системы представим в виде двух составляющих: перемещения, связанные с изменением положения изделия; перемещения, определяющие положение режущего инструмента.

На основании исследований установлено, что положение достаточно жестких деталей в процессе обработки зависит, в основном, от жесткости шпиндельного узла, а изменение положения режущей кромки резца при его малых вылетах определяется только жесткостью суппорта. Вследствие этого при неравномерном припуске на обработку и колебаниях твердости обрабатываемого материала нельзя получить правильную форму и постоянный размер по давлению поверхности.

При многорезцовой обработке равнодействующая усилия резания непостоянна не только по своей величине, но и по направлению, и его можно рассматривать как вектор на плоскости. Величина и направление последнего зависят от количества одновременно работающих резцов и последовательности их работы во времени.

В рассматриваемой операции резец *б* находится в работе в те-

чение всей операции, остальные режущие инструменты вступают в работу и выходят из рабочего положения поочередно в разное время. При этом выдерживается последовательность работы резцов, указанная в циклограмме (фиг. 3).



Фиг. 3. Циклограмма работы полуавтомата МР-5.

5(10,5) начало работы резца; 5'(27) конец работы резца и начало холостого хода; 5''(29) конец холостого хода и начало обратного хода для зачистки; 5'''(36) конец обратного хода.

Вступление каждого очередного резца в работу вносит дополнительные перемещения в систему СПИД, а следовательно и погрешность на обрабатываемую поверхность.

В дальнейших расчетах в качестве предпосылки примем, что расстояние  $OA_1$  между вершиной резца и осью детали, соответствующее его исходному положению, определяет настроечный размер (до начала обработки). В начале обработки первым вступает в работу расточный резец 1 (фиг. 1). Ось шпинделя  $O$  под действием усилия резания перемещается в положение  $O_1$ , а вершина резца — из точки  $A_1$  в точку  $A_1'$ . Радиус обработаемого отверстия будет соответствовать отрезку  $O_1A_1$ .

При заданном значении диаметрального размера возникает задача определения настроечного размера, для решения которой перемещения взаимосвязанных точек, соответствующих оси шпинделя и вершине резца в начале работы, представим в виде отрезков и разложим их на проекции по осям координат  $xu$  в плоскости, перпендикулярной оси детали.

Из геометрической схемы (фиг. 1) видно, что настроечный размер можно определить по следующей формуле:

$$A_{\text{н.р.}} = OA = \sqrt{\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 - (x_{01} - x_1')^2 + y_{01} + y_1'}, \quad (1)$$

где

$$y_{01} = \frac{R_y}{f_b}, \quad x_{01} = \frac{R_x}{f_r};$$

$$y_1' = \frac{P_y}{f_b}, \quad x_1' = \frac{P_x}{f_r};$$

$y_{01}, y_1'$  — проекции перемещения соответственно оси шпинделя и вершины резца на вертикальную ось координат;

$x_{01}, x_1'$  — тоже, на горизонтальную ось;

$R_y, R_x$  — сумма проекций действующих сил на оси координат.

Силовая схема в процессе работы сохраняется при перемещении суппорта в направлении оси детали до начала работы очередного резца, и настроечный размер при небольшой длине обработки или постоянной жесткости СПИД остается неизменным. При последовательном вступлении резцов в работу ось шпинделя станка перемещается в положения  $O_1$  и  $O_2$ , а вершина ранее работавшего резца остается в том же положении ( $A_1^I$ ), если пренебречь изменением усилий резания, связанных с незначительным колебанием величины припуска.

При этих условиях за счет изменения силовой схемы ранее определенный настроечный размер  $A_1$  н. р. примет другие значения, а именно:

$$A_{\text{н.р.}}^I = OA_1 = \sqrt{\left(\frac{D_1^{II}}{2}\right)^2 - (x_{02} + x_1')^2 + y_1' + y_{02}}. \quad (1a)$$

$$A_{\text{н.р.}}^{III} = OA_1 = \sqrt{\left(\frac{D_1^{III}}{2}\right)^2 - (x_{03} + x_1')^2 + y_1' + y_{03}}. \quad (1b)$$

Аналогично изложенному определяются настроечные размеры для других резцов, соответствующие второму и третьему положениям оси детали и заданным размерам  $D_2$ ;  $D_3$  по формулам:

$$A_{\text{н.р.}}^2 = OA_2 = \sqrt{\left(\frac{D_2}{2}\right)^2 - (y_{02} + y_2')^2 - x_{02} - x_2'}. \quad (2)$$

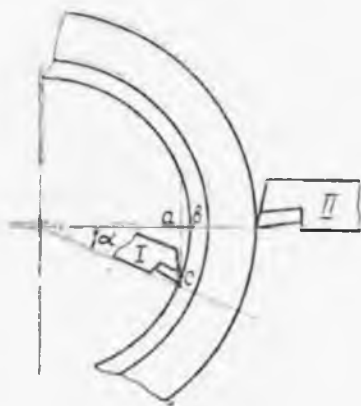
$$A_{\text{н.р.}}^3 = OA_3 = \sqrt{\left(\frac{D_3}{2}\right)^2 - (y_{03} - y_3')^2 + x_{03} - x_3'}. \quad (3)$$

Для удобства анализа реальных силовых схем текущее время рабочих ходов цикла полуавтомата (автомата) можно отнести к продольному перемещению одного из резцов, работающего непрерывно. Последовательность вступления в работу режущих инструментов для рассматриваемого примера дана на (фиг. 3) с необходимыми пояснениями.

Для иллюстрации характера непрерывного изменения диаметра внутреннего отверстия при последовательной работе резцов настроечные размеры просчитывались через каждые 0,5 мм длины детали на конкретном примере обработки кольца подшипника, с учетом фактических величин припусков при постоянной жесткости системы СПИД.

На основе расчетных данных построена профилограмма формы внутренней поверхности кольца роликоподшипника (фиг. 6-I), которая достаточно близко согласуется с экспериментальной, полученной при обработке серийных деталей (фиг. 5). На основании аналогичного анализа изменения размеров в направлении, перпендикулярном плоскости образования размера, установлено незначительное влияние усилий резания (фиг. 6-III) на профиль обрабатываемой цилиндрической поверхности.

Следовательно, с достаточной степенью точности можно производить точностные расчеты на основе анализа силовых схем, учи-



Фиг. 1. Схема для определения угла поворота суппорта.

- I. Резец расточного суппорта.  
II. Резец поперечного суппорта.

тывая только составляющие сил резания, действующих в плоскости образования размера. Полученные результаты, относящиеся к полуавтомату МР-5, позволяют решать задачу рационального взаимного расположения его суппортов, обеспечивающего минимальное влияние последовательности их работы на точность. Из всех рассмотренных вариантов наиболее рациональным оказалось расположение резцов всех трех суппортов в одной плоскости. В этом случае происходит взаимная компенсация влияния их на точность обрабатываемого изделия (фиг. 6-IV).

В рассматриваемых токарных автоматах и полуавтоматах конструкция станка не позволяет установить полный комплект режущего инструмента

в горизонтальную плоскость ввиду того, что после обработки расточной суппорт, а с ним резцы, как правило, отходят от обрабатываемой поверхности в вертикальном направлении на величину 0,5 мм. Отход предусмотрен в конце обработки отверстия, чтобы при движении в исходное положение режущего инструмента, последний не портил обработанную поверхность.



Фиг. 5. Профилограмма образующей внутренней цилиндрической поверхности после обработки.

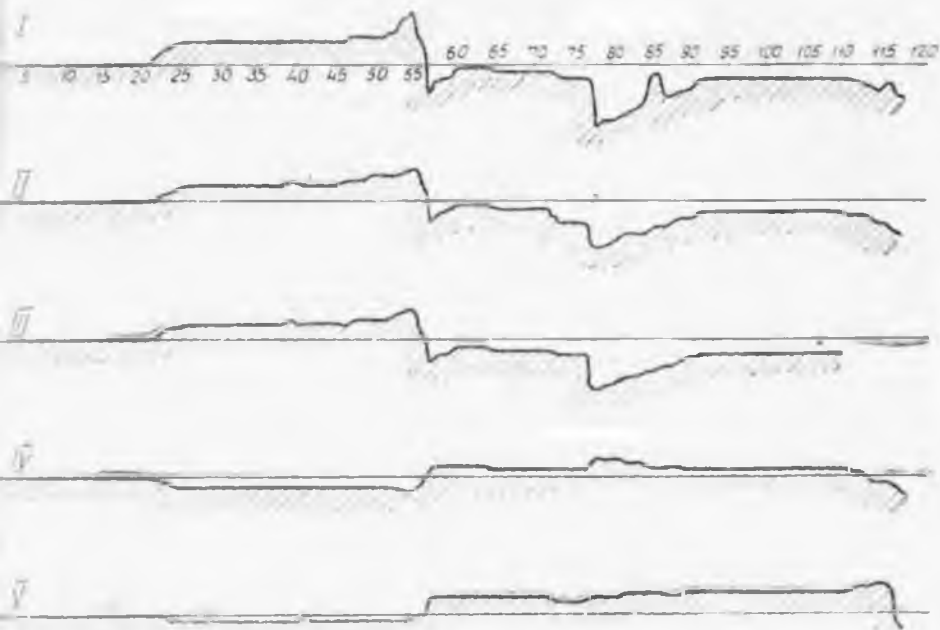
Конструктивное решение механизма отскока таково, что повернуть расточной суппорт в горизонтальную плоскость невозможно. Исходя из необходимой величины отскока, можно определить угол установки суппорта относительно горизонтальной плоскости в направлении заднего суппорта.

Как видно из фиг. 4,  $\alpha = \arcsin \frac{2ac}{D}$ .

Принимая  $ac = 0,5$  мм, получим:  $\alpha = \arcsin \frac{1}{D}$ ,

где  $ac$  — величина отскока по вертикали;

$D$  — диаметр обрабатываемого отверстия, мм.



Фиг. 6. Расчетная профилограмма образующей внутренней цилиндрической поверхности кольца.

I.  $r_3 = r_1$  при  $j_{ш} = j_c = 1500$  кг/мм; II.  $2r_1 = r_3$  при  $j_{ш} = 2j_c = 2000$  кг/мм; III. не учитываются силы  $P_y$  при  $j_{ш} = 2j_c = 2000$  кг/мм; IV. расточной резец в плоскости переднего и заднего суппортов, режущая кромка реза у заднего суппорта;  $j_{ш} = 2000$  кг/мм;  $j_c = 1000$  кг/мм; V. расточной резец повернут на  $15^\circ 30'$  от положения предыдущего варианта.

Профилограмма, показанная на фиг. 6—V, получена при наиболее выгодном, конструктивно допустимом положении суппортов. Указанное расположение суппортов позволяет с практически приемлемой точностью взаимно компенсировать перемещения системы от действия составляющих усилий  $P_z$ .

В качестве настроечного размера при многоинструментальной обработке следует принимать один из ряда настроечных размеров, соответствующих реальным силовым схемам, который обеспечивает получение заданного размера, примыкающего к необходимой границе поля допуска (для внутреннего диаметра — к максимально заданному размеру).

## ВЫВОДЫ

1. При многоинструментальной токарной обработке цилиндрических поверхностей с нескольких суппортов, расположенных в разных плоскостях, наибольшее влияние на настроечный размер ока-

зывает отклонение положения оси детали, связанное с изменением силовой схемы, действующей на систему станок — приспособление — деталь.

Это изменение происходит в моменты последовательного вступления в работу или выхода инструментов в связи с циклограммой работы автоматического токарного оборудования.

2. В работе показано, что для диаметральных размеров наибольшее влияние на величину погрешностей, связанных с подачей системы, оказывают усилия, действующие в плоскости образования этих размеров. Из этого следуют практические выводы о целесообразных конструктивных схемах расположения отдельных суппортов.

---