

где \bar{y}_i , y_i — измеренная и сглаженная ошибки профиля;

x_i — величина сглаживания ошибки профиля в точке i .

Как показал опыт работы станка модели 3192ФЗ, компенсация ошибок обработки путем отработки корректирующих поправок в выбранных контрольных точках [3] приводит к появлению огранки шлифованной поверхности в связи со ступенчатым характером скорректированной траектории движения инструмента. Для исключения огранки использовали новый способ компенсации погрешностей обработки. Его сущность состоит в том, что в интервале между двумя соседними контрольными точками дополнительное корректирующее движение шлифовального круга осуществлялось по траектории в виде трех сопряженных дуг окружностей. Радиус и центр крайних дуг совмещали с радиусом и центром кривизны сглаженной функции коррекции, а радиус и центр средней дуги выбирали из условия гладкого сопряжения с крайними дугами. Полученная таким образом кусочно-круговая функция точно повторяет форму точечной функции коррекции и позволяет в 10—20 раз уменьшить число круговых участков по сравнению с числом контрольных точек без потери информации о циклической ошибке. Тем самым обеспечили гладкость профиля, отсутствие огранки и волнистости, а также возможность хранения информации о коррекции в памяти устройства ЧПУ на базе микро-ЭВМ и многократного использования при обработке однотипных изделий. Для снижения затрат на контроль и программирование обработки кулачков с точностью 6—8 мкм предусмотрена также аттестация кинематических ошибок привода станка с последующей кусочно-круговой аппроксимацией описанным методом и программной коррекцией по каждой координате.

Программная коррекция ошибок шлифования осуществлялась при изготовлении эталонных кулачков, используемых для производства копиров механических шлифовальных автоматов методом обратного копирования. Материал кулачков — сталь ХВГ, НРС 60—65, режим чистового шлифо-

вания: скорость резания $v_k=35$ м/с, частота вращения кулачка 0,1—0,5 об/мин, поперечная подача 0,01—0,02 мм/об с выхаживанием один-два оборота. Скорректированная ошибка профиля 2—4 мкм, циклическая ошибка с шагом 1—10° не превысила 0,5—1,0 мкм, высота микронеровностей вдоль образующей кулачка $R_a=0,02 \div 0,05$ мкм, микронеровностей профиля $R_a=0,1 \div 0,25$ мкм.

Выводы. Применение программной коррекции ошибок позволяет повысить точность профилирования станков с ЧПУ в три-пять раз и исключить необходимость лекальной доводки фасонных деталей высокой точности.

Профильное шлифование с точностью 2—4 мкм и коррекцией циклических ошибок обеспечивается обработкой пробной детали и ее контролем с минимизацией разности диаметров измерительного ролика и шлифовального круга до 2—5%, выбором большого числа контрольных точек (до 720), коррекцией температурных ошибок измерений по данным контроля профиля с большим шагом, сглаживанием функции ошибок пробной детали методом линейного программирования, кусочно-круговой гладкой аппроксимацией и воспроизведением в виде непрерывной функции поправок.

Рассмотренный способ коррекции обеспечивает хорошее совпадение формы точечной функции коррекции с кусочно-круговой функцией, уменьшает число круговых участков функции коррекции до 20—30 без потери информации о циклической ошибке и позволяет хранить информацию о коррекции в памяти устройства ЧПУ на базе микро-ЭВМ для многократного использования в процессе шлифования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луцевич А. В. Конструктивные особенности прецизионного копировально-шлифовального станка с программным управлением модели 3192ФЗ. — В сб. «Оборудование с числовым программным управлением», М., НИИмаш, 1977, вып. № 5.
2. Рейбах Ю. С., Левин А. А. Контурно-шлифовальный полуавтомат мод. МА396ФЗ с ЧПУ. — «Станки и инструмент», 1977, № 7.
3. Авторское свидетельство № 248444, кл. 49в, 5/05, 1966. Бюллетень изобретений, № 22, 1969.

ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 007.52
621.9.067

Трехзвенные пальцевые захваты

Универсальность пальцевых захватов определяется количеством пальцев, их кинематической подвижностью и геометрическими размерами. В работе [1] показано влияние геометрических параметров пальцев на их захватные и операционные возможности*. Ниже рассматриваются захватные возможности трехзвенных двухпальцевых

* И. И. Павленко. Пальцевые захваты промышленных роботов. — Сб. «Оборудование с ЧПУ», М., НИИмаш, 1979, № 3.

захватов (рис. 1) на примерах удержания типовых цилиндрических и плоских деталей. Результаты исследований применимы и к многопальцевым трехзвенным захватам, осуществляющим удержание предметов за счет параллельного сближения пальцев, в том числе шаровидных предметов, так как при этом, как правило, требуется лишь дополнительное сближение крайних пальцев.

Анализ особенностей захвата цилиндрических деталей выполнен графическим методом, основан-

ным на нахождении максимального радиуса деталей, удерживаемых пальцами с различными геометрическими размерами. На рис. 2, а приведена зависимость величины радиуса захвата

$$K_R = R/L = R/l_1 + l_2 + l_3$$

от отношения длин двух последних звеньев пальцев $m = l_3/l_2$, где R — радиус захватываемой детали; L — длина пальца; l_1, l_2, l_3 — длина первого, второго и третьего звеньев пальца.

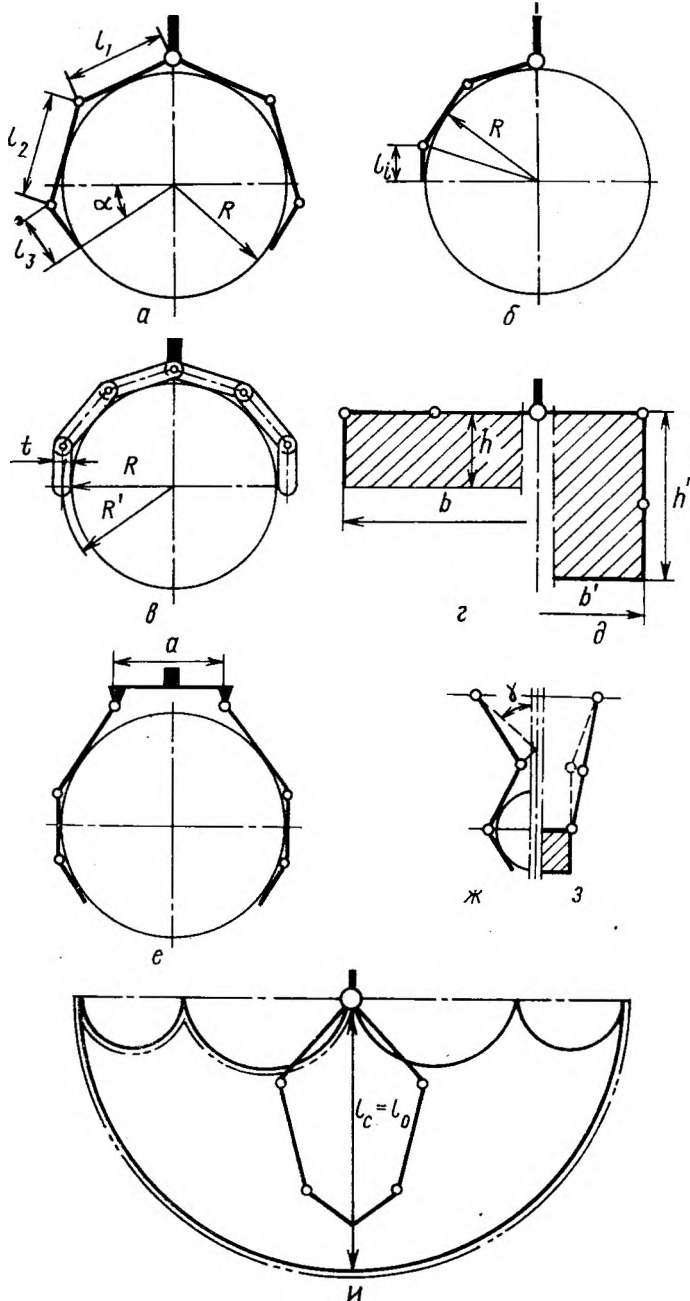


Рис. 1. Схемы трехзвенных двухпальцевых захватов

Из графиков следует, что максимальный радиус захвата получен при $m=0,5$. Это в особенности существенно, когда длина первого звена пальца ($P=l_1/L$) близка к оптимальной. Зависимость K_R от P (рис. 2, б) показывает, что наибольший размер удерживаемых деталей будет при

$P=0,4$, т. е. когда длина первого звена составляет 40% общей длины пальца. При оптимальном отношении $m=0,5$ длина второго звена пальца также должна составлять 40%, а третьего звена —

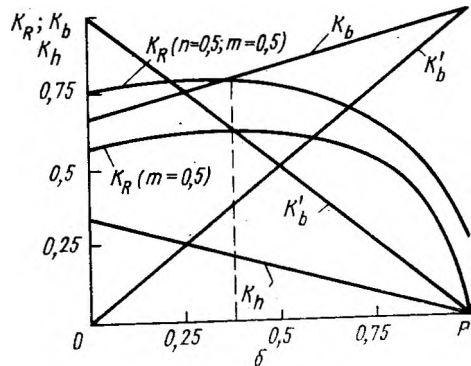
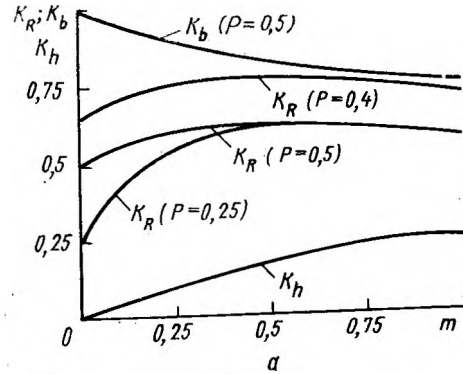


Рис. 2. Графики зависимостей K_R, K_b и K_h от отношения m длин звеньев пальцев (а) и $P=l_1/L$ (б)

20% от L . Это говорит о том, что захват деталей вращения можно рассматривать как процесс вписывания их окружности в многоугольник. Наибольший радиус вписываемой окружности (захватываемой детали) будет при правильном многоугольнике, т. е. если длина последнего подвижного звена пальца будет в два раза меньше длины всех предшествующих звеньев. Следовательно, при заданном радиусе захватываемой детали R длина этого звена (l_i) будет равна:

$$l_i = R \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{2Z-1},$$

где Z — число подвижных звеньев пальца.

Зная отношение между длинами остальных звеньев, можно найти общую длину пальца.

Приведенная формула позволяет рассчитывать пальцевые захваты с любым числом подвижных звеньев (см. таблицу).

Повышение наибольшего радиуса захвата (K_R), характеризуемого коэффициентом φ_R , показывает, что увеличение Z не существенно влияет на величину радиуса захвата при использовании многозвенных пальцев (больше трех).

При выполнении практических расчетов в приведенной формуле необходимо учитывать толщину (t) звеньев пальцев (см. рис. 1, в):

$$l_i = R' \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{2Z-1} = \left(R + \frac{t}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{2Z-1},$$

Z	K_R	Φ_R	K_b	Φ_b
2	0,5773	—	0,6666	—
3	0,6155	1,066	0,8	1,2
4	0,6626	1,017	0,857	1,071
5	0,6302	1,0067	0,8888	1,037

где R' — условный радиус захвата, равный сумме действительного радиуса захвата и половины толщины пальца.

Приведенные результаты получены при угле захвата $\alpha=0$ (см. рис. 1, а), когда детали максимальных размеров удерживаются за счет сил трения. Увеличение α ведет к уменьшению радиуса захвата. При постоянном значении α максимальный размер удерживаемых деталей имеет место примерно при тех же соотношениях длин звеньев пальцев.

Захват трехзвенными пальцами плоских деталей возможен двумя способами. При первом способе (см. рис. 1, з) ширина захвата определяется длиной первого и второго звеньев пальцев: $b=2(l_1+l_2)$, а высота — длиной третьего звена $h=l_3$.

Коэффициенты ширины и высоты захвата для этой схемы соответственно составят:

$$K_b = \frac{b}{2L} = \frac{1+Pm}{1+m},$$

$$K_h = \frac{h}{L} = \frac{m-Pm}{1+m}.$$

При втором способе (см. рис. 1, д) ширина захвата зависит только от длины первого звена ($b'=2l_1$), а высота — от длины второго и третьего звеньев ($h'=l_2+l_3$). Коэффициенты захвата для этой схемы см. (рис. 2, б)

$$K'_b = \frac{b'}{2L} = P;$$

$$K'_h = \frac{h'}{L} = 1 - P.$$

Увеличение отношения m (см. рис. 2, а) ведет к уменьшению ширины и увеличению высоты захвата. Достаточно приемлемым следует считать отношение $m=0,5$, когда сохраняются примерно одинаковые захватные возможности пальцев по ширине и высоте захвата. Исходя из конкретного целевого назначения, величина коэффициента m может незначительно отклоняться от 0,5 в меньшую и большую сторону, что не приводит, однако, к заметному снижению K_R , но позволяет улучшить другие характеристики захвата.

Увеличение коэффициента P ведет к линейному повышению ширины захвата по первой и второй схемам и к такому же уменьшению высоты захвата. Равные возможности захвата по ширине

и высоте будут при $P=0,5$. Таким образом, длина первого звена пальца может колебаться от 40 до 50% от общей длины пальца, обеспечивая при этом высокие показатели захвата цилиндрических и плоских деталей.

Ширина захвата Φ_b увеличивается только при переходе от двух до трехзвенных пальцев. Дальнейшее увеличение количества звеньев практически не влияет на ширину захвата.

Влияние расстояния между опорными осями пальцев (см. рис. 1, е) на их захватные возможности показано на рис. 2, 3. На рис. 2, а приведена зависимость радиуса захватываемой детали от m при $n=a/L=0,5$ и $P=0,4$. Из графика видно, что и в этих случаях отношение длин звеньев пальца l_3/l_2 необходимо принимать близким к 0,5.

Подобный вывод получен при выборе коэффициента P (см. рис. 2, б), который также должен быть близким к 0,4 при различных n .

Ширина захвата плоских деталей при несовпадающих опорных осях пальцев по первой и второй схемам соответственно определяется:

$$K_b = \frac{1+Pm}{1+m} + 0,5n;$$

$$K'_b = P + 0,5n.$$

Высота захвата оценивается так же, как и при $n=0$.

Из этих равенств следует, что зависимость K_b и K_h , как K'_b и K'_h , от m и P имеет тот же вид, что и для пальцев с совпадающими опорными осями. Таким образом, приведенные выше рекомендации по выбору оптимальных соотношений между длинами звеньев пальцев приемлемы и для этих схем.

Увеличение общего расстояния между опорными осями пальцев (n) ведет к увеличению захватных возможностей цилиндрических и плоских деталей (рис. 3) при $P=0,4$; $m=0,5$. Нахождение

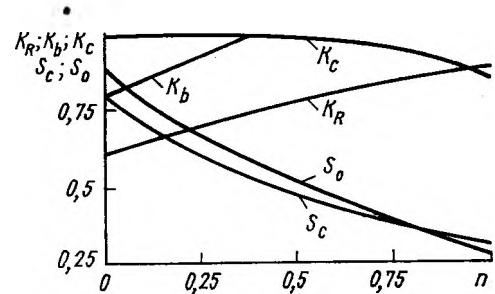


Рис. 3. Графики зависимостей K_R , K_b , K_c и S_c , S_o от n

максимального радиуса захвата выполнено при условии, что поверхность детали не должна выходить за линию, соединяющую опорные оси пальцев. Для обеспечения фиксированного зажима деталей, диаметр которых меньше расстояния между опорными осями, необходим поворот второго звена относительно первого в обратную сторону (см. рис. 1, ж). При $R=0$ величина этого угла равна:

$$\sin \gamma = \frac{a}{2l_1}.$$

Захват плоских деталей, ширина которых $b < a$ (см. рис. 1, з), возможен как за счет поворота второго звена относительно первого, так и третьего относительно второго. Возможность поворота в обратную сторону второго звена относительно первого обеспечит удержание цилиндрических и плоских деталей.

Отсутствие поворотов звеньев в обратную сторону, а также невозможность изменения расстояния между опорными осями приводит к появлению зоны нефиксированного зажима деталей, значительно снижающей захватные и другие показатели пальцев.

Операционные возможности захватов в основном определяются пространственными перемещениями и переориентированием предметов с помощью пальцев. Для выполнения этих движений требуются совместное или относительное, линейное или угловое перемещения пальцев. Основными показателями, оценивающими такие движения, выраженными в относительных единицах, являются условные средние величины совместных ($S_c = F_c/F$) и относительных ($S_o = F_o/F$) перемещений пальцев; наибольшие величины совместных ($K_c = l_c/L$) и относительных ($K_o = l_o/L$) перемещений пальцев; величины углов совместного ($K_\phi = \phi_c/\phi$) качания концов пальцев.

Для трехзвенного пальцевого захвата (см. рис. 1, и; $n=0$, $P=0,4$ и $m=0,5$) зона, в пределах которой могут совместно перемещаться концы пальцев (F_c), отмечена жирной линией. Зона, в пределах которой один палец может перемещаться относительно другого (F_o), выделена двойным штрихпунктиром. Площадь этих зон, а также величина полной зоны (F), в пределах которой перемещаются пальцы, показаны при повороте звеньев захвата на 180° . Наибольшие величины совместного перемещения концов пальцев (l_c) и одного пальца относительно другого (l_o) равны между собой. Условная средняя и наибольшая величины совместного перемещения пальцев определялись при радиальном движении их концов к середине расстояния между опорными осями без захода звеньев пальцев за линию (траекторию) их перемещения.

Для захватов с совпадающими опорными осями пальцев оптимальное значение m (рис. 4, а; при $P=0,4$) находится в пределах $0,5-0,75$. С увеличением расстояния между опорными осями ($n=0,5$) оптимальное значение m незначительно увеличивается. Величина совместного качания концов пальцев (K_ϕ) при наиболее выпрямленном их положении изменяется аналогично. Наибольшие перемещения пальцев (K_c ; K_o) при $n=0,5$ близки единице.

Изменение рассматриваемых показателей от относительной длины первого звена пальца P при

$m=0,5$ и $n=0,5$ показано на рис. 4, б. Из графиков видно, что наибольшие операционные и за-

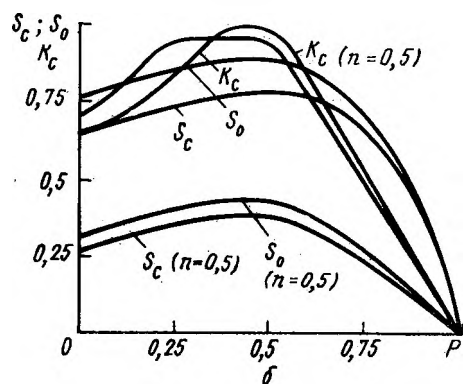
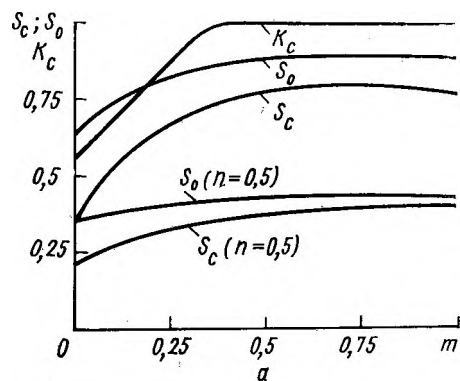


Рис. 4. Графики зависимостей S_c , S_o и K_c от m (а) и P (б)

хватные возможности пальцев имеют место при $P=0,4 \div 0,5$. Эти рекомендации приемлемы для захватов с совпадающими и несовпадающими опорными осями.

Общее увеличение расстояния между опорными осями ведет к снижению основных операционных возможностей захвата (см. рис. 3; при $P=0,4$ и $m=0,5$). Интенсивность этого снижения выше, чем интенсивность увеличения захватных возможностей пальцев от n . Это снижение будет еще резче, если S_c и S_o рассматривать не в сравнении с захватом с совпадающими опорными осями (как это приведено на графике), а при конкретных значениях n .

Таким образом, результаты исследований позволяют выбирать оптимальные геометрические параметры пальцевых захватов в зависимости от их назначения и особенностей конструктивного исполнения. Для универсальных захватов целесообразно применять $P=0,4 \div 0,5$; $m=0,5 \div 0,75$; $n=0,5 \div 0,75$.