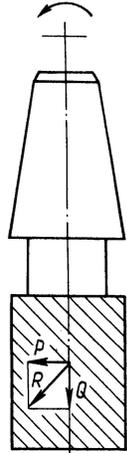


Рис. 1. Схема сил, действующих на винтовые зубья концевой фрезы с левым направлением канавок:

P — сила сопротивления резанию; Q — осевая сила; R — равнодействующая сила



тальную оправку из шпинделя (рис. 1). Применяется также замковое устройство с шариком, в котором осевая составляющая силы резания воспринимается пакетом пружин, являющихся элементом сравнительно невысокой жесткости.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время конструкции шпиндельных узлов с автоматической сменой инструмента или не могут обеспечить высокую жесткость закрепления инструмента, или недостаточно долговечны, или сложны по конструкции и поэтому не находят широкого применения.

На основании изученного материала установлено, что конструкция замкового устройства для крепления инструмента к шпинделю должна обеспечивать компенсацию износа поверхностей контактирующих элементов (воспринимающих рабочие усилия). Кроме того, для снижения контактных напряжений площадка контакта должна быть достаточно большой.

УДК (007.52:62-8).001.2

О.В.КАРАНЧУК, Е.С.ЯЦУРА,
канд. техн. наук (БПИ)

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ РУКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

Наиболее часто разрабатываемым и применяемым узлом в робототехнике является рука, неизменная часть любого промышленного робота (ПР) и автоматического манипулятора (АМ). Рука представляет собой чаще всего шток пневмо- или гидроцилиндра, выдвигающийся под действием рабочей среды в горизонтальной плоскости и несущий на своем конце захватный орган (схват).

Основными параметрами руки манипулятора, определяющими ее качество и эффективность применения, являются погрешность позиционирования Δx , скорость перемещения схвата v и грузоподъемность m при определенных габаритах L и собственной массе M руки. Обеспечение оптимальных значений этих параметров усложняется спецификой конструкции АМ, отличающейся недостаточной жесткостью звеньев механизма, их разомкнутостью, относительно большими ускорениями, возникающими при функционировании АМ, и т. д.

Перечисленные параметры связаны между собой функционально, причем в качестве независимых величин могут выступать любые из них. Рассмотрим, например, влияние грузоподъемности на остальные параметры руки АМ.

Зависимость погрешности позиционирования от грузоподъемности показана на рис. 1.

Скорость перемещения исполнительного органа связана следующей зависимостью с грузоподъемностью и другими параметрами руки:

$$v = \frac{1,4 \sqrt[4]{L \sqrt{\Delta x}}}{\sqrt[3]{m}} \quad (1)$$

Кривые, приведенные на рис. 1, отражают суммарное влияние перемещаемой массы на погрешность позиционирования и скорость. Однако известно,

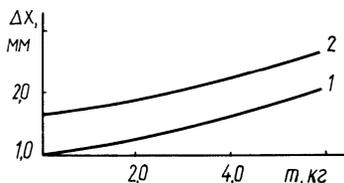


Рис. 1. График зависимости погрешности позиционирования исполнительного органа АМ Δx от переносимой массы m :
1 — $v = 0,5$ м/с; 2 — $v = 0,8$ м/с

что при движении с ускорением перемещаемой массы на поршень действуют составляющие инерции $F_{и}$ и трения $F_{тр}$ возникающей при этом силы F :

$$F = F_{и} + F_{тр}; \quad (2)$$

$$F_{и} = ma = \frac{mV}{t_{т-р}}; \quad (3)$$

$$F_{тр} = fmg \frac{L_0 + L_x}{L_0 - L_x} \cos \alpha, \quad (4)$$

где a — ускорение торможения или разгона; $t_{т-р}$ — время торможения или разгона; f — коэффициент трения между подвижными и неподвижными элементами руки; g — ускорение свободного падения; L_0 — расстояние между крышкой цилиндра и перемещаемым грузом; L_x — величина перемещения груза (ход); $L_0 - L_x$ — расстояние между крышкой цилиндра и поршнем (база).

Следовательно, при анализе влияния переносимой массы на точностные и динамические параметры руки АМ следует рассматривать ее действие через составляющие $F_{и}$ и $F_{тр}$. Уменьшая значение этих составляющих, можно достичь улучшения параметров руки АМ. Рассмотрим пути уменьшения $F_{и}$ и $F_{тр}$.

Из уравнений (2, 3, 4) видим, что это возможно либо за счет уменьшения a в (3), либо за счет уменьшения f , $L_0 + L_x$ или увеличения $L_0 - L_x$ в (4). Уменьшение a приводит к снижению быстродействия АМ и, следовательно, к снижению производительности основного технологического оборудования. Уменьшение f достигается за счет использования специальных материалов в парах трения или применения пар качения, что усложняет конструкцию АМ. Увеличение $L_0 - L_x$ (базы цилиндра) нежелательно из-за возрастания его габаритов.

Наиболее рациональным является уменьшение $L_0 + L_x$ путем применения телескопической руки АМ. На рис. 2,а показана одноступенчатая, а на рис. 2,в — двухступенчатая телескопическая рука АМ. Некоторое усложнение конструкции вполне компенсируется значительным уменьшением $F_{тр}$ (примерно в два раза при двухступенчатом телескопическом цилиндре).

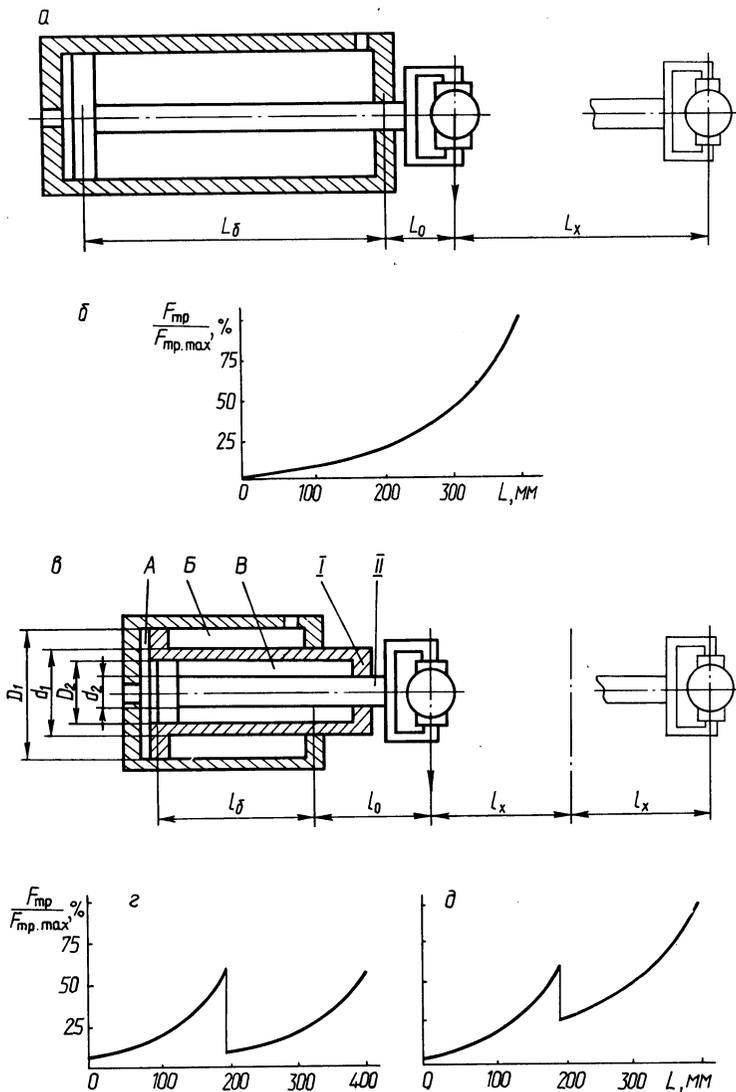


Рис. 2. Графики зависимости силы трения в подвижных соединениях исполнительного органа АМ от величины его выдвигания: а — схема одноступенчатого цилиндра; б — график зависимости силы трения от величины выдвигания для одноступенчатого цилиндра; в — схема двухступенчатого телескопического цилиндра; г — график зависимости силы трения от величины выдвигания для двухступенчатого телескопического цилиндра при выдвигании первой, а затем второй ступеней; д — график зависимости силы трения от величины выдвигания для двухступенчатого телескопического цилиндра при выдвигании второй, а затем первой ступеней

Изменение радиальной нагрузки в паре поршень — цилиндр при перемещении поршня показано на рис. 2,б; 2,г; 2,д, откуда видно, что наименьшие максимальные нагрузки в паре поршень — цилиндр возникают при применении в качестве рук манипуляторов цилиндров телескопического типа и обеспечения определенной последовательности выдвижения и втягивания ступеней цилиндра (выдвигается сначала первая ступень, затем вторая, а втягиваются — наоборот).

Необходимая последовательность выдвижения — втягивания ступеней цилиндра обеспечивается соответствующим соотношением диаметров цилиндров, выбираемых из следующих соображений.

При подаче давления p в полость А (рис. 2,в) воздух из полостей Б и В через дросселирующее устройство (в простейшем случае через воздухопровод) выдавливается под давлением p_1 и p_2 , которые равны соответственно

$$p_1 = p \frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 - d_1^2}; \quad p_2 = p \frac{D_2^2}{D_2^2 - d_2^2}. \quad (5)$$

Для того чтобы вначале выдвигалась ступень I, необходимо выполнить условие

$$p_2 > p_1. \quad (6)$$

В этом случае при некотором давлении p в полости А воздух первоначально выходит из полости Б, так как там он находится под большим давлением, чем в полости В, и, следовательно, вначале выдвигается ступень I.

Из зависимостей (5) и (6) найдем, что условием первоочередности выдвижения ступени I является:

$$\frac{D_1^2 - D_2^2}{D_1^2 - d_1^2} > \frac{D_2^2}{D_2^2 - d_2^2}. \quad (7)$$

При подаче давления p в полости Б и В (в полости А при этом возникает противодействие p') на поршни ступеней I и II действуют следующие силы:

$$F_1 = (D_1^2 - d_1^2) p - (D_1^2 - D_2^2) p'; \quad (8)$$

$$F_2 = (D_2^2 - d_2^2) p - D_2^2 p'.$$

Для того чтобы первой втягивалась ступень II, необходимо

$$F_2 > F_1. \quad (9)$$

Учитывая, что $p' < p$, из условий (7) и (8) получим:

$$d_1^2 - D_2^2 > d_2^2. \quad (10)$$

Таким образом, соблюдение условий (7) и (10) позволяет обеспечить необходимую очередность выдвижения ступеней телескопического цилиндра, что приводит к значительному уменьшению нагрузки в трущихся парах.

Погрешность позиционирования в значительной мере зависит от жесткости ПР. Поэтому рассмотрим изменение жесткости руки ПР при применении телескопической конструкции.

Изменения жесткости, связанные с прогибами штока под нагрузкой, аналогичны для телескопического и одноступенчатого цилиндров. Рассмотрим изменение жесткости, связанное с наличием зазоров в подвижных соединениях.

Из рис. 3,а определим отклонение конца штока от среднего положения в выдвинутом состоянии:

$$H = \delta \frac{L_x}{L_6}, \quad (11)$$

где δ — зазор в подвижных соединениях.

В случае телескопической конструкции (рис. 3,б) аналогичная величина будет равна

$$h = \delta \frac{l_x}{l_6} + \delta \frac{2l_x}{l_6} = 3l_x \delta / l_6. \quad (12)$$

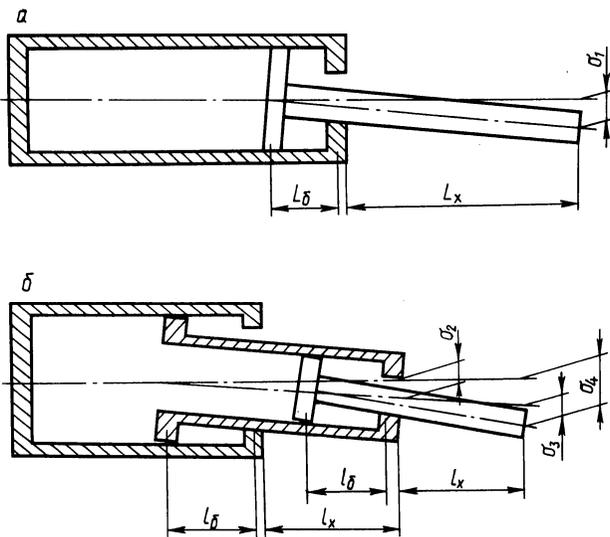


Рис. 3. Схема зазоров в исполнительном органе АМ:
а — одноступенчатый цилиндр; б — двухступенчатый телескопический цилиндр

Для сохранения жесткости телескопического цилиндра, равной жесткости одноступенчатого, примем $h = H$. Тогда, при условии, что $L_x = 2l_x$, получим:

$$l_6 = \frac{3}{2} L_6. \quad (13)$$

Следовательно, для получения жесткости двухступенчатого телескопического цилиндра, равной жесткости одноступенчатого цилиндра, необходимо выполнить условие (13).

Величина базы рук АМ в среднем в 5 раз меньше величины их хода, поэтому увеличение l_6 в 1,5 раза оказывает незначительное влияние на габарит руки при уменьшении l_x в 2 раза.

Таким образом, применение телескопических цилиндров в качестве горизонтально расположенных исполнительных органов манипуляторов позволяет уменьшить их габариты в 1,5...1,7 раз, или, при тех же габаритах, улучшить такие параметры, как грузоподъемность, скорость перемещения и т. д.