

УДК 658.012.2

УЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДЛИННЫХ НЕЖЁСТКИХ СТЕРЖНЕЙ

Горовой К. В., студент гр. РТм-181, I курс, Курышкин Н. П., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачёва
г. Кемерово

С расширением области применения промышленных роботов актуальной стала проблема манипулирования нежёсткими (неустойчивыми) стержнями, соотношение длины которых к их диаметру больше пятидесяти, а их длина составляет около трёх метров. К таким изделиям относятся тонкие штанги бурового става машин для бурения шпуров, различной конструкции анкеры, применяемые в горном деле [1, 2]. В атомной энергетике – тепловыделяющие элементы (ТВЭЛ), являющиеся основными функциональными компонентами ядерных реакторов [3].

Особенность вышеназванных конструкций заключается в том, что в рабочем положении они находятся в растянутом (анкеры), либо стесненном (буровые штанги, ТВЭЛ) состоянии. Однако, обладая малой жесткостью, такие детали при их изготовлении и сборке искривляются не только в процессе их обработки, но и после её завершения. Это происходит из-за возникновения в деталях неуравновешенных внутренних напряжений, которые обычно сопровождаются деформацией изделия. Искривление нежестких деталей часто достигает величин, выходящих за допуск на их применение. Из-за этого часто приходится усложнять технологический процесс путём введения дополнительной операции правки. Это удлиняет производственный цикл и увеличивает себестоимость изделия.

Эта же особенность нежёстких стержней проявляется при работе с ними промышленных роботов. Так при роботизированном наполнении тепловыделяющей сборки (ТВС) ТВЭЛами последние ориентируются в горизонтальном положении. При двухточечном базировании в захватном устройстве робота «провисание» концов ТВЭЛов делает сборочную операцию невыполнимой. Использование предложенного авторами четырёхточечного захвата позволило решить данную проблему [4].

Необходимо отметить, что непосредственное проектирование роботизированного технологического комплекса (РТК) начинается с выбора промышленного робота. Рассмотренные выше особенности конструкции объектов манипулирования (нежёстких стержней) должны учитываться при выборе типоразмера робота. Несмотря на малую массу, нежёсткие стержни имеют значительный момент инерции относительно осей, перпендикулярных их

продольным осям. При этом использование четырёхточечного захватного устройства ещё более увеличивает этот момент.

Рабочий процесс робота включает перенос объекта манипулирования, когда будут задействованы переносные степени свободы (оси $J1$, $J2$ и $J3$) (рис.1), и его ориентацию. В последнем случае будут задействованы ориентирующие степени свободы (оси $J4$, $J5$ и $J6$).

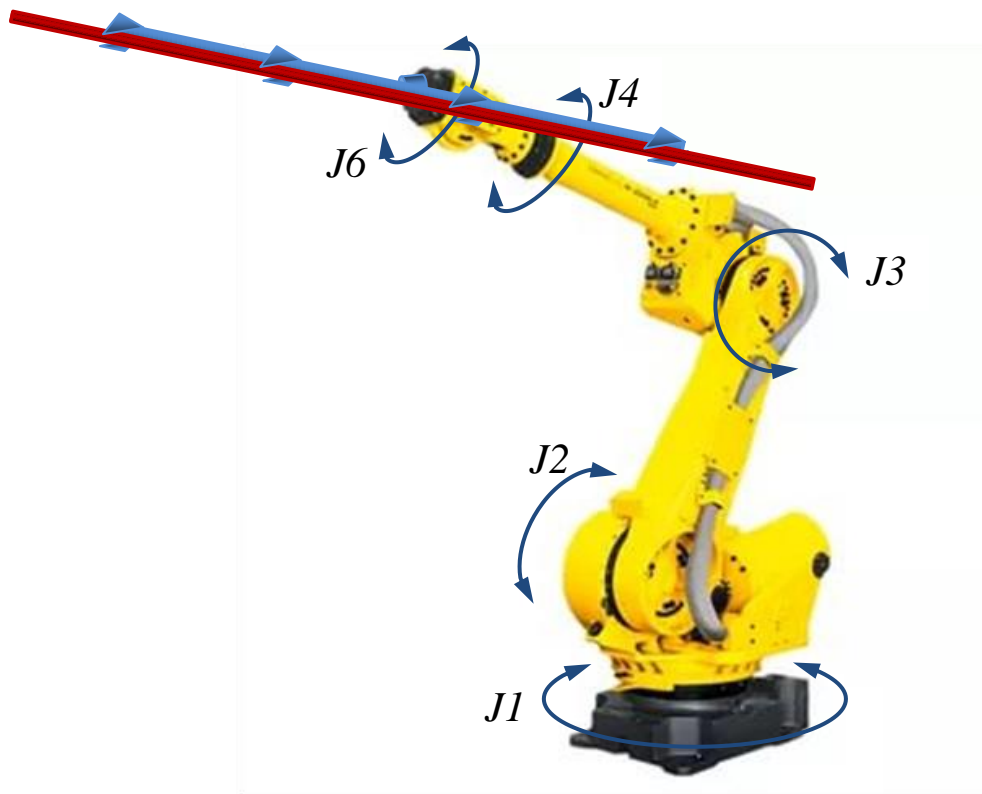


Рис. 1 Промышленный робот *FANUC* с четырёхточечным захватом.

Очевидно, что грузоподъёмность робота определяется мощностью двигателей, установленных на оси $J1$, $J2$ и $J3$. Мощность же двигателей ориентирующих степеней свободы определяется величиной момента сил инерции M , возникающего при вращении объекта манипулирования. Этот момент зависит от величины углового ускорения объекта и его момента инерции J . Поэтому в паспортных данных на роботы японской фирмы *FANUC* приведены предельные значения M и J только для осей ориентирующих степеней свободы ($J4$, $J5$ и $J6$). Следовательно, выбор из типоразмерного ряда конкретного робота, работающего с длинными нежёсткими стержнями, имеющими малую массу, но большой момент инерции, должен осуществляться по критериям:

$$M_i < [M_i]; \quad J_i < [J_i], \quad (1)$$

где $[M_i]$ и $[J_i]$ – допустимые значения момента сил инерции и момента инерции объекта манипулирования для i -ой ориентирующей обобщённой координаты.

С учётом вышеизложенного авторами были выполнены работы по выбору промышленного робота, работающего совместно с автоматической линией по изготовлению фрикционных анкеров в условиях Кемеровского предприятия «ОКС-Трейд». Робот должен снять со стапеля автоматической линии анкер, установить его на позицию сварки упорного кольца и после сварки готовый анкер уложить в тару. За цикл работы анкер в захватном устройстве робота должен два раза повернуться вокруг оси J_6 на 180° (рис. 1).

Масса фрикционного анкера, имеющего трубчатую конструкцию, определялась по данным каталога предприятия [5] по формуле:

$$m = \pi L \rho (D b - b^2), \quad (2)$$

где: L – длина анкера (3 м); ρ – плотность конструкционной стали (7850 кг/м^3); D – наружный диаметр анкера (0,047 м); b – толщина стенки анкера (0,003 м).

После подстановки числовых данных получили: $m = 9,8 \text{ кг}$.

Анализ данных каталога промышленных роботов *FANUC* [6] показал, что с анкерами такой массы могут работать роботы модели *M-10iA/12* грузоподъёмностью 12 кг. Однако расчёт с учётом динамических нагрузок на приводы ориентирующих степеней свободы показал совершенно другой результат.

При вращении анкера вокруг оси, проходящей через его центр масс перпендикулярно основной оси, возникают инерционные нагрузки на приводы осей J_4 и J_6 . Момент этих инерционных нагрузок определялся по формуле:

$$M = J \varepsilon, \quad (3)$$

где J – момент инерции анкера относительно оси, перпендикулярной его основной оси, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; ε – угловое ускорение анкера при его повороте, с^{-2} .

Момент инерции J определялся по формуле для стержня:

$$J = mL^2/12 = 9,8 \cdot 3^2/12 = 7,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (4)$$

Угловое ускорение анкера рассчитывалось приближённо, считая, что первую половину поворота на 180° происходит равномерное увеличение угловой скорости от нуля до ω_{\max} , а во вторую – равномерное замедление до нуля. Считая, что поворот на 180° происходит за 2 секунды, получим:

$$\omega_{\max} = \pi, \text{с}^{-1}. \quad (5)$$

Тогда угловое ускорение анкера:

$$\varepsilon = 2\omega_{\max}/t, \quad (6)$$

где t – время поворота на 180° .

После подстановки числовых данных в формулу (6), получим:

$$\varepsilon = 2 \cdot \pi/2 = \pi, \text{с}^{-2}. \quad (7)$$

Расчёт по формуле (3) даёт результат: $M = 7,35 \cdot 3,14 = 23,08 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Сравнение полученных значений M и J с допустимыми по каталогу [5] показало недопустимость использования робота модели $M-10iA/12$ на операциях изготовления фрикционных анкеров. По этим же параметрам не подходят роботы следующего модельного ряда $M-20$. И только роботы серии $M-710$ грузоподъемностью (45 – 70) кг удовлетворяют условиям работы с фрикционными анкерами (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент каталога промышленных роботов $FANUC$ серии $M-710$

Модель робота	Грузоподъемность, кг	Момент силы $J4$ [Нм] / Момент инерции [кг·м ²]	Момент силы $J5$ [Нм] / Момент инерции [кг·м ²]	Момент силы $J6$ [Нм] / Момент инерции [кг·м ²]
$M-710iC/45M$	45	206/28	206/28	127/20
$M-710iC/50S$	50	206/28	206/28	127/11
$M-710iC/50T$	50	206/28	206/28	127/11
$M-710iC/50H$	50	150/6,3	68/2,5	-
$M-710iC/50$	50	206/28	206/28	127/11
$M-710iC/50E$	50	206/28	176/10,8	98/3,3
$M-710iC/70T$	70	294/28	294/28	147/11
$M-710iC/70$	70	294/28	294/28	147/11

Таким образом, при проектировании роботизированных технологических комплексов ответственным этапом является выбор промышленного робота. В случае поворота изделия в схвате робота необходимо ориентироваться не на грузоподъемность робота, а на инерционные характеристики изделия во вращательном движении.

Список литературы:

1. Мельников, Н. И. Анкерная крепь / Н. И. Мельников. – М.: Недра, 1980. 252 с.
2. Ренёв, А. А. Поиск путей контроля состояния замка анкера в шпуре / А.А Ренёв., С.Г. Костюк, Н.Т. Бедарев и [др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2015, №3. С. 43-47.
3. Матвеев, Л. В. Почти всё о ядерном реакторе [Текст] / Л. В. Матвеев, А. П. Рудик. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 239 с.
4. Горовой, К. В. Нежесткие стержни как объекты манипулирования робототехнических систем / К. В. Горовой, О. В. Любимов // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: Сб. материалов Международной науч.-практ. конф. КузГТУ, 2017. С. 314 – 317.
5. Каталог продукции предприятия «ОКС-Трейд», URL: http://oksib.ru/uploads/downloads/OKS_catalog0718.pdf (дата обращения 12.03.2019).
6. Каталог роботов фирмы $FANUC$, URL: <https://dmliefer.ru/sites/default/files/robot-ru.pdf> (дата обращения 12.03.2019).