

В работе также исследован технологический процесс проходки криволинейных выработок комбайнами с соосными роторами [3, с. 147–183], проведен расчет допустимых нагрузочных режимов на исполнительные органы и определены рекомендуемые рабочие скорости комбайна при проходке криволинейной выработки.

Список использованных источников

1. Кологривко, А. А. Маркшейдерское дело. Подземные горные работы: учеб. пособие / А. А. Кологривко. – Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М, 2011. – 412 с.
2. Казаченко, Г. В. Горные машины. В 2ч. Ч. 2. Машины и комплексы для добычи полезных ископаемых / Г. В. Казаченко, В. Я. Прушак, Г. А. Басалай: под общ. ред. В. Я. Прушака. – Минск, Вышэйшая школа, 2018. – С. 12-35.
3. Казаченко, Г. В. Горные машины: практикум: учебное пособие / Г. В. Казаченко, Г. А. Басалай, Г. И. Лютко. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 200 с.

УДК 62-529.4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ НА БАЗЕ РОБОТОВ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ

Власов Ф. В., Каплюк К. А., Яцкевич О. К.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: mstools@bntu.by, Fedechka.vlasov.2000@tut.by

Summary. Despite the rising popularity of robotic finishing processes and various success stories from the industry, there are still some challenges to overcome to increase acceptance. This study lists questions that require further research to improve.

В последние десятилетия промышленные роботы используются для выполнения широкого круга производственных задач, таких как сварка, сборка, транспортировка, окраска распылением и выполнение вспомогательных операций механической обработки, такие как удаление заусенцев, полировка, шлифование. Однако только 3–4 % от общего числа промышленных роботов используется непосредственно для механической обработки. Основная причина заключается в возникновении вибраций при обработке из-за невысокой жесткости роботов. В связи с появлением новых роботов повышенной жесткости удалось значительно снизить влияние данной проблемы на точность обработки, благодаря чему роботизированные системы становятся эффективнее для применения в большинстве операций механической обработки, а сотрудники механических цехов уверенно заменяют станки роботами для определенных многоосевых фрезерных применений

Роботы имеют ряд технологических преимуществ:

- рыночная стоимость роботов и их эксплуатация ниже, чем станков с ЧПУ;
- большие кинематические возможности в процессе обработки деталей;
- более высокие скорости перемещений;
- большие возможности их переналадки, что делает эффективным применение роботов в многономенклатурном производстве.

Известен также ряд технологических недостатков роботов:

- недостаточная жесткость;
- недостаточная точность позиционирования;
- сложность программирования.

Одна из основных проблем промышленных роботов – точность позиционирования, обусловлена двумя причинами: систематическими и случайными ошибками.

Систематические ошибки. Данную группу погрешностей делят на систематические постоянные и систематические закономерно изменяющиеся. Систематические постоянные погрешности устраняются калибровкой робота. Систематические закономерно изменяющиеся связаны с износом инструмента, а также могут быть связаны с влиянием теплового фактора.

Случайные погрешности. Основные причины возникновения данных погрешностей обусловлены ограниченной жесткостью робота-манипулятора, факторами окружающей среды, ограниченной пропускной способностью контроллера и трением в суставах робота. Силы резания, действующие на выходное звено, могут смещать руку манипулятора, приводя к ошибке положения. Жесткость промышленных роботов-манипуляторов в 50 раз меньше, чем обычных станков с ЧПУ, и из-за сил резания на выходном звене могут возникать вибрации.

Получение высокого качества поверхности детали после обработки и соответствие геометрических размеров требованиям чертежа являются обязательными при механической обработке, а их достижение возможно при высокой точности позиционирования робота и отсутствии отклонений от требуемой траектории движения инструмента. Это достижимо, если силы резания не превышают допустимых значений, приводящих к отклонению траектории робота. Для минимизации сил резания и вибраций при обработке необходимо проводить исследования, которые позволят установить оптимальные технологические режимы для конкретной операции.

Для отслеживания положения в ходе выполнения операции обработки поверхности в промышленных роботах используют устройство контроля силы взаимодействия с деталью для возможности корректировки траектории движения в режиме реального времени на основе полученных данных о силах резания. Такие устройства позволяют обеспечить постоянство усилий при обработке, что дает возможность адаптировать систему к отклонениям между запрограммированной и фактической траекториями на поверхности заготовки и повысить качество обработки.

Среди вариантов для исследования выбрана следующая компоновка роботизированной ячейки: инструмент осевой небольшого диаметра (сверло, фреза) вместе со шпинделем установлен на выходном звене робота, а деталь установлена на толе и закреплена. Данное решение обеспечивает большую гибкость за счет возможности доступа к большему числу поверхностей детали, в том числе внутренних или расположенных под углом к поверхности базирования. В состав роботизированной ячейки входят: промышленный робот, шкаф управления, силомоментный датчик, шпиндель и инструмент, дополнительное оснащение.

Датчики сил и моментов дают роботу тактильное ощущение прикосновения, посылая обратную связь по силе и моменту для контроля положения робота. Датчик силы и момента измеряет шесть составляющих (F_x , F_y , F_z , T_x , T_y и T_z). Сигналы обрабатываются непосредственно датчиком и передаются с помощью различных протоколов обмена данными.

Для анализа данных в исследовании может быть выбран полнофакторный эксперимент (ПФЭ), при проведении которого учитываются наиболее значимые факторы, возникающие в процессе резания (частота вращения шпинделя с инструментом, подача, глубина резания). Выходными параметрами при этом являются составляющие силы резания P_x , P_y , P_z и момент, действующий по оси X (M_x).

Полученная в результате такого эксперимента математическая модель может использоваться при анализе процесса роботизированной отделочной обработки. После проведения полного факторного эксперимента и выбора оптимальных режимов резания для данного материала детали можно обеспечить наименьшие силы резания и вибрации, а значит и качество обработки.

Проводимые по данной методике исследования при позиционно-силовом управлении роботом на основе применения силомоментного датчика могут подтвердить техническую возможность выполнения той или иной операции еще на стадии разработки. Однако для каждой технологической операции необходимо разрабатывать специализированные алгоритмы управления по выбранному критерию, например, критерию удельного съема материала. Создание подобных алгоритмов является основной научной составляющей по данной работе.

Список использованных источников

1. Дударев А. С. Применение промышленных роботов для технологических операций механической обработки деталей машин // Роль и место робототехнических комплексов в силовых структурах Российской Федерации, пути их развития и проблемные вопросы. – 2021. – С. 68–73.
2. Нуркенов А. Х. и др. Экспериментальное исследование жесткости технологической системы на базе промышленного робота KUKA KR 300 R2500 ULTRA // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2022. – Т. 22. – №. 1. – С. 48–58.

УДК 625.75

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВМЕЩЕННЫХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ОТВЕТВЛЕНИЙ ДЛЯ НЕПОЛНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯЗКИ ТИПА «РОМБ»

Гатальская А. В., Шишко Н. И.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: voitexovich99@mail.ru

Summary. Crossings of highways are the most critical link on public roads in the formation of congestion and traffic accidents, therefore, a professional approach to their design is required.

Постоянно увеличивающийся темп автомобилизации, рост транзитного транспортного потока через основные магистрали страны, развитие не только больших городов, но и городов-спутников ведет к необходимости своевременно адаптировать транспортную сеть страны к возрастающим нагрузкам и повышению интенсивности движения на дорогах.

Имеющиеся пересечения и примыкания автомобильных дорог в одном уровне в скором времени могут не справиться с возросшей интенсивностью движения, что приведет к образованию заторов, задержек в движении, транспортным потерям и увеличению аварийности в определенных транспортных узлах. Транспортные узлы в одном уровне имеют относительно низкую пропускную способность и значительные неудобства в движении, в особенности на второстепенных направлениях.

При росте интенсивностей движения для решения вопросов повышения удобства и безопасности дорожного движения необходимы проектные решения по реализации транспортных узлов в разных уровнях. Так для условий пересечения неравнозначных автомобильных дорог со значительно отличающимися интенсивностями движения оптимальным решением может стать применение неполной транспортной развязки по типу «ромб».

Неполная транспортная развязка «ромб» – наиболее простой тип дорожной развязки при пересечении дорог в разных уровнях, когда пересекаются неравнозначные дороги. Проектирование данного типа развязки целесообразно в случае, когда одна из пересекающихся дорог имеет явное преимущество в интенсивности движения или по другим объективным причинам. Такой тип пересечения допускает пересечение транспортных потоков на второстепенной дороге, однако улучшить условия движения в прямом направлении можно за счет проектирования на второстепенной дороге накопительных полос торможения. Длина накопительной полосы торможения нормативно должна обеспечивать необходимое расстояние для снижения скорости вплоть до остановки для пропуска встречного транспортного, а также должна иметь рационально подобранную длину участка ожидания.

Недостатками такого типа транспортной развязки можно назвать снижение скорости транспортного потока, поворачивающего налево со второстепенного направления, а также снижение безопасности движения в местах пересечения транспортных потоков.

Компактность транспортной развязки «Ромб» является весомым аргументом для ее применения, так как сокращается площадь отводимых земель, а соответственно и стоимость строительства.