

В основе этих гибких связей - металлокордные нити, сплетенные по оригинальной технологии. Используется металлокорд, производимый на Белорусском металлургическом заводе.

В робототехнике в принципе можно использовать все известные в механике устройства передачи движения, однако, не все они обеспечивают требуемые эксплуатационные характеристики. Технические условия передачи определяются на основе ряда критериев, характеризующих конкретные условия работы системы передачи движения. Критерии качества передачи в основном связываются с массами или моментами инерции движущихся тел. Движения происходят в большинстве случаев как повороты вокруг осей. При этом требования малых инерционных нагрузок несовместимы с требованиями высокой жесткости. Для получения заданной точности предъявляются высокие требования к зазорам в соединениях (по терминологии теории механизмов - кинематических парах).

Независимо от конструкции роботов в них всегда имеет место передача движения от модуля системы, задающей движение, к механизму, непосредственно реализующему манипуляционные функции всего устройства. Механизм передачи движения, как и любой другой механизм, обладает присущими ему погрешностями (зазоры в соединениях, сухое трение или вязкое сопротивление, гибкость звеньев), которые неблагоприятно сказываются на основных характеристиках робота, накладывают дополнительные ограничения на методы управления механизмами в динамическом режиме, порождают непредсказуемые изменения, увеличивают погрешность, а также ухудшают вибрационную устойчивость конструкции. Все указанные обстоятельства должны приниматься во внимание при разработке совершенных систем приводов роботов.

## **АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ЗУБКОВ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

*Монтик С.В.*

*Брестский политехнический институт*

Основным породоразрушающим инструментом при бурении нефтяных и газовых скважин являются шарошечные долота. Оснащение их твердосплавным вооружением в виде зубков значительно повысило про-

ходку и другие эксплуатационные показатели долот. Однако твердый сплав расходуется нерационально, т. к. большая часть твердосплавного зубка находится в корпусе инструмента и играет роль державки. Разработанный в ГАНГ им. И.М.Губкина (г. Москва) метод электроконтактного механотермического формирования (МТФ) биметаллических изделий позволяет изготавливать комбинированные зубки (КЗ), состоящие из твердосплавной рабочей головки и стального основания, что сокращает расход твердого сплава.

Автором была предложена технология МТФ КЗ сложной формы, при которой происходит спекание под давлением порошка твердого сплава и его соединение со сталью за счет пропускания электрического тока через графитовую пресс-форму. Данные КЗ предназначены для работы в условиях высоких ударных нагрузок и абразивного изнашивания.

Разные коэффициенты линейного расширения твердого сплава и стали вызывают возникновение остаточных термических напряжений I рода в КЗ после охлаждения. Величина и распределение остаточных напряжений оказывают существенное влияние на зарождение и развитие трещин в твердом сплаве, что в свою очередь определяет долговечность КЗ при ударных нагрузках.

Вследствие малых размеров КЗ экспериментальные исследования остаточных напряжений являются весьма сложным, поэтому была разработана математическая модель напряжённого состояния КЗ.

Представим КЗ в виде соединённых между собой стального и твердосплавного цилиндров. После охлаждения от температуры спекания до температуры окружающей среды радиус стального цилиндра уменьшится на большую величину, чем радиус твердосплавного вследствие большего коэффициента линейного расширения стали. Разность относительных деформаций цилиндров после охлаждения равна

$$\Delta \varepsilon = (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  - коэффициенты линейного расширения стали и твердого сплава,  $\Delta T$  - изменение температуры. Напряжения, возникающие вследствие разности относительных деформаций цилиндров, передаются через переходную зону твердый сплав - сталь. В ней будут возникать деформации сдвига и касательные напряжения, направленные по радиусу.

Выделим в твердосплавном цилиндре криволинейный шестигранник со сторонами  $h_1, dr, rd, \varphi$ , где  $h_1$  - высота твердосплавного цилиндра.

Под действием касательных напряжений шестигранник будет испытывать внецентренное сжатие. После преобразования определим радиальные  $\sigma_r$  и окружные  $\sigma_t$  напряжения, действующие на свободной поверхности твердого сплава

$$\sigma_r = \frac{\Delta \varepsilon G_1 G_2 r^2}{h_1 (G_2 h_1 + G_1 h_2)} \quad (2)$$

$$\sigma_t = \frac{3 \Delta \varepsilon G_1 G_2 r^2}{h_1 (G_2 h_1 + G_1 h_2)} \quad (3)$$

где  $h_2$  - высота стального цилиндра,  $G_1, G_2$  - модули сдвига твердого сплава и стали. Преобразовав выражения (2) и (3), получаем зависимость напряжений на свободной поверхности твердого сплава от соотношения высот твердосплавной и стальной частей КЗ.

Расчеты показывают, что на свободной поверхности твердого сплава возникают напряжения растяжения, а у границы со сталью - сжатия. Наименьшие растягивающие напряжения на поверхности твердого сплава возникают при соотношении высот твердосплавной и стальной частей КЗ равной 1:1, однако это соотношение нецелесообразно из-за использования большого количества твердого сплава и трудно осуществимо из-за технологических особенностей МТФ. При соотношении 1:2 скачок напряжений в переходной зоне твердый сплав - сталь наименьший, что обеспечивает высокую прочность КЗ и не нарушает технологию МТФ. Это соотношение использовалось при изготовлении КЗ.

Для повышения долговечности КЗ при ударном нагружении необходимо создать напряжения сжатия на поверхности твердого сплава и уменьшить напряжения на границе твердый сплав - сталь. Этого можно достичь путем выбора соответствующей марки стали и режимов термообработки КЗ после МТФ. Так мартенситное превращение в стали, происходящее при закалке, сопровождается увеличением объема стали, что приводит к снижению величины и смене знака напряжений на свободной поверхности твердого сплава, припаянного к стали. Однако, резкое охлаждение отрицательно влияет на прочность твердого сплава при ударных нагрузках, поэтому оптимальным является использование сталей мартенситного класса (45ХНМФА, 38ХН3ВА, 18Х2Н4ВА), закаливую-

щихся при охлаждении на воздухе. Наиболее перспективной является сталь 18X2H4BA, которая после цементации, последующей пайки с твердым сплавом и охлаждении на воздухе, обеспечила сжимающие напряжения на поверхности твердого сплава. При этом твердость поверхности стали составила HRC 54..56. Высокая твердость поверхности стального основания позволит запрессовывать КЗ в шарошки и не изменять существующую технологию крепления зубков.

В настоящее время разработан руководящий документ на КЗ формы Г26 для оснащения шарошечных долот типа К геологоразведочного сортамента. По результатам стендовых испытаний долот ПП 132 К-ЦВ, проведенных на Дрогобычском долотном заводе, рекомендовано применять КЗ для долот малых диаметров. Вопросы изготовления и крепления КЗ больших диаметров требуют дальнейших исследований.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РЕМОНТА АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Климов Ю. В.*

*Белорусская государственная политехническая академия*

Автомобильный транспорт является сложной производственной системой, эффективность которой зависит от уровня технической готовности и поддержания необходимой работоспособности автомобилей. Согласно принятой планово-предупредительной системе ТО и ремонта поддержание надежности автомобилей на этапе эксплуатации возлагается на техническую службу АТП. От того, насколько будут сохранены технико-эксплуатационные качества автомобиля, зависят срок службы, техническая готовность и его способность удовлетворять потребности в перевозках грузов и пассажиров.

Развитие рынка конкуренции транспортных работ и услуг ставит перед АТП задачу реконструкции производства, обновления его производственно-технической базы, повышения качества работ по ТО и текущему ремонту, экономии топливно-энергетических, финансовых и трудовых ресурсов.

Установлено, что в настоящее время существуют три основных метода расчета мощности системы ТР:

1. По суммарной годовой трудоемкости постовых работ;