

по высоте обычно на два порядка меньше их вдавливания и может не учитываться при расчете.

Полученные расчетные уравнения позволяют определить средний радиус дискретных пятен контакта и, следовательно, их количество. Знание количества пятен контакта дает возможность протарировать электрическую установку для измерения фактической площади контакта.

В наших расчетных уравнениях полное сближение контактирующих поверхностей определяется как результат одновременной деформации выступов микро- и макронеровностей.

Проведенные исследования позволяют дать рекомендации по повышению жесткости конструкций за счет повышения качества обработки контактирующих поверхностей, особо учитывая их точность. Увеличение номинальной площади контакта может дать повышение жесткости стыков только при минимальных макронеровностях на контактирующих поверхностях.

**Н. И. Резников, В. И. Стебихов**

## **НОВОЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

1. Повышение производительности при обработке фрезерованием жаропрочных сплавов может осуществляться путем применения твердых сплавов, улучшения конструкции фрез, методов заточки и доводки и повышения режимов резания. Этим задачам было посвящено исследование, проведенное на кафедре «Резание, станки и инструменты», и в отраслевой лаборатории.

2. Исследование проведено по жаропрочному сплаву ХН77ТЮР (ЭИ437Б)  $\sigma_b = 102 \text{ кг/мм}^2$ ,  $\delta = 20\%$ , НВ300. Составляющие силы резания: горизонтальная, вертикальная и осевая ( $P_h$ ,  $P_v$  и  $P_o$ ) измерялись электроиндукционным трехкомпонентным динамометром в соединении с осциллографом. Работа проводилась цилиндрическими винтовыми фрезами конструкции КуАИ. Фрезерование проводилось по- и против подачи.

3. Заточка фрез проводилась кругами зеленого карбида кремния КЗ10СМ1К, без доводки, и теми же кругами с последующей доводкой кругами из синтетических алмазов САВ-Б1-50.

4. Исследованием было установлено, что большое влияние на величину  $P_h$  оказывает направление подачи. Величины сил  $P_{h \max}$  и  $P_{v \max}$  при фрезеровании против подачи для сравнительно малых углов контакта близки друг к другу, а при фрезеровании по подаче сила  $P_{v \max}$  примерно в 1,5—2 раза больше силы  $P_{h \max}$ , что связано с характером суммирования исходных сил. Величина  $P_v$  в значительной мере зависит от состояния режущих кромок, определяющегося методом заточки. При алмазной доводке эта сила уменьшается в 1,5—2 раза.

5. Осевая составляющая с увеличением подачи растет, но по абсолютной величине она невелика, а при малых подачах и заточке КЗ, может стать близкой к 0. При алмазной доводке осевая сила возрастает с увеличением подачи, для обоих методов фрезерования она примерно одинакова.

6. Увеличение износа приводит к увеличению как горизонтальной, так и вертикальной силы, особенно последней.

С увеличением износа осевая сила сначала уменьшается, а затем увеличивается по абсолютному значению и становится отрицательной.

Это связано с тем, что износ приводит к увеличению силы  $P_s$ , направленной вдоль винтового лезвия, что также приводит и к уменьшению силы  $P_o$ . Осевая сила может стать отрицательной, когда коэффициент трения вдоль лезвия больше тангенса угла спирали. Такое условие создается при увеличении износа по задней поверхности зуба.

7. В исследовании проведен анализ формул для отношения  $P/P_{окр}$ , что позволило объяснить причину малой изменчивости этого отношения для фрезерования по подаче.

8. В порядке дальнейшего развития законов динамики фрезерования разработана зависимость для окружной силы  $P_{окр}$  на базе ее представления в виде суммы двух слагаемых, из которых первое определяется силами, действующими на переднюю поверхность, а второе — силами по задней поверхности. Полученные на этой основе формулы в большей мере отражают физический смысл явлений, чем уравнения степенного вида, вытекающие из закона удельного давления резания.

Е. В. Бурмистров, А. В. Тарасов

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СВЕРЛ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

При сверлении отверстий малых диаметров в жаропрочных и титановых сплавах на производстве возникают большие трудности. Эти трудности, в первую очередь, связаны с недостаточной прочностью и жесткостью сверл, что обуславливает низкую стойкость инструмента и является причиной частых поломок. Сказанное усугубляется также крутильными колебаниями, испытываемыми сверлом при работе.

Разработанный авторами метод измерения крутильных колебаний сверл на базе использования скоростной киносъемки позволил установить характер изменения угла закручивания сверла в процессе работы и измерить амплитуду и частоту крутильных колебаний.

Исследования показали, что крутильные колебания сверла подчиняются синусоидальному закону и происходят с частотой  $f = 300 \div 500$  гц. Двойная амплитуда колебаний при сверлении отверстий диаметром 3 мм в титановом сплаве ОТ4 стандартными сверлами с длиной вылета 35 мм составляет  $2-3^\circ$ .

При использовании четырехленточных сверл амплитуда крутильных колебаний уменьшается в 2 раза по сравнению со стандартными сверлами. Это связано с их большей жесткостью и обеспечивает более высокую стойкость четырехленточных сверл.

Крутильные колебания приводят к тому, что сверла работают в условиях знакопеременных нагрузок, что может привести к их усталостному разрушению. Как показывают расчеты, при сверлении отверстий  $\varnothing 3$  мм в сплаве ОТ4 на глубину 15 мм при режиме резания:  $S = 0,06$  мм/об и  $n = 400$  об/мин, сверло за период резания испытывает  $2,5 \div 3,0$  миллиона циклов нагружения при напряжениях, близких к допускаемым на кручение.

Разработанные на основе проведенного исследования рекомендации по гашению крутильных колебаний позволяют повысить стойкость сверл и значительно сократить количество поломок.