

Волков А.Н., Сазонов М.Б.

Самарский государственный аэрокосмический университет

RESEARCH OF DURABILITY OF MILLING CUTTER IN CONNECTION WITH VIBRATIONS

Volkov A.N., Sazonov M.B. The influence of vibration on durability of milling cutter is examined here. The changing of durability of milling cutter is considered in depending on the intensity of self-sustained vibrations. This depending has an extremum character. The numbers values and the formula for calculation of durability of milling cutter under conditions of work with vibrations have described. The methods of reduction of amplitudes of vibrations under milling are presented.

Процесс резания при фрезеровании всегда сопровождается интенсивными вибрациями. Основными причинами вибраций при фрезеровании являются периодическое врезание и выход зубьев из контакта с заготовкой, изменение толщины среза по углу поворота фрезы, сдвиг по фазе движения каждого зуба по волнообразной поверхности резания, динамическая характеристика резания, силы трения и др. В целом вибрации при фрезеровании представляют собой совокупность вынужденных колебаний и автоколебаний. Амплитуды колебаний находятся в интервале величин $A=20...120$ мкм. Частота вибраций несколько превышает собственную частоту оправки с фрезами и находится в пределах $f=200... 800$ Гц.

Возникающие вибрации вызывают соответствующее колебание сил резания и резкое уменьшение стойкости инструмента вследствие снижения усталостной прочности инструментального материала, увеличения длины пути резания, циклически изменяющихся нагрузок, изменения переднего и заднего углов фрезы и др.

Так, например, при фрезеровании титанового сплава *ОТ4* дисковыми пазовыми фрезами из *ВК8* увеличение амплитуд вибраций с 20 мкм до 100 мкм вызывало снижение стойкости фрез в 18 раз. Такое же снижение стойкости наблюдалось при фрезеровании концевой фрезой титанового сплава *BT20*. График зависимости стойкости фрез от амплитуды вибраций имеет экстремальный характер с точкой перегиба в районе амплитуд $A=8...18$ мкм. При даль-

нейшем увеличении амплитуд вибраций идёт процесс однозначного резкого снижения стойкости фрез. Зависимость стойкости инструмента от амплитуды автоколебаний хорошо аппроксимируется уравнением вида

$$T = QA^m e^{nA},$$

где T - стойкость фрезы в минутах; A - амплитуда вибраций в мкм; e - основание натуральных логарифмов; Q -коэффициент пропорциональности; m и n - показатели степеней.

Величины Q , m и n определяются для конкретного технологического процесса обработки по графику зависимости T - A .

Экстремальный характер кривых T - A говорит о том, что в каждом процессе механической обработки существуют свои оптимальные $A_{\text{опт}}$ величины амплитуд вибраций. Эти значения амплитуд зависят от частоты колебаний. Можно считать $A_{\text{опт}}=30...150$ мкм для частот $f=20...150$ Гц и $A_{\text{опт}}=1...5$ мкм для ультразвуковых колебаний с $f=15...35$ кГц. Положительное действие оптимальных по амплитуде и частоте вибраций объясняется облегчением пластической деформации, снижением коэффициента трения, улучшением отвода стружки и др. Вместе с тем, вибрации в процессе фрезерования всегда превышают оптимальные амплитуды и являются вредными, так как ведут к уменьшению стойкости инструмента, производительности обработки и ухудшению качества обработанной поверхности.

Доминирующей колебательной системой при фрезеровании является фрезер-

ная оправка. Однако, при очень большой жёсткости системы инструмента основными могут стать вибрации заготовки вместе с приспособлением и столом станка. Специально поставленные опыты по фрезерованию тонкостенных заготовок из титанового сплава *ОТ4* дисковыми пазовыми фрезами из *ВК8* показали, что изменение амплитуд вибраций заготовки с 7 мкм до 35 мкм (в 5 раз) приводило к уменьшению стойкости фрез с 420 мин. до 20 мин, т.е. в 21 раз. Также было замечено, что возрастание или уменьшение амплитуд вибраций заготовки вызывало обратное изменение амплитуд вибраций фрезерной оправки. Это согласуется с применяемыми методами в практике механической обработки материалов, когда для гашения вредных автоколебаний применяют подвод в зону резания вынужденных колебаний с иной частотой и амплитудой.

Исследование вибросмещений центра фрезерной оправки показало, что они имеют вид деформированного эллипса с главной осью в направлении равнодействующей силы резания.

Для снижения амплитуд вибраций при фрезеровании следует повышать жёсткость и демпфирование систем инструмента и заготовки. Повышение жёсткости фрезерной оправки с 10 кН/мм до 25 кН/мм приводило к уменьшению амплитуд вибраций со 120 мкм до 25 мкм. Применение навесного виброгасителя ударного действия при дисковым пазовым фрезерованием титанового сплава *ОТ4* позволило уменьшить амплитуды вибраций в 2...3 раза. Установка тонкостенной детали на приспособление с промежуточной заливкой гипсом позволило сдемпфировать внутри-резонансные автоколебания в металле заготовки и уменьшить амплитуду колебаний детали в два раза.

Влияние на вибрации скорость резания проявляется при фрезеровании через резонансные явления. Следует избегать частот вращения фрезерной оправки, при которых частота врезания зубьев фрезы становится кратной собственной частоте оправки с фрезами, так как при этом вследствие резонанса амплитуды вибраций возрастают в 2...3 раза.

Так, например, при установке двух дисковых фрез со смещением на полшага

между зубьями и числом зубьев каждая $z=16$ частота врезаний составит при $n=375$ об/мин

$$f_e = n \cdot z / 30 = 200 \text{Гц}$$

Вибрации при фрезеровании происходят с биениями вибраций, определяемыми разностью наибольших и наименьших амплитуд вибраций $\Delta A = A_{max} - A_{min}$. Период биений вибраций соответствует времени одного оборота фрезерной оправки. Максимальные биения проявляются при резонансе частот вибраций с частотой врезания зубьев фрез $f = k \cdot f_e$, где $k=1,2...$ и достигают значений $\Delta A = 100...125$ мкм.

Геометрия заточки зубьев фрез имеет определённое значение. Увеличение переднего угла в пределах $\gamma = -10...+15^\circ$ снижает амплитуды вибраций в 1,7...2 раза. Увеличение угла спирали зуба на концевых фрезах в пределах $\omega = 5...25^\circ$ вызывает уменьшение амплитуд вибраций в вертикальном направлении в 3 раза, после чего амплитуда вновь увеличивается вплоть до $\omega = 45^\circ$, где она становится равной значению амплитуды при $\omega = 5$. Такая зависимость объясняется двояким действием угла спирали: с одной стороны, увеличение ω вызывает повышение равномерности фрезерования и уменьшение амплитуд вибраций; с другой стороны - ведёт к увеличению ширины среза и возрастанию амплитуд вибраций. Характерно, что именно величина $\omega = 20...25^\circ$ соответствует минимальной амплитуде вибраций и максимальной стойкости концевых фрез.

Существенное значение имеет собственная виброустойчивость металлорежущего станка и упруго-демпфирующие элементы (УДЭ) его опор и крепления к фундаменту. Наиболее эффективное гашение вибраций дают виброизоляторы со стружечными УДЭ, имеющие демпфирующую способность в 1,5 раза выше резинометаллических (РМ) виброизоляторов. Для изготовления УДЭ стружечных виброизоляторов наиболее подходящим материалом является сталь 45. Установка станков на указанные виброизоляторы позволяет на 20-30% уменьшить амплитуды вибраций в зоне резания.