

ЖЕСТКОСТЬ И ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ СПИД

И.Г. Шарков

УПРАВЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ АВТОКОЛЕБАНИИ - ВАЖНЫЙ РЕЗЕРВ
ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИИ

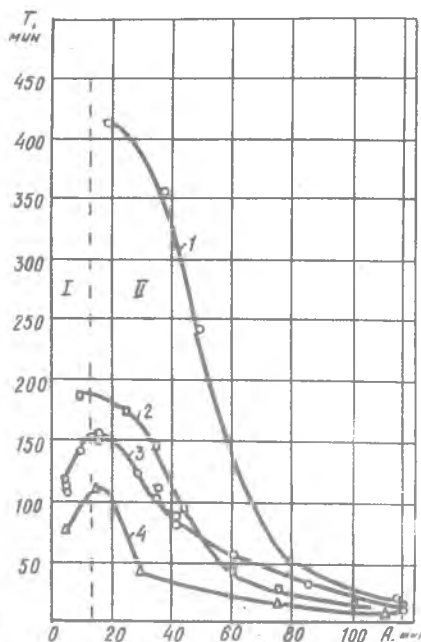
В работах [1] - [2] показано, что зависимость стойкости инструмента от амплитуды автоколебаний имеет экстремальный характер (рис.1) и хорошо аппроксимируется уравнениями вида:

$$T = Q A^m e^{-nA} \quad (I)$$

где T - стойкость инструмента, мин; A - амплитуда автоколебаний, мкм; Q, m, n - постоянные, зависящие от характеристик обрабатываемого и инструментального материалов и условий резания.

Р и с.1. Зависимость стойкости инструмента от амплитуды автоколебаний для различных процессов обработки:

- 1 - дисковая фреза ВК8; $D = 70$, $z^* = 16$; $B = 3$; $t = 3$; $s_z = 0,05$; $v = 82$; $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 15^\circ$; ОТ4:2-концевая фреза ВК8; $D = 40$; $z^* = 5$, $B = 13,5$; $t = 1$; $s = 0,056$; $\omega = 50^\circ$; $v = 120$; $\gamma = 5^\circ$, $\alpha = 5^\circ$ (обрабатываемый материал ВТ20);
 2 - условия те же, что в п.2, но $\omega = 20^\circ$; 3 - проходной резец ВК8; $\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\varphi = 45^\circ$; $s_r = 15^\circ$; $z = 0,5$; $v = 27$; $s = 0,2$; $t = 1,5$ (обрабатываемый материал Х15Н5Д2Т)



При обработке титанового сплава BT20 концевыми фрезами, оснащенными твердым сплавом ВК8 с углом спирали $\omega = 20^\circ$, постоянные имеют следующие значения: $Q = 79,5$; $m = 0,391$; и $n = 0,03$. Экстремальный характер зависимости $T = f(A)$ может быть физически объяснен следующим образом: автоколебания, возникающие в процессе резания, так же, как и специально вводимые в зону резания вынужденные низкочастотные и ультразвуковые колебания, приводят к облегчению пластической деформации, заметному снижению силы резания, уменьшению адгезионных явлений и, как результат этого, к уменьшению интенсивности износа инструмента и повышению его стойкости.

Однако, с другой стороны, циклическое нагружение инструмента при увеличении интенсивности автоколебаний, начиная с определенного предела, вызывает усталостное разрушение участков материала инструмента, находящихся в контакте с изделием и сходящей стружкой. Поэтому, начиная с некоторого уровня автоколебаний, стойкость инструмента резко снижается.

Результатом воздействия этих противоположных факторов и является наличие экстремальной зависимости (см. рис.1). В зоне I преобладает положительное воздействие автоколебаний на облегчение процесса пластической деформации, а в зоне II - усталостное разрушение материала инструмента, соприкасающегося с изделием и стружкой. Положение точки экстремума, соответствующее оптимуму стойкости, зависит от условий резания и характеристик обрабатываемого и инструментального материалов.

Частота является важнейшей характеристикой процесса автоколебаний, поэтому важно знать, какое влияние она оказывает на стойкость инструмента совместно с амплитудой.

В целях выяснения этого влияния были проведены двухфакторные эксперименты с одновременным изменением амплитуды и частоты колебаний. В результате обработки опытных данных получены адекватные математические модели в виде полиномов. Для процесса фрезерования концевой фрезой ВК8 титанового сплава BT20 зависимость стойкости инструмента от амплитуды и частоты автоколебаний имеет вид

$$T = 62,5 - 63,7x_1 - 3x_2 + 22,1x_1x_2, \quad (2)$$

где

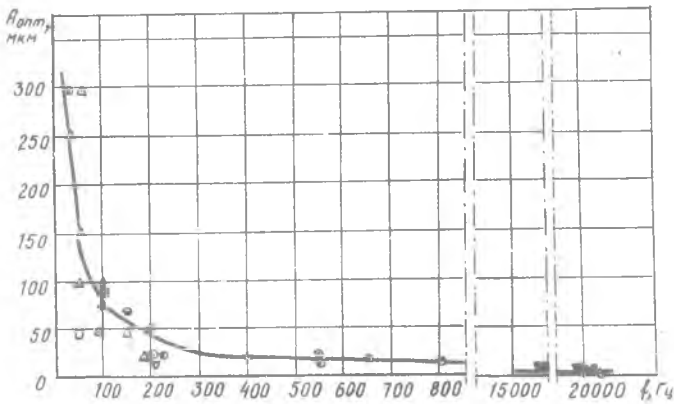
$$x_1 = \frac{A_{\text{мкм}} - 60_{\text{мкм}}}{45,5_{\text{мкм}}}, \quad (3)$$

$$x_2 = \frac{f_{\text{Гц}} - 600_{\text{Гц}}}{200_{\text{Гц}}}. \quad (4)$$

Анализ уравнения (2) показывает, что решающее влияние на стойкость инструмента оказывает амплитуда автоколебаний, так как велик коэффициент, характеризующий это влияние 63,7. Частота колебаний в исследуемом диапазоне ($f = 400-800$ Гц) влияет в 21 раз меньше, чем амплитуда.

Выполненный двухфакторный эксперимент показывает, что зависимость стойкости инструмента от интенсивности автоколебаний может исследоваться как однофакторная, так как частота автоколебаний для каждой конкретной технологической системы СПИД изменяется в узких пределах и потому весьма слабо влияет на стойкость инструмента.

Однако изменение частоты колебаний в широком диапазоне существенно влияет на обрабатываемость. На рис.2 представлены значения оптимальных амплитуд колебаний, которые рекомендуются отдельными исследователями для улучшения обрабатываемости различных конструкцион-



Р и с.2. Зависимость амплитуды оптимальных колебаний от их частоты:

- — Я.И. Адам; ○ — автор и др; ▽ — А.И.Исаев и др;
- — А.С.Кондратов и др; □ — В.С. Корсаков и др.;
- — А.И.Марков; △ — В.Н. Подураев и др; ◇ — В.А. Привалов;
- — Н.И. Резников и др; ▽ — М.Н. Улитин и др.; ■ — Папов Станко; ● — E.C. Smith

ных материалов в различных технологических процессах. Эти значения образуют определенную область, которая располагается вдоль кривой гиперболического типа.

В зоне низких частот ($f = 30-150$ Гц) улучшение обрабатываемости обеспечивается за счет дробления стружки, облегчения ее отвода и улучшения условий подвода СОЖ к режущим лезвиям (например, при сверлении, нарезании резьбы метчиками и т.д.). При такой частоте оптимальные амплитуды колебаний составляют $A_{\text{опт}} = 50-150$ мкм, а иногда и более.

Вторая зона с частотами колебаний $f = 150 - 1000$ Гц (иногда до 3000 Гц) охватывает главным образом область автоколебаний. В этой зоне оптимальными являются колебания с амплитудами $A_{\text{опт}} = 8 - 20$ мкм. Поддержание амплитуды на этом уровне значительно повышает стойкость инструмента и качество обработанной поверхности. Это происходит за счет уменьшения адгезионных (а иногда и диффузионных) явлений на поверхностях инструмента, соприкасающихся с обрабатываемым металлом.

В зоне вынужденных ультразвуковых колебаний с частотами $f = 15-30$ кГц оптимальными являются колебания с амплитудами $A_{\text{опт}} = 1-5$ мкм. Такие колебания улучшают обрабатываемость за счет воздействия ультразвука на дислокационный механизм пластической деформации. Вызывая значительный прирост необратимых микродеформаций, ультразвуковые колебания увеличивают энергию дислокаций, приводят к уменьшению размеров зоны деформации, увеличению углов сдвига, уменьшению усадки стружки, снижению интенсивности автоколебаний, ликвидации наростообразования на инструменте.

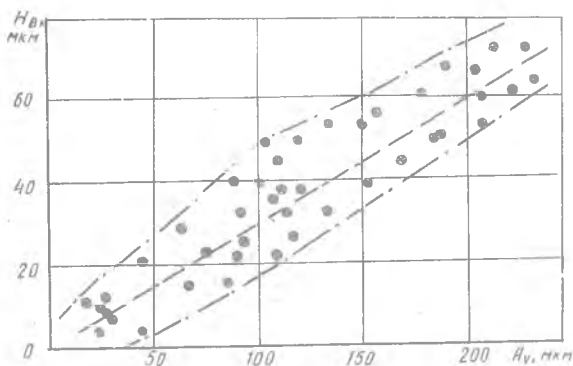
Наряду со стойкостью и производительностью обработки, автоколебания в сильной степени влияют на качество обработанной поверхности деталей. С увеличением амплитуды автоколебаний прямо пропорционально увеличивается высота волнистости обработанной поверхности H_B , растет шероховатость R_a, R_z, R_{max} . Интенсивность автоколебаний влияет также на величину наклепа и характер остаточных напряжений в поверхностном слое.

Исследования зависимости волнистости и шероховатости обработанной поверхности от интенсивности автоколебаний проводились при точении, растачивании, фрезеровании дисковыми пазовыми концевыми и цилиндрическими фрезами. Результаты этих исследований частично изложены в работе [3].

На рис. 3 показана зависимость высоты волнистости поверхности H_B , замеренной по дну паза, от амплитуды вертикальных автоколебаний A_v при фрезеровании титанового сплава ОТ4 дисковыми пазовыми фрезами. Несмотря на то, что опыты проводились при различных жесткостях оправок, износе инструмента и подачах, все опытные точки распо-

гаются в определенной области, проходящей вдоль одной прямой. Эта зависимость приблизительно может быть выражена простейшей формулой

$$H_B = 0,3 A_v. \quad (5)$$



Р и с.3. Зависимость волнистости поверхности от амплитуды автоколебаний при работе пазовыми фрезами:

дисковая фреза ВК8; $D = 70$; $z^* = 16$; $B = 3$; $t = 3$,
 $S_z = 0,02 - 0,125$; $v = 82$; $h_z = 0,01 - 0,2$; $\gamma = 10^\circ$,
 $\alpha = 15^\circ$, $0T4$

При фрезеровании сплава ВТ20 концевыми фрезами, оснащенными твердым сплавом ВК8, путем проведения двухфакторного эксперимента (входными факторами были амплитуда и частота автоколебаний) в качестве выходных параметров были исследованы, кроме стойкости инструмента, шероховатость (R_a) и волнистость (H_B) обработанной поверхности.

В результате соответствующих расчетов были получены адекватные математические модели, отображающие зависимость волнистости и шероховатости обработанной поверхности от интенсивности автоколебаний, в виде

$$H_B = 23,5 + 15,5 x_1 - 3,2 x_2; \quad (6)$$

$$R_a = 1,4 + 0,6 x_1 - 0,06 x_2, \quad (7)$$

где x_1 и x_2 соответствуют выражениям (3) и (4).

Анализ уравнений (6), (7) и (5), позволяет заключить, что для процесса фрезерования амплитуда автоколебаний решающим образом влияет на волнистость обработанной поверхности. Это влияние приблизительно в 5 раз сильнее, чем влияние частоты автоколебаний.

Шероховатость обработанной поверхности также зависит в значительной мере от амплитуды автоколебаний. Влияние частоты колебаний на шероховатость в 10 раз слабее, чем влияние амплитуды. На обе характеристики поверхности амплитуда и частота влияют по-разному: с увеличением амплитуды H_0 и R_a увеличиваются, а с увеличением частоты колебаний — уменьшаются.

Итак, следует считать установленным, что уровень интенсивности автоколебаний весьма существенно влияет на стойкость инструмента, производительность обработки, волнистость и шероховатость обработанной поверхности. Задача на ближайшее будущее состоит в том, чтобы разработать надежную методику и научиться управлять интенсивностью автоколебаний доминирующих колебательных систем.

Работами [2] — [6] установлено, что все входные факторы по степени их влияния на интенсивность автоколебаний можно расположить в следующей последовательности:

- τ — величина отставания изменения силы резания от изменения толщины среза (сдвиг по фазе);
- ζ — обобщенный коэффициент демпфирования;
- j — суммарная жесткость системы СПИД;
- ℓ — ширина среза;
- a — толщина среза;
- γ — передний угол инструмента.

Все остальные факторы не оказывают существенного влияния на интенсивность автоколебаний и могут не учитываться при составлении методики управления интенсивностью колебаний в системе СПИД.

При разработке методики управления интенсивностью автоколебаний для конкретного технологического процесса следует иметь в виду, что:

1. Увеличение угла γ приводит к снижению интенсивности автоколебаний, однако ограничивается прочностью режущего клина.
2. Толщина среза a существенно влияет на интенсивность автоколебаний только при прерывистом (или неравномерном) резании.
3. Уменьшение ширины среза ℓ приводит к почти прямо пропорциональному снижению амплитуды автоколебаний, однако это делать нецелесообразно, так как снижается производительность.

4. Для уменьшения амплитуды автоколебаний следует увеличивать жесткость системы j . Это обычно достигается путем введения дополнительных опор в виде роликов для консольно закрепленных деталей, увеличения жесткости инструментов и оснастки.
5. Обобщенный коэффициент демпфирования γ весьма существенно влияет на интенсивность автоколебаний, имеется много разнообразных средств для его изменения (например, виброгасители различных конструкций).
6. Наибольшая интенсивность автоколебаний наблюдается при величине $\tau = (1/2 - 1/4) T$, где T - период автоколебаний; величина τ зависит от свойств обрабатываемого материала и режимов резания и прямо пропорциональна усадке стружки и обратно пропорциональна скорости резания.

Управление интенсивностью автоколебаний может основываться также на введении в упругую систему СПИД адаптивных систем в виде вибраторов со сдвигом по фазе, подачи в зону резания пульсирующих токов.

Разработка надежных методов управления интенсивностью автоколебаний для конкретных технологических операций является сложной задачей, однако открывает большие резервы повышения производительности и качества изделий.

Л и т е р а т у р а

1. Жарков И.Г., Попов И.Г. Влияние автоколебаний на стойкость инструмента. "Станки и инструмент", 1971, №5.
2. Жарков И.Г. Исследование автоколебаний, возникающих при обработке резанием конструкционных материалов, Автореферат диссертации. Куйбышев, 1974.
3. Жарков И.Г., Волков А.Н. Влияние вибраций на волнистость поверхности при фрезеровании пазов. "Станки и инструмент", 1968, № 12.
4. Жарков И.Г., Маркушин Е.М. Теоретическое исследование вибраций при резании металлов (построение математической модели процесса). Межвуз. сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов, вып. I, Куйбышев, 1973.
5. Кудинёв В.А. Динамика станков. М., "Машиностроение", 1967.

6. Подуров В.Н. Обработка резанием с вибрациями. М.,
"Машиностроение", 1970.

Э.В. Рыжов, А.Г. Суслев

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ВИБРОНАКАТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Непрерывно повышающиеся требования к надежности и долговечности самолетов ставят задачу улучшения характеристик качества рабочих поверхностей деталей, определяющих их эксплуатационные свойства.

Анализ существующих методов обработки в технологии самолетостроения показывает, что в настоящее время наряду с совершенствованием имеющихся методов необходимо находить такие методы чистовой обработки, которые удовлетворяли бы следующим требованиям: получение высококачественного поверхностного слоя с повышенной микротвердостью; создание оптимальной опорной площади, обеспечивающей повышение износостойкости и контактной жесткости сопрягаемых поверхностей.

Одним из таких новых методов чистовой обработки является вибронакатывание, когда на движение подачи накладывается осциллирующее движение в направлении перпендикулярном вектору скорости резания.

В зависимости от режима обработки и конструкции виброголовки могут быть получены следующие рельефы: с перекрывающимися синхронными канавками (рис.1,а), с перекрывающимися асинхронными канавками (рис.1,б), с неперекрывающимися синхронными канавками (рис.1,в), с неперекрывающимися асинхронными канавками (рис.1,г). Все эти рельефы в зависимости от режимов обработки могут получаться или в виде системы канавок на исходной поверхности, или в виде образования нового микрорельефа.

Аналитический расчет опорных площадей цилиндрических поверхностей с системой канавок, полученных вибронакатыванием, был проведен в работе [1]. Однако уравнения, полученные в этой работе практически можно использовать только для расчета площади канавок. Относительная опорная площадь поверхностей, имеющих систему канавок после вибронакатывания, будет определяться следующей зависимостью (рис.2):

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

(I)