

## ПРОБЛЕМАТИКА ВЗАИМОСВЯЗАННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СТАНКА ПРИ СКОРОСТНОЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКЕ

При интенсивных режимах обработки резанием в металлообрабатывающем станке возникают вибрации, их амплитуда может достигать значений, при которых существенно ухудшается точность и шероховатость обработанной поверхности, увеличивается волнистость, наклеп, остаточное напряжение в детали, а также появляется износ режущего инструмента и деталей станка.

Основным механизмом возбуждения колебаний при разных видах лезвийной обработке является появление вибрационного следа на поверхности резания от предыдущего прохода инструмента (регенерация колебаний) (рис.1.), который способствует вхождению всей технологической системы (ТС) (станок-приспособление-инструмент-заготовка - СПИЗ) в состояние устойчивых автоколебаний. Таким образом, в ходе регенерации колебательная система СПИЗ самонастраивается. Разрушение этого самонастраивания путем принудительного изменения фазы колебаний с помощью периодической плавного изменения (модуляции) скорости резания открывает новую возможность управления динамической стабильностью ТС. Существует множество способов снижения интенсивности колебаний, принимаемых на практике, основным из которых являются: увеличение жесткости технологической системы СПИЗ; демпфирование энергии колебаний; стабилизация силы резания; оптимизация режимов резания, а также применение автоматических и адаптивных систем.

В современных станках отсутствуют коробки скоростей, и главное движение на шпиндель передается непосредственно электрическим двигателем, управление вращением которого осуществляется с помощью PCNC систем программно. Для обеспечения своевременного модулирования скоростью резания, система должна иметь возможность адаптивного управления. Комплексное решение поставленной задачи позволит в перспективе осуществить возможности обеспечения условий «безвибрационного резания».

Данные исследования направлены на повышение производительности, качества и точности механической обработки деталей ответственного назначения и увеличение ресурса режущего инструмента в результате подавления вибраций на современном оборудовании при резании, путем разработки и внедрения алгоритмов адаптивного управления приводами главного движения.

Отечественными и зарубежными учеными созданы научные основы динамики металлорежущих станков и выполнен большой объем научно-исследовательских работ по повышению динамической стабильности процессов резания путем повышения жесткости и демпфирующих способности ТС, снижение силовых нагрузок и выбора рациональных схем обработки. Результаты этих работ позволили существенно расширить зону допустимых режимов резания и повысить производительность технологических операций. Вместе с тем возможности известных технических решений в значительной степени уже исчерпаны, что определяет необходимость поиска новых путей.

Очевидно, что для достижения максимальной эффективности управления вторичными колебаниями необходимо воздействовать непосредственно на сам механизм их регенерации, что требует ясного понимания его природы и закономерностей. Несмотря на то, что подавляющее доля энергии для поддержания колебаний вносится в ТС с помощью регенерации, это явление считалось второстепенным и малозначимым.

Переходной процесс развития автоколебания по следу при точении происходит за 10-12 оборотов заготовки, после чего устанавливается постоянный уровень автоколебаний. Для широко распространенных обрабатываемых материалов колебания на каждом последующем обороте отстают от колебаний предыдущего оборота на

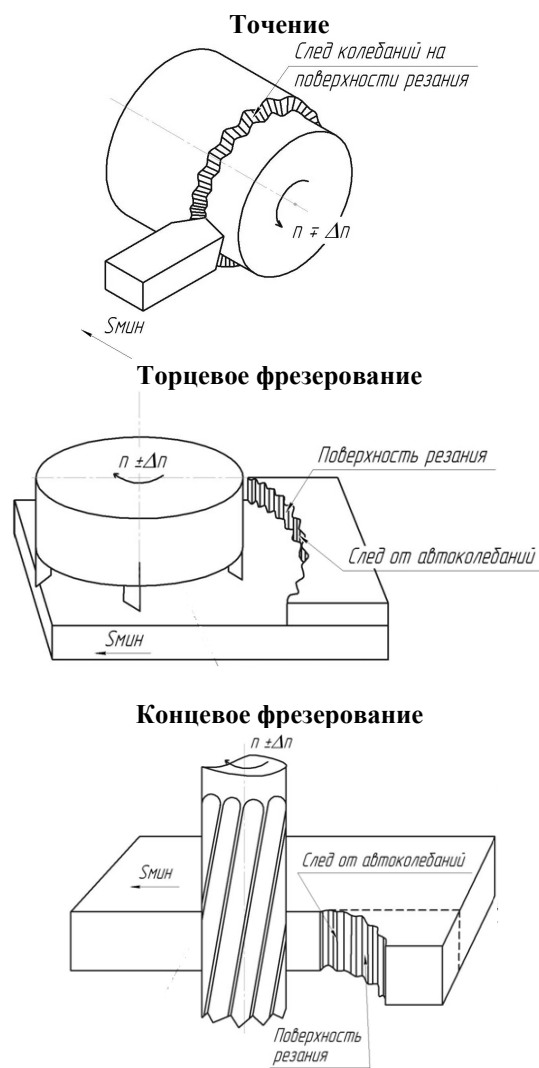


Рис.1 Возбуждение регенеративных автоколебаний при резании

величину от 0,1 до 0,25 длины волны колебаний, что многими авторами (Зоревым Н.Н., Командури Г., Кудиновым В.А., Ташлицким Н.И. и др.) объясняется отставанием силы резания от изменения толщины среза.

Сила резания вызывает упругие отжимания заготовки от инструмента, при этом образуется след на поверхности резания со сдвигом фазы колебаний. Сравнение величины сдвига колебаний с фазовой характеристикой силы резания показало, что они близки друг к другу. Отставание изменения силы резания от изменения толщины среза оказывает существенное влияние на развитие автоколебаний. Достигнув величины запаздывания близкого к 0,25 периода колебаний упругой системы, происходит трех-четырёхкратное увеличение амплитуды колебаний, поскольку при этом передается максимум энергии на поддержание этих колебаний (Та Н., Коно К., Опитц Р., Томпсон Р., Шнейнберг И. С., Mitsuo Takatsuo, Katsuhiko Kato и др.).

В ходе регенерации колебаний, их фаза относительно колебаний следа устанавливается самопроизвольно, независимо от начальных условий, что свидетельствует о самонастройке ТС. Разрушение этого самонастраивания, принудительным изменением фазы колебаний, например, с помощью гармонического изменения (модуляции) скорости резания, открывает новую возможность управления динамической стабильностью ТС. Правильность такого подхода для процессов точения и фрезерования принципиально подтверждена рядом поисковых исследований, проведенных в России и за рубежом в течение трех последних десятилетий. Однако результаты этих исследований не доведены до промышленного использования, поскольку были получены на специальных стендах из-за неприспособленности металлорежущих станков к модуляции скорости резания и большой инерционности шпинделя. Для внедрения в промышленность процессов точения и фрезерования с модулированной скоростью резания необходимо современное металлорежущее оборудование, где отсутствуют коробки скоростей, а привод главного движения является конструкцией мотор-шпиндель, для управления которым установлены системы ЧПУ класса PCNC. Это открывает новые возможности управления модуляцией скорости. Структурная схема системы подавления регенеративных колебаний при точении показана на рис.2.

Поскольку при использовании подобных систем необходим алгоритм моделирования скорости реализуется программно, становится возможным использовать любые произвольные зависимости изменения режимов реза-

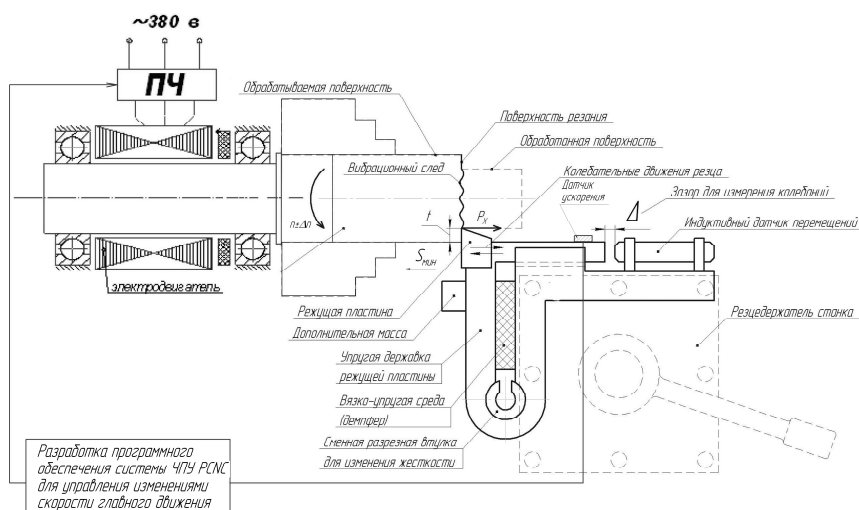


Рис.2 Структурная схема системы подавления регенеративных колебаний при точении

ния во времени. Для изменения алгоритма управления не требуется кокой-либо доработки аппаратной части станка или системы управления, а требуется лишь изменить программу. Это открывает широкие возможности для исследования и промышленной реализации новых способов управления режимами резания и, в перспективе, может привести к созданию систем безвибрационного резания.

Обратная связь между системами перемещений и силой резания осуществляется через элемент запаздывания, которым является поверхность резания. Современное металлорежущее оборудование и системы CNC управления его движением открывают

новые возможности повышения виброустойчивости, действием на процесс автоколебаний осциллирующей подачей или изменением скорости резания в заданных пределах. Однако, осциллированной подачей хотя и подавляется вибрация, при этом снижает качество обработки. Действием периодическим изменением скорости резания возможно снизить уровень вибраций в 2 и более раз без снижения точности и чистоты обработки (Афонин А.А., Афонина Н.А., Свинин В.М., Савоськина С.В., Капшунов В.В. и др.), лучшим решением этой проблемы может быть разработка адаптивной системы подавления автоколебаний, целенаправленным варьированием частоты вращения шпинделя (привода главного движения) при использовании информационных сигналов о амплитуде и частоте динамической составляющей силы резания.

Одним из эффективных путей повышения виброустойчивости и снижение амплитуды автоколебаний может быть реализация метода адаптивной оптимизации с оперативным управлением колебаниями (девиации) скорости резания на основе изменения в режиме реального времени ее динамической составляющей. Таким образом предлагается с помощью адаптивной системы разрабатывать алгоритм управления частотой вращения шпинделя привода главного движения. Разработанные алгоритмы девиации скорости резания позволяют организовать как разомкнутые, так и замкнутые системы автоматического управления сложной взаимосвязанной электро-механической системой станка, что подавляет процесс возникновения автоколебаний при скоростной металлообработке.