

УДК 534

СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОРЕЗОНАНСНЫХ ВИБРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

В.К. АСТАСHEВ

В современной технике широко используются вибрационные машины и другие вибрационные устройства для осуществления или интенсификации различных технологических процессов. Это машины для вибрационного погружения и выдергивания свай, шпунта и труб, вибрационные строительные и дорожные машины для трамбовки грунта и формования железобетонных изделий, машины для изготовления литейных форм и выбивки опок, многочисленные вибрационные устройства для транспортирования сыпучих материалов и штучных изделий, разнообразные ультразвуковые технологические системы и многие другие.

Эффективность вибрационной машины в значительной мере определяется интенсивностью колебаний рабочего органа, которая зависит от частоты возбуждения. На рис.1 показана типичная амплитудно-частотная характеристика (кривая 1) рабочего органа вибрационной машины. Амплитуда колебаний резко возрастает при приближении частоты ω вынуждающего воздействия к собственной частоте ω_0 колебательной системы машины.

При совпадении частот ($\omega = \omega_0$) амплитуда колебаний достигает максимальной величины. Описанное явление избирательного отклика колебательной системы на периодическое воздействие с частотой близкой к ее собственной частоте называется резонансом, а вибрационная машина, работающая в близкой окрестности этой частоты - резонансной машиной.

В колебательной системе, находящейся в резонансном состоянии, инерционные и упругие силы взаимно уравновешиваются, а энергия возбудителя колебаний расходуется только на преодоление диссипативных сил. При этом заданная вынуждающая сила приводит к возбуждению колебаний с максимальной амплитудой, и, наоборот, любая заданная амплитуда колебаний достигается при минимальном силовом воздействии со стороны возбудителя колебаний. Все это обуславливает эффективность резонансных машин, однако их практическая реализация сопряжена с большими техническими трудностями из-за необходимости соблюдения

строгой резонансной настройки и выполнения согласования параметров привода машины, ее колебательной системы и технологической нагрузки.

Дело в том, что при работе машины изменяются некоторые из ее параметров и следовательно собственная частота колебательной системы. Например, при работе вибробункера по мере выгрузки материала изменяется его масса и, следовательно, собственная частота бункера. Пусть кривая 1 на рис.1 соответствует некоторой средней загрузке бункера. Тогда при полной загрузке амплитудно-частотная характеристика вибробункера будет иметь вид, показанный кривой 2, а по мере разгрузки характеристика постепенно трансформируется к кривой 3. Для того чтобы вибрационный бункер работал в резонансном режиме во всем диапазоне изменения его загрузки материалом, необходимо обеспечить непрерывное регулирование частоты возбуждения

Кроме того при работе вибрационной машины взаимодействие ее рабочего органа с обрабатываемой средой создает, как правило, нелинейную нагрузку, на колебательную систему машины. В результате исследования таких систем обнаружены новые резонансные эффекты, реализация которых в вибрационных машинах и устройствах позволяет радикально повысить эффективность ряда технологических процессов, связанных с использованием вибрации (некоторые из этих эффектов будут проиллюстрированы ниже). Нелинейность технологической нагрузки на колебательную систему машины затрудняет, а зачастую вообще исключает возможность реализации наиболее эффективных резонансных режимов традиционными способами возбуждения и управления.

По указанным причинам вибрационные машины выполняют либо до-, либо зарезонансными, уводя частоту возбуждения в зоны, далеко удаленные от резонанса, и снижая тем самым чувствительность машины к изменению ее параметров. Платой за такую настройку является многократное снижение эффективности работы машины, поскольку для получения необходимой для проведения технологического процесса интенсивности колебаний требуется значительное увеличение силы возбуждения колебаний. Это в свою очередь приводит к увеличению металлоемкости машины, не рациональному использованию мощности привода, снижению КПД и т.д.

Один из наиболее эффективных путей возбуждения и стабилизации режимов работы резонансных машин, основан на использовании явления авторезонанса.

Авторезонанс - это резонанс в системе, колебания которой возбуждаются силой, зависящей от движения одного из ее элементов. Иными словами, авторезонанс - это автоколебания, при которых достигается максимальная амплитуда колебаний рабочего органа вибромашины. Суть принципа авторезонансного возбуждения колебаний заключается в том, что сигнал, пропорциональный движению рабочего

органа, после его обработки и усиления используется для формирования силы возбуждения в зависимости от параметров колебаний. Характеристики всей системы, включая вибровозбудитель, цепь обратной связи и технологическую нагрузку, рассчитывается так, чтобы обеспечить самовозбуждение колебаний и реализацию наиболее эффективных резонансных режимов при изменении технологической нагрузки или параметров устройства в широких пределах. При таком способе возбуждения режим работы машины автоматически перестраивается, обеспечивая таким образом поддержание ее оптимального резонансного состояния.

Колебательная система дебалансной вибро-машины с дебалансным возбудителем колебаний машины содержит плат-форму, связанную плоскими пружинами с неподвижным основанием. Колебания платформы возбуждаются дебалансным возбудителем, приводимым во вращение синхронным двигателем. Для питания двигателя переменным электрическим током специальным образом организована цепь обратной связи. Датчик обратной связи, регистрирующий колебания платформы, через фазосдвигающий элемент Φ связан с входом усилителя мощности, к выходу которого подключен синхронный двигатель возбудителя колебаний.

Устройство работает следующим образом. Сигнал с датчика с частотой колебаний платформы используется для формирования с помощью фазосдвигающего элемента и усилителя переменного напряжения питания двигателя с той же частотой. Характеристика усилителя подобрана так, чтобы получить на выходе номинальное напряжение питания двигателя. Синхронный электродвигатель приводится во вращение с той же частотой и, воздействуя через дебалансный возбудитель платформы, поддерживает ее колебания. Частота колебаний в такой замкнутой системе зависит от определяемого фазосдвигающим элементом сдвига фаз между напряжением питания двигателя и сигналом с датчика обратной связи. Изменение фазы дает возможность регулирования частоты колебаний платформы и позволяет реализовать всю амплитудно-частотную характеристику колебательной системы при любой нагрузке.

Если фазовый сдвиг в цепи обратной связи выбран так, чтобы разность фаз между колебаниями платформы и создаваемой дебалансом силой возбуждения соответствовала резонансной, устройство обеспечит реализацию резонансных колебаний. При любом изменении собственной частоты системы, например, вследствие изменения технологической нагрузки (рис.1) устройство автоматически изменит частоту вращения двигателя, выводя систему в новое резонансное состояние. В этом случае в системе реализуются колебания с амплитудами, лежащими на линии 4, которая является огибающей всего семейства амплитудно-частотных характеристик при любых изменениях параметров колебательной системы

или нагрузки. Именно такая система возбуждения колебаний с резонансной настройкой фазы в цепи обратной связи и является авторезонансной.

Авторезонансные системы возбуждения могут использоваться в вибромашинах с другими типами возбудителей колебаний. На рис.2

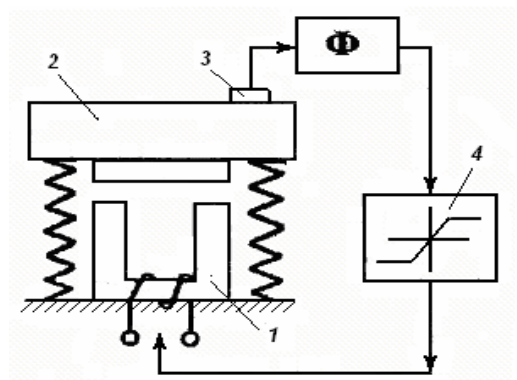


Рис. 2

показана схема авторезонансной вибромашины с электромагнитным возбудителем колебаний. Колебания платформы 2 возбуждаются с помощью электромагнитного возбудителя 1, создающего периодическую силу при пропускании по его обмотке переменного электрического тока. В традиционных схемах возбуждения электромагнит получает питание от внешнего генератора или от сети переменного тока. При переходе к авторезонансной схеме питание электромагнита организуется с помощью положительной обратной связи, содержащей датчик 3 колебаний платформы, фазосдвигающий элемент Φ и нелинейный усилитель 4, к выходу которого подключена обмотка питания электромагнита.

Самовозбуждение колебаний обеспечивается правильным выбором коэффициента усиления цепи обратной связи. Определенным выбором фазы сигнала цепи обратной связи гарантируется стабилизация резонансных режимов при изменении технологической нагрузки в широких пределах. Изменением уровня насыщения нелинейного усилителя регулируется амплитуда колебаний.

Авторезонансное возбуждение может быть использовано в машинах с электродинамическими, магнитострикционными, пьезоэлектрическими и другими возбудителями колебаний.

Приведем примеры разработанных вибромашин с авторезонансными системами возбуждения колебаний.

Авторезонансное устройство для вибрационного резания. Вибрационным резанием называют технологический процесс с наложением на режущий инструмент ультразвуковых колебаний. Возбуждение ультразвуковых колебаний режущего инструмента приводит к существенному снижению статической силы резания, позволяет производить обработку технологически нежестких изделий и деталей из труднообрабатываемых материалов, повышает точность обработки, улучшает качество и уменьшает шероховатость обрабатываемой поверхности. Схема устройства для вибрационного резания показана на рис. 3.

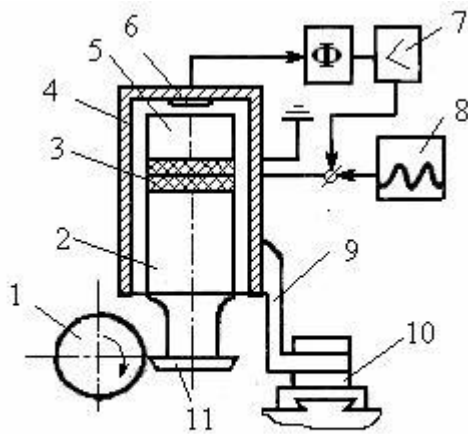


Рис. 3

Обрабатываемая деталь 1 установлена в патроне токарного станка и приводится в равномерное вращение. Резцу 11 сообщаются высокочастотные колебания в направлении скорости резания от ультразвуковой колебательной системы, расположенной в корпусе 4, который с помощью кронштейна 9 закреплен в резцедержателе 10 станка. Колебательная система содержит два пьезокерамических преобразователя 3, жестко стянутых между стержневым концентратором 2 и накладкой 5. Подводимое к

пьезоэлементам переменное электрическое напряжение возбуждает их механические колебания, которые через концентратор 2 перелаются с увеличением амплитуды резцу 11. В традиционных ультразвуковых устройствах питание пьезокемических преобразователей производится от высокочастотного генератора электрических колебаний.

Эффективность вибрационного резания возрастает с увеличением амплитуды колебаний резца. Для получения максимальной амплитуды производится резонансная настройка колебательной системы, которая усложняется существенной нелинейностью технологической нагрузки, вызывающей специфические искажения резонансных характеристик. Сложность и разнообразие динамического поведения системы делает весьма трудным возбуждение и стабилизацию резонансных колебаний в рабочих режимах. Поэтому вибрационное резание эффективно лишь в том случае, когда резонансная настройка осуществляется автоматически.

В предлагаемом устройстве для возбуждения и стабилизации резонансных колебаний разработан генератор, построенный по авторезонансной схеме. Сигнал с датчика обратной связи, регистрирующего колебания одного из элементов системы, после преобразования фазосдвигающим устройством и усиления нелинейным усилителем мощности подается на обкладки пьезоэлементов. Авторезонансное устройство для вибрационного резания обеспечивает самовозбуждение колебаний, автоматическое поддержание резонансных режимов при изменении технологической нагрузки в широких пределах, возможность регулировки и стабилизации амплитуды колебаний, определяемой технологическими требованиями.

Разработанное устройство имеет следующие характеристики :

- выходная мощность генератора - 100 Вт;
- частота колебаний - 20 кГц;
- амплитуда колебаний резца - до 15 мкм.

Испытания устройства проводились при точении следующих материалов: сталь углеродистая, нержавеющая жаропрочная; латунь; медь; алюминий, титан и другие. Точение проводилось при глубине резания до 1 мм и подаче до 0.25 мм/об.

Аналогичные системы могут найти применение в ультразвуковых технологических установках для размерной обработки хрупких материалов, сварки металлов и пластмасс, волочения проволоки и труб и других.

Авторезонансное устройство для дозирования сыпучих материалов. Задача дозирования сыпучего материала заключается во взвешивании его определенных порций с заданной точностью и производительностью. Одним из путей автоматизации процесса дозирования является создание стабильного и управляемого потока сыпучего материала. Как правило, дозируемый материал поступает во взвешивающее устройство из расходного бункера с помощью транспортера. Расход материала из бункера зависит от его физических свойств и условий его хранения, температуры и влажности окружающей среды, от состояния стенок бункера и его геометрии и ряда других факторов. При неудачном сочетании этих факторов свободное истечение сыпучего материала из бункера оказывается невозможным из-за образования свода. Наиболее эффективным способом разрушения свода является создание вибрационных полей. Вибрационное воздействие изменяет свойства материала по отношению к статическим силам за счет сглаживания застойных явлений, вызываемых, например, силами сухого трения и сопротивлением сыпучего материала напряжениям сдвига. При этом вибрация способствует истечению материала из выпускного отверстия бункера.

Вибрационное воздействие может быть эффективно использовано также для транспортирования и по наклонному лотку. В этом случае сыпучий материал на вибрирующем лотке ведет себя подобно вязкой жидкости, свободно стекающей по наклонной плоскости.

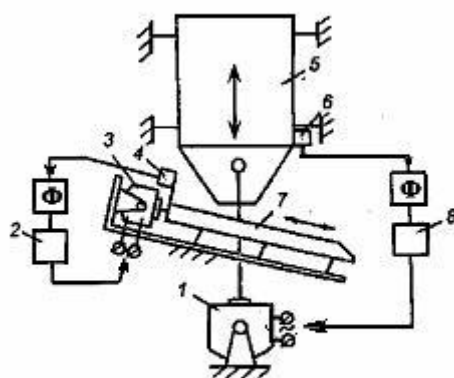


Рис. 4

Авторезонансное устройство для дозирования сыпучих материалов (рис. 4) содержит вибробункер 5, обеспечивающий непрерывный поток материала через выпускное отверстие бункера, и вибrolоток 7, позволяющий регулировать скорость потока изменением интенсивности колебаний лотка. Для возбуждения колебаний используются электродинамические вибраторы 1 и 3. Переменное электрическое напряжение питания вибраторов формируется с помощью цепей обратных связей, содержащих датчики

4, 6 колебаний, фазосдвигающие элементы Ф и нелинейные усилители 2 и 8. Авторезонансные системы возбуждения колебаний бункера и лотка

поддерживают их резонансные колебания независимо от количества и сорта материала и скорости его течения, обеспечивая стабильность потока и необходимую точность дозирования.

Аналогичные системы могут использоваться в вибрационных формовочных и выбивных машинах, испытательных стендах и других устройствах.

В заключение отметим, что все разработанные и испытанные авторезонансные устройства отличаются минимальным энергопотреблением, максимальной производительностью, малой металлоемкостью и могут найти широкое применение в вибротехнике, ультразвуковой и лазерной технологиях, измерительной технике и робототехнике.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Проект 05-08-50183).

Институт машиноведения РАН

Москва, Малый Харитоньевский пер., 4

Тел.: 924-58-74. Факс: 924-35-91. E-mail: v_astashev@mail.ru

Поступила: 23 мая 2007 г.