

УДК 628.440.22

Н. А. ЗАДОРЖНИЙ (канд.техн.наук, доц.), **А. В. КОЛОТ** (д-р техн.наук, доц.),
Д.С. ПОНОМАРЁВ

Донбасская государственная машиностроительная академия
ket@digma.donetsk.ua

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ ДЛЯ ВИБРОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СВАРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

В данной статье выполнен обзор известных приводных устройств вибровозбудителей, выполнен выбор типа приводного устройства вибровозбудителя для стабилизации остаточных напряжений сварных конструкций, а также сформулированы показатели качества системы управления виброкомплексом на основе анализа технологического процесса виброобработки.

Вибровозбудитель, остаточные напряжения, сварные детали, система управления, технологические требования

Введение. Вопросы вибростабилизирующей обработки деталей и конструкций, несмотря на актуальность, весьма слабо освещены в литературе. Кроме того отсутствует техническое подтверждение о правильности применения определённого типа вибратора, его диапазона частот, ускорения и амплитуды колебаний, требования к системам управления и параметрам качества регулирования виброкомплексов, требований к выполнению технологического процесса.

Анализ публикаций. Создание эффективных вибровозбудителей является одной из главных задач использующих колебания. В качестве вибровозбудителей применяют механические инерционные, эксцентриковые, электромагнитные, пневматические, гидравлические, гидроимпульсные вибраторы, инерционно-импульсные механизмы. Наибольшее применение в конструкциях вибрационных станков и машин получили инерционные (дебалансные) вибровозбудители, продолжают поиски путей их совершенствования. Одно из разрабатываемых направлений - создание вибровозбудителей с управляемой в процессе работы амплитудой колебаний.

Какой же из типов вибровозбудителей наиболее точно подходит для осуществления виброобработки деталей?

В [1] используется виброкомплекс на основе эксцентрикового возбудителя на машине постоянного тока и управляемого преобразователя. В [2] упоминается о нецелесообразности использования центробежных вибраторов в связи с дополнительными поперечными нагрузками, которые увеличиваются при увеличении упругого элемента крепления. Виброобработку изделия [3] разделяют на 2 класса: низкочастотную (до 200 Гц) – для обработки крупногабаритных сварных и литых изделий; высокочастотную (свыше 1000 Гц) – которая более подходит для обработки наплавленного слоя металла.

Цели. В данной статье даны рекомендации по выбору типа вибровозбудителя для обработки крупногабаритных деталей, а также приведены критерии качества регулирования систем управления виброкомплексами.

Основной материал. Возбудители колебаний - специальные устройства, которые могут колебать обрабатываемый объект или платформу (стол) с закрепленным обрабатываемым объектом. От типа возбудителя колебаний зависят основные энергетические параметры виброкомплекса, характеризующие его как установку для виброобработки: частота колебаний или диапазон частот колебаний стола виброкомплекса; пределы изменения амплитуды колебаний или максимальная амплитуда колебаний стола виброкомплекса; максимальное ускорение на холостом ходу или ускорение при установленной на столе максимально-допустимой массе.

Согласно [4] существуют следующие группы вибровозбудителей, которые возможно использовать для виброобработки деталей:

- дебалансные – основанные на неуравновешенных массах, расположенных на некотором расстоянии (эксцентриситете) от оси двигателя, имеют ограниченный верхний диапазон частот;
- электродинамические и электромагнитные – характеризуются ограничением верхнего предела амплитуды смещения, но имеют более широкий рабочий частотный диапазон;
- механические инерционные – имеют ограничение верхнего и нижнего диапазонов возмущающей частоты, верхнего и нижнего предела амплитуды по сравнению с дебалансным типом вибровозбудителей.

В группах вибровозбудителей, построенных по принципу электромагнита добиться гармонического колебания довольно сложно из-за нелинейности магнитного сопротивления сердечника в момент приближения или удаления якоря, т.е. при изменении магнитного сопротивления в рабочем режиме. Для устранения данного недостатка необходима нелинейная система контроля тока рабочего электромагнита для обеспечения гармонического ускорения якоря, даже при применении дифференциальной системы вибровозбудителя.

© Задоржний Н.А., Колот А.В., Пономарёв Д.С., 2011

Области оптимальных рабочих режимов возбудителей колебаний [5] показаны на рис.1. Данные области отражают диапазоны частот и вибрационных амплитуд для некоторых типов вибровозбудителей.

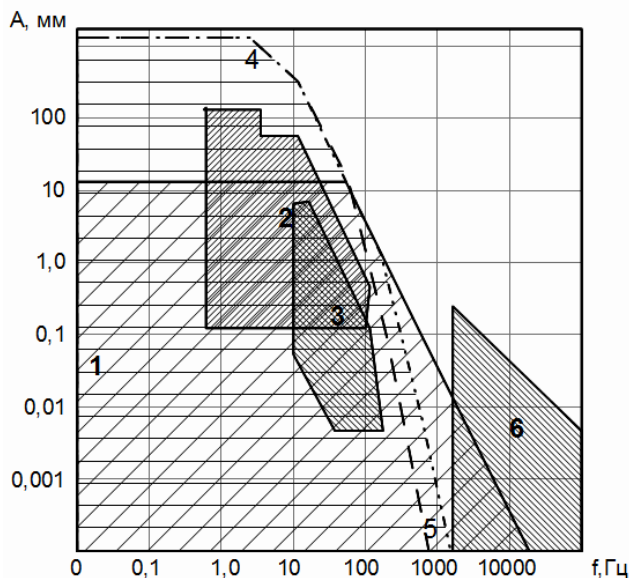


Рисунок 1 – Области оптимальных рабочих режимов возбудителей колебаний: 1 - электродинамических; 2 - кривошипно-шатунных, кривошипно-кулисных, эксцентриковых (кинематически ограниченных); 3 - инерционных; 4 - электрогидравлических; 5 - магнитогидравлических; 6 - магнитоотрицательных

Преимущества магнитомеханических возбудителей колебаний заключаются в постоянстве создаваемого переменного усилия независимо от частоты его колебаний, простоте и надежности возбудителя, ввиду того, что обмотки электромагнита не участвуют ни во вращательном, ни в поступательном движениях; легкости регулирования переменной силы во всем диапазоне рабочих частот путем изменения тока возбуждения электромагнита; малом сопротивлении движению якоря, так как сила трения в подшипниках якоря за счет вращения вала ротора переведена в плоскость, перпендикулярную смещениям якоря.

Особенностью эксцентриковых механизмов возбудителей колебаний является близость вызываемых вибраций к гармоническому представлению. Для привода данного возбудителя необходим электрический двигатель, подключенный к стандартной системе управления. Также следует отметить простоту крепления такого возбудителя на обрабатываемой детали.

Для регулировки амплитуды вибрации существуют системы изменения эксцентриситета. Также следует отметить применение двухдвигательных вибровозбудителей с двумя эксцентриками, рассогласование углов которых эквивалентно увеличению эксцентриситета, что приводит к увеличению амплитуды вибраций без остановки двигателей.

Так какие же критерии необходимы для выбора вибровозбудителя? Согласно [2] вибрационные напряжения в детали в зоне закрепления можно определить по выражению:

$$\sigma = \rho \cdot h \cdot A \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot n^2,$$

где ρ - плотность обрабатываемой детали (сталь 7800 кг/м³);
 h - толщина обрабатываемой детали;
 A - амплитуда колебаний;
 n - частота вибраций.

Как видно из данного выражения на напряжение виброобработки влияют два основных фактора: амплитуда колебаний и частота колебаний. Причём повышение частоты более целесообразно в связи с квадратичной зависимостью. Однако, как было указано ранее, предельное значение частоты виброобработки крупных деталей составляет 200 Гц, а значительные амплитуды приводят к усталостному износу детали ещё в процессе виброобработки. Кроме того вибровозбудитель должен вырабатывать гармонические колебания в силу энергоэффективности, т.к. основная часть энергии передаётся первой гармоникой.

На основании изложенного, сформулируем критерии к вибровозбудителю:

- максимальная частота: $f_{\text{обп}} \approx 150$ Гц;
- максимальная амплитуда: $A_{\text{макс}} = 1$ мм;
- тип генерируемых колебаний: гармонические;
- простота переноса на другую точку детали и крепления к ней.

Исходя из указанных выше факторов, следует отметить крайне нежелательное использование магнитоотрицательных вибровозбудителей и вибровозбудителей на основе гидросистем.

В случае с магнитомеханическим вибровозбудителем появляется сложность его крепления к обрабатываемой детали и необходимость специальной системы управления.

Поэтому следует применять в устройствах виброобработки вибровозбудители на основе инерционного или эксцентрикового принципов.

Ввиду того, что системы виброобработки работают в колебательных режимах, присутствует обмен энергией в её подсистемах. Систему виброобработки с электродвигателем можно рассматривать как подсистему электрическую и подсистему механическую с постоянным обменом энергии. На высоких частотах виброобработки с малой постоянной времени электродвигателя нельзя пренебрегать упругой механической связью с подсистемами, вносящую дополнительные изменения в закон движения вращающейся массы. Кроме того упругий элемент связи обладает запасом потенциальной энергии при крутильных деформациях, которую в идеальном случае можно направить на энергию колебаний обрабатываемой детали, повышая таким образом КПД системы. Для компенсации дополнительных колебаний массы, вносимых упругой связью, существует ряд способов, основанных на демпфирующем эффекте двигателя. В момент обмена энергией между подсистемами двигатель должен представлять колебательное звено.

Выходным параметром систем вибрационного старения является сила, изменяемая как по амплитуде, так и по частоте, так как эффективность виброобработки зависит главным образом от деформации материала. В [5] утверждается что системы и средства виброобработки, предназначенные для сообщения механическим конструкциям колебательной энергии, должны обладать хорошей управляемостью, надежностью и простотой в обслуживании.

Системы управления разделяют на резонансные или нерезонансные. Обработка на частотах, далеких от резонансных, пригодна для деталей с малой жесткостью. Таким образом, установки вибростабилизации, не использующие резонансного явления самой конструкции, являются малоэффективными и вытесняются системами с настройкой на резонанс и обработкой на резонансных частотах. Согласно [6] выход за оптимальные параметры виброобработки (циклы нагружения, амплитуда) влияет на снижение усталостной выносливости обрабатываемой детали. Поэтому системой управления вибровозбудителем на резонансных пиках с крутыми склонами частота виброобработки должна поддерживаться и регулироваться с большой точностью.

Из вышеуказанного вытекают следующие требования к системе управления виброкомплексом:

- коэффициент демпфирования двигателя: $\xi_d \leq 0,5$;
- колебательность: $\mu = 2 \dots 3$;
- статическая ошибка: $\delta_{ст} \rightarrow 0$;
- динамическая ошибка: $\delta_d = 2 \dots 4\%$

Выводы. Для задачи стабилизирующей виброобработки крупногабаритных деталей рекомендуется использовать вибровозбудитель на основе эксцентрикового механизма в связи с его частотным и амплитудным диапазоном, гармоническим типом возбуждаемых колебаний, а также простотой переноса на различные участки обрабатываемой детали. Система управления должна обеспечивать вышеуказанные требования и обмен энергией между двигателем и деталью, используя электромеханическую связь и, с её помощью, выполнять активное демпфирование колебаний, для чего необходимо дополнительное изучение способов оптимизации упругих электромеханических систем при изменяющейся частоте возмущающих колебаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрыга А. И. Вибростабилизирующая обработка сварных и литых деталей в машиностроении: Теория, исследование, технология / А.И. Дрыга. – Краматорск : ДГМА, 2004. – 168 с. – ISBN 966-7851-46-X.
2. Гедрович А. И. Снижение остаточных напряжений в сварных изделиях при обработке на вибрационных стендах [Текст] / А. И. Гедрович, А. В. Хижняк // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 152-157.
3. Жидков А. Б. Влияние вибрационной обработки на свойства наплавленного металла / А. Б. Жидков, В. В. Скорытченко, А. В. Бульчев, А. П. Ткач // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 181-187.
4. Рагульскис К. М. Вибрационное старение [Текст] / К. М. Рагульскис, Б. Б. Стульпинас, К. Б. Толутис ; Под ред. К. М. Рагульскиса. — Л.: Машиностроение, 1987. — 72 с. — (Б-ка инженера. Вибрационная техника; Вып. 9).
5. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник : В 2-х кн. Кн. 2 [Рисунок, Текст] / Под ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1978, – 439 с.
6. Колот А. В. Исследование влияния энергосберегающего виброреформационного старения на усталостную выносливость ответственных деталей локомотивов / А. В. Колот, В. А. Колот, А. Н. Ткаченко, В. П. Гундарь // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 6. – С. 26-29.

Надійшла до редколегії 17.04.2011

Рецензент: О.І. Толочко

М. О. ЗАДОРЖНИЙ, О. В. КОЛОТ, Д. С. ПОНОМАРЬОВ
Донбаська державна машинобудівна академія

N. ZADOROZHNIY, A. KOLOT, D. PONOMARYOV
Donbass State Machine-Building Academy

Обґрунтування вибору типу вібровозбудувача для вібростабілізуючої обробки великогабаритних зварних деталей. У даній статті виконаний огляд відомих приводних пристроїв вібровозбудувачів, виконаний вибір типу приводного пристрою вібровозбудувача для стабілізації залишкових напруг зварних конструкцій, а також сформульовані показники якості системи керування віброкомплексом на основі аналізу технологічного процесу виброобробки.

Вібровозбудувач, залишкові напруги, зварні деталі, система керування, технологічні вимоги.

Ground of Vibroexciter Typeselection for Stabilizing Weldment Remaining Tensions of Large Weld-Fabricated Details. The review of the known vibroexciters drives is executed in this article, a type selection of vibroexciter drive is executed for stabilizing of weldments remaining tensions, and also the indexes of control system quality by a vibrocomplex are formulated on the basis of vibrotreatment technological process analysis.

Vibroexciter, remaining tensions, weld-fabricated details, control system, technological requirements.