

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БАРАБАНАХ ГРОХОТОВ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ СТАРЕНИИ

Деньщиков А. Ю.

Проведен динамический анализ для барабанов грохотов, производимых ЗАО «Лисичанский машиностроительный завод», при помощи CAE – пакета COSMOS/2M. Он позволил определить собственные частоты и формы колебаний барабана, соответствие их параметрам, развиваемым вибровозбудителем. Произведен выбор наиболее рациональных параметров. Проведены экспериментальные исследования, при которых вибровозбудитель с развиваемым усилием до 30 кН был установлен внутри барабана и закреплен струбцинами. Остаточные напряжения были измерены до и после вибрационной обработки прибором ИОН-4М в 22 точках, равномерно распределенных по конструкции. Полученные значения величин остаточных напряжений подтвердили результаты, полученные теоретически, и позволили рекомендовать технологию вибрационного старения к внедрению взамен термообработки с целью снижения величины остаточных напряжений.

Проведено динамічний аналіз для барабанів грохотів, вироблених ЗАТ «Лисичанський машинобудівний завод», за допомогою CAE-пакета COSMOS / 2M. Він дозволив визначити власні частоти та форми коливань барабана, відповідність їх параметрам, що розвиває віброзбуджувач. Зроблено вибір найбільш раціональних параметрів. Проведено експериментальні дослідження, при яких віброзбуджувач з розвиваємих зусиллях до 30 кН був встановлений усередині барабана і закріплений струбцинами. Залишкові напруження були виміряні до і після вібраційної обробки приладом ІОН-4М в 22 точках, рівномірно розподілених по конструкції. Отримані значення величин залишкових напружень підтвердили результати, отримані теоретично, і дозволили рекомендувати технологію вібраційного старіння до впровадження натомість термообробки з метою зниження величини залишкових напружень.

The author of the dynamic analysis was carried out for screening drum produced by JSC "Lisichanskiy Machine Building Plant" by CAE-package COSMOS / 2M. He allowed us to determine the natural frequencies and mode shapes of the drum, that their parameters is developed by exciter. Material selection of the most efficient options. Experimental studies in which the exciter to reinforce the efforts of up to 30 kN has been installed inside the drum and attached clamps. Residual stresses were measured before and after the vibratory stress relief device ION-4M at 22 points uniformly distributed on a design. The obtained values of residual stress confirmed the results obtained in theory, and led to the recommendation of vibratory stress relief technology in return for the introduction of heat treatment in order to reduce the residual stresses.

Деньщиков А. Ю.

канд. техн. наук, доц. каф. КИТ ДГМА  
[alex\\_day@ukr.net](mailto:alex_day@ukr.net)

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 539.4.014:621.7.019.5

Деньщиков А. Ю.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БАРАБАНАХ ГРОХОТОВ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ СТАРЕНИИ

В процессе изготовления машиностроительных конструкций в них возникают остаточные напряжения, которые снижают срок эксплуатации конструкции и могут привести к преждевременному выходу из строя. При этом операция снижения остаточных напряжений является одной из наиболее трудновыполнимых и требует больших материальных затрат. В инженерной практике применяют многочисленные способы уменьшения напряжений, непрерывно совершенствуются и разрабатываются новые методы.

Один из таких методов – вибрационный метод снятия остаточных напряжений и деформаций, основанный на обработке изделий в резонансном режиме, переменными напряжениями, достаточными для протекания упругопластических деформаций металла (вибрационное старение) [1–4]. В отличие от других методов высокая эффективность и экономичность вибрационного старения обеспечивается независимо от марки конструкционного материала [1]. По производительности и простоте процесса вибрационное старение в большинстве случаев имеет преимущества перед другими методами и соответствует основным требованиям, предъявляемым к применяющимся в практике средствам снижения напряжений.

К сожалению, применение данного метода сильно ограничивается недостаточной изученностью процессов происходящих в материале в процессе виброобработки. Остаются неопределенными оптимальные условия закрепления, точка приложения и величина возмущающей силы, время обработки изделий [2, 4]. В настоящее время, эти вопросы решаются на основании экспериментальных исследований, что зависит от личного опыта экспериментатора, при ошибках которого обработка оказывается недостаточно эффективной, и часто приводит к негативному результату (образование трещин, разрушения конструкций).

Потому, разработка надежных расчетных методов для выбора рациональных параметров вибрационной обработки изделий являются актуальной и практически важной научно-технической проблемой, решение которой позволит повысить технико-экономические показатели процесса вибрационного старения, создать эффективные технологии и оборудование для вибрационной обработки.

Целью работы является повышение эффективности технологии снижения остаточных напряжений в элементах машиностроительных конструкций методом вибрационной обработки путем выбора ее рациональных параметров расчетным путем.

Для реализации цели работы поставлены такие задачи: создать конечно-элементную модель конструкции; определить частоты свободных колебаний и формы вынужденных колебаний; выбрать наиболее рациональные режимы обработки на основе полученных расчетов; провести экспериментальную проверку правильности выбора режимов.

Работы по определению рациональных параметров вибрационной обработки проведены на ЗАО «Лисичанский машиностроительный завод». Рассматриваемые барабаны представляют собой крупногабаритные сварные конструкции цилиндрической формы длиной 3,5 м и диаметром до 2,4 м, изготовленные из стали HARDOX 450. Внутри барабан усилен стальными накладками шириной 200 мм и длиной, равной длине конструкции (рис. 1). Большая протяженность и общее количество сварных швов приводят к возникновению значительных остаточных напряжений, но габариты конструкции делают затруднительной возможность их снижения традиционной термической обработкой, поэтому представляется перспективным внедрение вибрационной обработки.

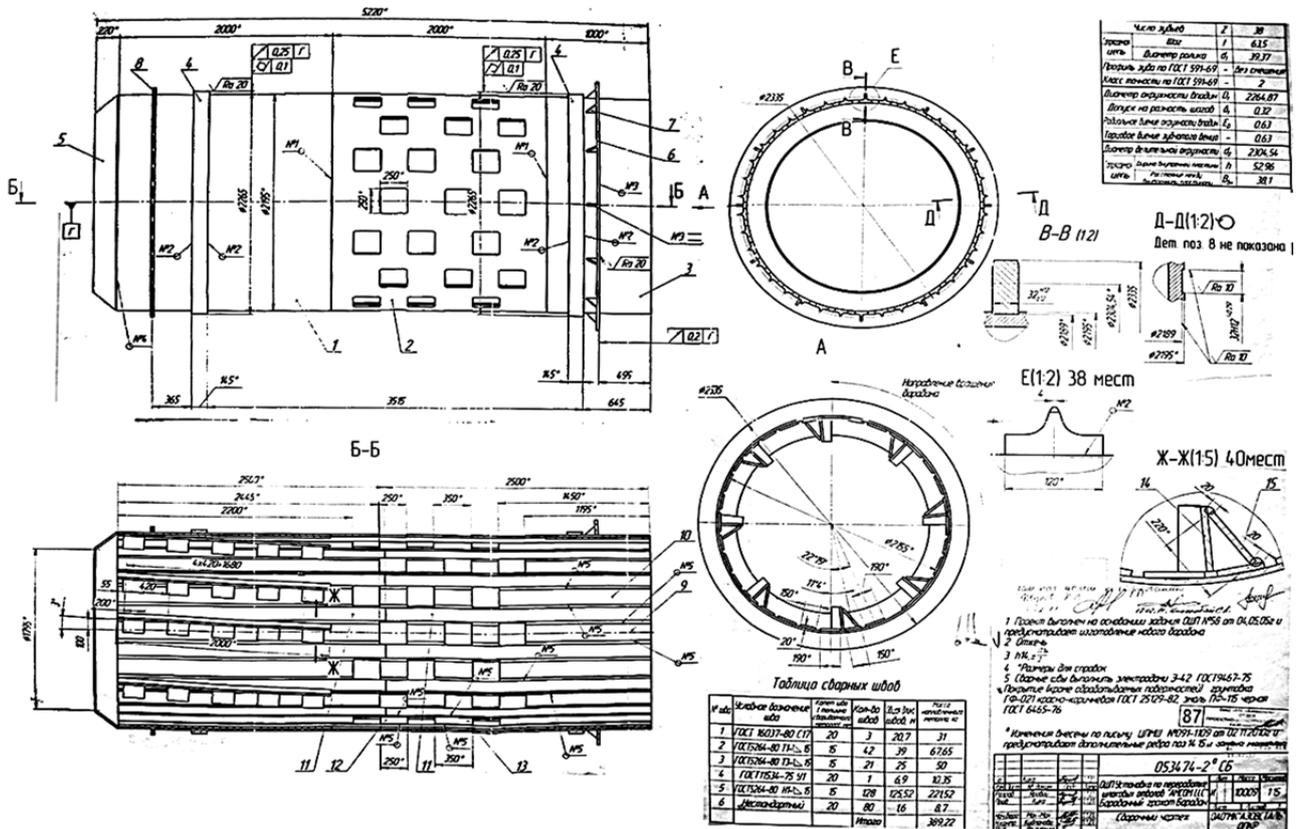


Рис. 1. Барабан грохота

Перед проведением вибрационной обработки была разработана модель обрабатываемой конструкции в САЕ – пакете COSMOS/2M. Полученная конечно-элементная модель (рис. 2) состоит из 660 узлов и 200 конечных элементов. При моделировании было принято, что конструкция опирается своей нижней частью на 3 опоры, распределенные равномерно вдоль образующей. Проведенный динамический анализ позволил определить собственные частоты колебаний барабана.

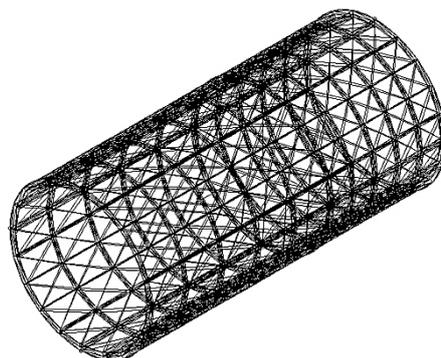


Рис. 2. Конечно-элементная модель барабана

Из результатов расчета собственных частот, приведенных в табл. 1, определено, что в частотном диапазоне используемого оборудования находятся только первые 2 собственные частоты. Данным частотам соответствуют формы колебаний, представленные на рис. 3. Как можно увидеть, при колебаниях с частотой, равной первой собственной частоте, происходит депланирование цилиндра с распором в горизонтальном направлении, а на второй – в вертикальном. Оценены также максимальные перемещения и величины

возникающих динамических напряжений. На рис. 4 и 5 представлены зависимости перемещений от времени для точек 1 и 2 (рис. 3), расположенных в срединном сечении барабана, в направлении их максимальных перемещений. Как можно увидеть, система выходит на установившийся режим уже на третьем размахе колебаний.

Оценивая амплитуду динамических напряжений, следует отметить, что максимальные значения эквивалентных напряжений достигаются при колебаниях с частотой, равной первой собственной частоте колебаний (рис. 4). Напряжения, возникающие при колебаниях на второй резонансной частоте (рис. 5), ниже примерно на порядок, соответственно обработка на данной частоте будет малоэффективной.

Таблица 1

Расчетные собственные частоты и период колебаний

№	Собственная частота, $c^{-1}$	Период колебаний, с
1	38,0057	$2,63119 \cdot 10^{-2}$
2	100,377	$9,96246 \cdot 10^{-3}$
3	164,468	$6,08022 \cdot 10^{-3}$
4	217,595	$4,59568 \cdot 10^{-3}$



Рис. 3. Формы колебаний на первой (а) и второй (б) собственных частотах колебаний

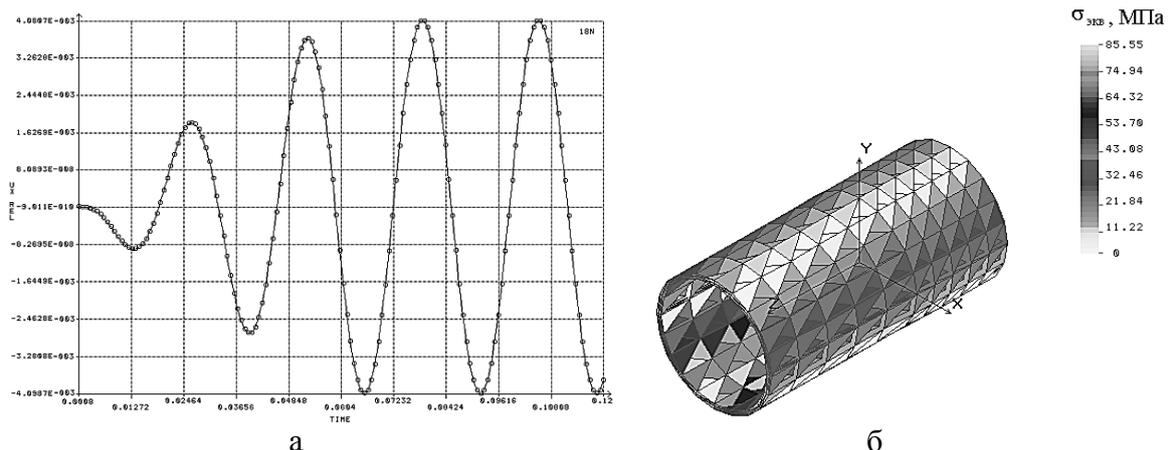
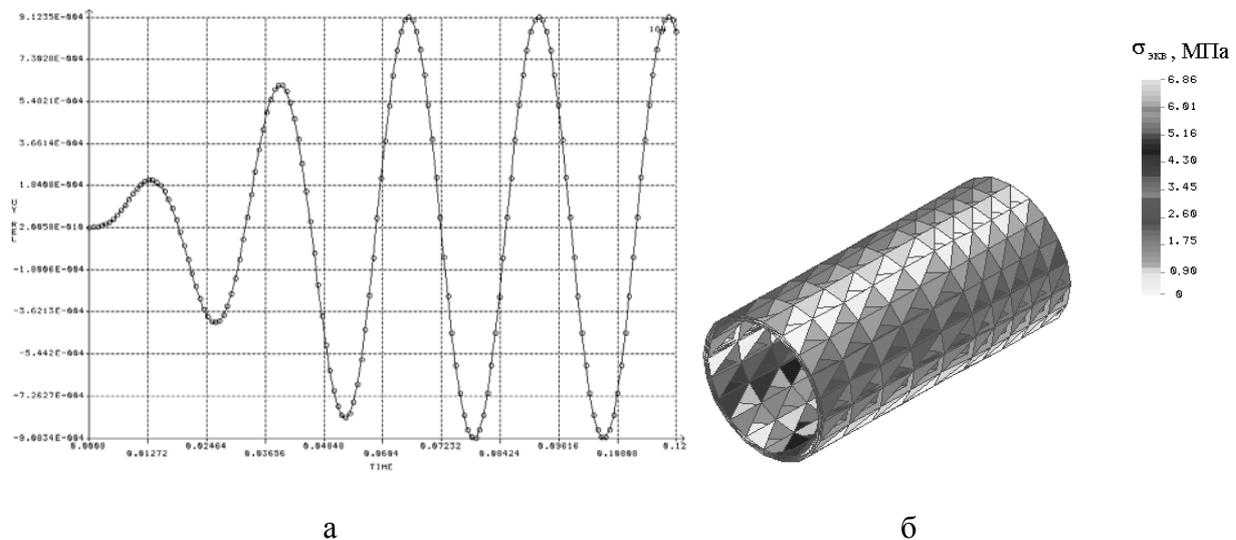


Рис. 4. Перемещение в горизонтальном направлении (а) и амплитуда динамических напряжений (б) точки 1 при колебаниях на первой резонансной частоте

При проведении процесса вибрационной обработки конструкция для виброизоляции была установлена на резиновые скаты от большегрузных автомобилей (рис. 6.а), позволяющие снизить передаваемые на пол цеха вибрации.

Вибровозбудитель с развиваемым усилием до 30 кН был установлен внутри барабана и закреплен струбцинами (рис. 6, б). Остаточные напряжения были измерены до и после

вибрационной обработки прибором ИОН-4М в 22 точках, равномерно распределенных по конструкции. Полученные значения величин остаточных напряжений приведены в табл. 2.



а

б

Рис. 5. Перемещение в горизонтальном направлении (а) и амплитуда динамических напряжений (б) точки 2 при колебаниях на второй резонансной частоте

Таблица 2

## Результаты измерения напряжений

Номер точки	Значение напряжений		Изменение величины напряжений	
	До обработки, МПа	После виброобработки, МПа	Абсолютное, МПа	Относительное, %
1	80	20	60	75
2	8	6	2	25
3	76	12	64	84,21
4	8	6	2	25
5	48	24	24	50
6	48	20	28	58,33
7	52	46	6	11,54
8	48	12	36	75
9	20	16	4	20
10	88	60	28	31,82
11	50	16	34	68
12	24	16	8	33,33
13	52	24	28	53,85
14	80	64	16	20
15	84	64	20	23,81
16	46	28	18	39,13
17	16	0	16	100
18	20	10	10	50
19	64	44	20	31,25
20	36	24	12	33,33
21	62	12	50	80,65
22	80	60	20	25,00



а



б

Рис. 6. Процесс вибрационной обработки:  
а – конструкция на опорах; б – закрепление вибровозбудителя

Обработка проводилась на первой резонансной частоте в течение 20 минут, что примерно соответствует  $46 \cdot 10^3$  циклам колебаний.

Как показали измерения остаточных напряжений (табл. 2), в среднем напряжения уменьшились на 40 %, что свидетельствует о достаточной эффективности предлагаемой методики снижения величины остаточных напряжений.

### ВЫВОДЫ

В работе выполнена научно-практическая задача изменения уровня остаточных напряжений в элементах машиностроительных конструкций при вибрационной обработке. Основные теоретические и практические результаты проведенного исследования заключаются в следующем:

- предложен метод выбора рациональных параметров процесса вибрационного старения в элементах конструкций;
- определены значения динамических напряжений при колебаниях конструкции с частотами равными резонансным, что позволило рационально выбрать режимы вибрационного возбуждения;
- проведенные экспериментальные исследования подтвердили результаты, полученные теоретически, и позволили рекомендовать технологию вибрационного старения к внедрению взамен термообработки с целью снижения величины остаточных напряжений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жидков А. Б. Исследование процессов, происходящих в сварных конструкциях при виброобработке на имитационных моделях / А. Б. Жидков, В. А. Сысоев // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 2 (19). – С. 106–111.
2. Деньчиков А. Ю. Процесс вибрационного старения в толстостенных трубах / А. Ю. Деньчиков // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Юрія Кондратюка. – Полтава : ПолНТУ, 2009. – Вип. 3, Т. 1. – С. 60–66.
3. Цветков А. С. Применение низкочастотной виброобработки для уменьшения уровня остаточных напряжений в сварных крупногабаритных конструкциях / А. С. Цветков, Ю. П. Солнцев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2008. – № 5 (74). – С. 52–53.
4. Деньчиков А. Ю. Изучение процесса вибрационного старения в осесимметричных пластинах / А. Ю. Деньчиков, А. Н. Слипчук, С. В. Подлесный // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні : український міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів : Видавництво «Львівської політехніки», 2011. – Вип. 45. – С. 289–295.

Статья поступила в редакцию 11.10.2012 г.