

УДК 620.17.002.5:620.178.5

С. А. Маньков, Т. И. Прибора

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВИБРОУДАРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЯ

В работе рассмотрены вопросы статической и динамической прочности установки для проведения виброударного упрочнения поверхностного слоя изделия. Создана конечно-элементная модель исследуемого контейнера с помощью расчетного комплекса ANSYS. Проведена оценка статической и динамической прочности и выполнен гармонический анализ контейнера установки.

Ключевые слова: виброударное упрочнение, поверхностный слой, конечно-элементная модель, статическая прочность, динамическая прочность, модальный анализ, гармонический анализ.

Введение

Вибрационная ударная (виброударная) обработка является разновидностью объемной вибрационной обработки. При виброударной обработке в рабочей камере, смонтированной на упругих подвесах и имеющей возможность колебаться в различных направлениях, сообщаются низкочастотные колебания. Вследствие вибрации рабочая среда и обрабатываемые детали имеют переменные по знаку ускорения и находятся в интенсивном относительном перемещении. Направление относительных перемещений детали и рабочих тел постоянно меняется, в результате чего между ними возникают соударения и интенсивное трение [1–2].

Цель работы - оценка статической прочности контейнера, определение собственных частот и форм колебаний контейнера, оценка вибрационных характеристик конструкции при работе в заданном диапазоне частот вынужденных колебаний. В качестве инструмента для выполнения указанной работы использовался численный метод и расчетный комплекс ANSYS [3].

Объект исследования – стальной сварной кораб, с верхними откидными крышками (рис. 1).

Проведение численного исследования

В ходе работы создана конечно-элементная модель исследуемого контейнера. Материал конструкции - свариваемая сталь, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$; $\rho = 7,8 \cdot 10^{-10}$ кгс·мм⁻⁴·с². Генерация конечно-элементной сетки проведена таким образом, что по всему объему конструкции размер элемента был одинаков, отсутствуют элементы с критическим углом.

Граничные условия

Нулевое закрепление конструкции задано по внешней площади днища, моделируя закрепление контейнера к платформе болтами. К внутренним поверхностям контейнера приложено давление $2 \cdot 10^3$ МПа от шариков. В случае решения статической задачи, приложенное давление увеличено в 4 раза для оценки напряженно-деформированного состояния при максимальном нагружении. Обрабатываемое изделие помещается в контейнер на двух опорах. В местах расположения опор в математической модели приложена распределенная по узлам сила веса обрабатываемого изделия и самих опор $F = P/2 = 500$ Н.

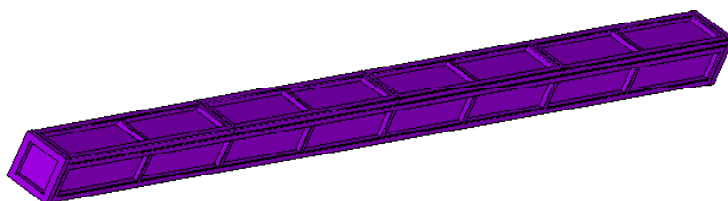


Рис. 1. Сварной корпус контейнера для проведения виброударного упрочнения поверхностного слоя обрабатываемого изделия

Статическая прочность объекта исследования

Распределение суммарных перемещений конструкции и максимальных эквивалентных напряжений приведено на рис. 2, 3. Из представленных результатов статического расчета контейнера видно, что уровень перемещений достаточно мал, как и уровень эквивалентных напряжений.

Кроме того, не смотря на незначительные величины суммарных перемещений и эквивалентных напряжений, максимальные из них возникают в зоне крышки контейнера. Корпус контейнера не имеет всплесков напряжений и перемещений.

Динамическая прочность объекта исследования

Расчетным комплексом ANSYS проведен модальный анализ по определению форм и частот собственных колебаний. Схема закрепления и нагружения осталась такая же, как при статическом анализе. Формы и частоты первых форм колебаний представлены на рис. 4, 5.

Поскольку виброударный процесс упрочнения проводится в интервале частот $F = 0...50$ Гц, ограничились контролем двух первых форм собственных колебаний контейнера. Для визуализации результаты представлены в достаточном масштабе и в относительной форме. Первые две формы собственных колебаний ($F_1 = 48,8925$ Гц, $F_2 = 63,872$ Гц) находятся в критической близости к рабочему диапазону виброустановки ($F_{\text{раб}} = 0...50$ Гц).

Гармонический анализ

Для оценки вибрационной прочности конструкции проводим гармонический анализ. Расчетная модель остается прежней и граничные условия не меняем. При организации решения задаем диапазон частот 20...70 Гц. Для просмотра результатов решения выбираем три узла, для которых построим графики перемещений и ускорений в зависимости от частоты нагружения. Узлы выбираем с учетом первой формы собственных колебаний, узлы № 1, 2, 3 расположены посередине ребер крышки контейнера (рис. 6).

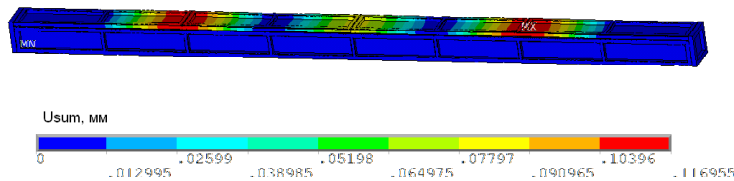


Рис. 2. Распределение суммарных перемещений в конструкции контейнера

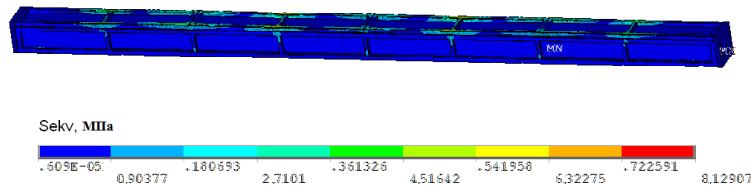


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в конструкции контейнера

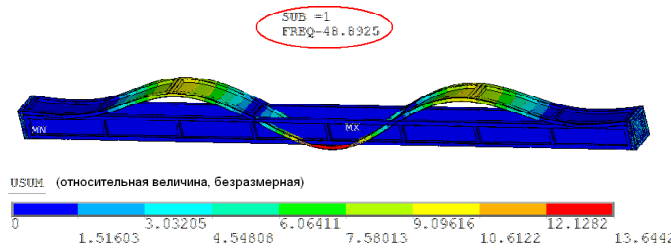


Рис. 4. Первая форма и частота собственных колебаний контейнера

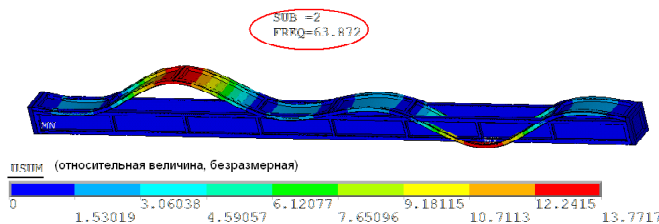


Рис. 5. Вторая форма и частота собственных колебаний контейнера

График перемещений выбранных узлов в зависимости от частоты представлен на рис. 7. Всплеск значений перемещений на графике определяет частоту резонанса. Согласно приведенному графику частота резонанса $F = 49$ Гц. Этой частоте соответствует форма колебаний, приведенная на рис. 8.

Эквивалентные напряжения в конструкции, соответствующие состоянию резонанса при частоте $F = 49$ Гц, показаны на рис. 9.

Уровень напряжений оцениваем запасом прочности : $K_m = \sigma_s / \sigma_{max} = 950/370 \approx 2,5$.

По результатам расчета строим график ускорений узла 1 (рис. 10). При гармоническом анализе ускорение представляет собой произведение приращения перемещения на квадрат частоты.

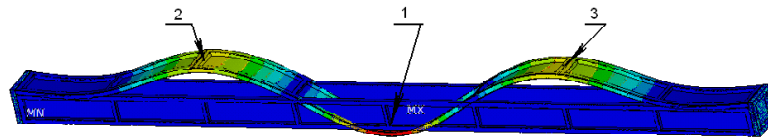


Рис. 6. Расположение выбранных узлов для построения графиков перемещений и ускорений

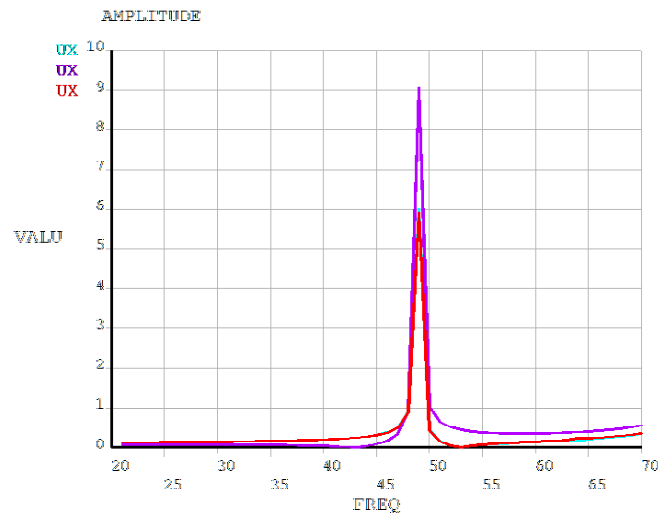


Рис. 7. Зависимость перемещений выбранных узлов от частоты колебаний

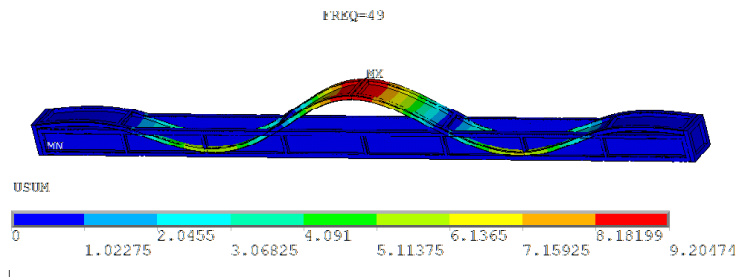


Рис. 8. Форма колебаний контейнера, соответствующая частоте резонанса $F = 49$ Гц

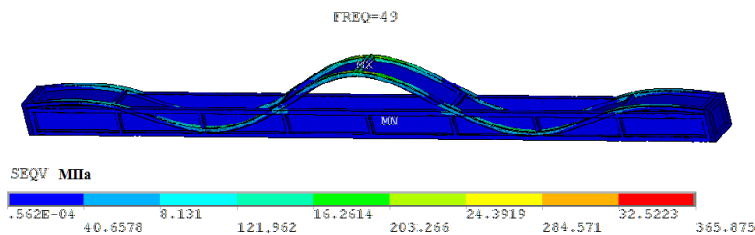


Рис. 9. Эквивалентные напряжения в конструкции контейнера, соответствующие частоте резонанса $F = 49$ Гц

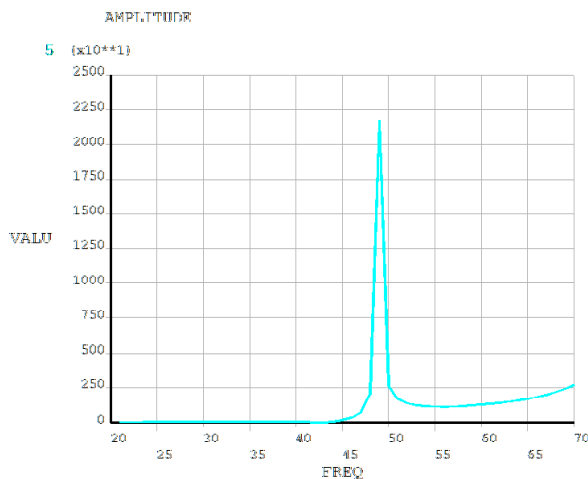


Рис. 10. График ускорения для узла 1 в зависимости от частоты

Выводы

Проведенная работа показывает, что использование численного метода и расчётного комплекса ANSYS более чем оправдано при оценке экспериментального и опытного оборудования. Полученные результаты дают возможность совершенствовать установку.

По результатам оценки статической прочности контейнера следует, что величины перемещений от приложенных нагрузок незначительные (0,1169 мм), и уровень эквивалентных напряжений также низкий (8,12 МПа).

Расчет собственных колебаний конструкции показал, что первая собственная частота попадает в интервале вынужденных колебаний установки ($F = 48,8$ Гц).

Результаты гармонического анализа показывают, что резонанс возможен при частоте проведения виброударного упрочнения $F = 49$ Гц.

Рекомендуется произвести отстройку частот резонанса путем изменения конструкции крышки, при этом определиться на каком режиме (до-резонансный, резонансный и зарезонансный) планируется работа установки. Вариант изменения в конструкции может быть принят через ряд численных экспериментов.

Список литературы

1. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник / Одинцов Л. Г. — М. : Машиностроение, 1987. — 328 с.
2. Очагов С. В. Технологии обработки авиаматериалов. Чистовые способы вибрационной обработки и упрочнения поверхностей деталей : учебное пособие / Очагов С. В. — М. : МИИГА, 1991. — 44 с.
3. Чигарев А. В. ANSYS для инженеров : справ. пособие / Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. — М. : Машиностроение, 2004 — 512 с.

Поступила в редакцию 10.04.2017

Маньков С.А., Прибора Т.І. Аналіз статичної та динамічної міцності установки для проведення віброударного зміцнення поверхневого шару виробу

В роботі розглянуто питання статичної та динамічної міцності установки для проведення віброударного зміцнення поверхневого шару виробу. Створено кінцево-елементну модель досліджуваного контейнера за допомогою розрахункового комплексу ANSYS. Проведено оцінку статичної та динамічної міцності та виконаний гармонійний аналіз контейнера установки.

Ключові слова: віброударне зміцнення, поверхневий шар, кінцево-елементна модель, статична міцність, динамічна міцність, модальний аналіз, гармонійний аналіз.

Mankov S., Pribora T. Analysis of static and dynamic strength of equipment for vibroshock hardening of the product's surface layer

We consider the problems of static and dynamic strength of equipment for vibroshock hardening of the product's surface layer. Created finite element model of the test container using calculation complex ANSYS. Assessment of static and dynamic strength and harmonic analysis is made of the equipment's container.

Key words: vibroshock hardening, surface layer, finite element model, static strength, dynamic strength, modal analysis, harmonic analysis.