

А. Ф. Козьяков, к.т.н., проф., А. Е. Панфилов, к.т.н., доц., О. А. Ходырева, МГТУ им. Н. Э. Баумана

Из опыта снижения шума при клепке тонкостенных оболочек

Рассмотрены результаты исследования шума при клепке тонкостенных оболочек в цехах завода им. Хруничева, на базе которого были разработаны вибродемпфирующие конструкции различных типов, позволяющие в значительной мере снизить уровень шума в процессе клепально-сборочных работ и в то же время не ухудшающие условия их проведения, т. е. не снижающие производительность труда.

Клепально-сборочные работы широко распространены в машиностроении, особенно в тех его областях, где имеется ограничение по массе конструкции. В этом случае клепка имеет существенные преимущества перед сваркой практически при тех же показателях прочности. В это же время процесс клепки характеризуется шумом высокого уровня, обуславливающим неблагоприятное воздействие указанного технологического процесса на работающих. Особенно это относится к клепально-сборочным работам с тонкостенными оболочками. Эквивалентный уровень звука в этом случае может превышать установленные гигиенические нормативы на 20...30 дБА в зависимости от вида оболочки (цилиндрическая, коническая, полуцилиндрическая и т. д.).

Необходимо отметить, что рассматриваемый процесс включает в себя две технологические операции: сверление отверстий под заклепки и собственно клепку. Шум при сверлении значительно меньше шума при клепке (рис. 1). Это связано с гораздо меньшими силовыми воздействиями на оболочку при использовании сверлильных машин. Поэтому разработка шумоглушащих конструкций велась непосредственно для процесса клепки.

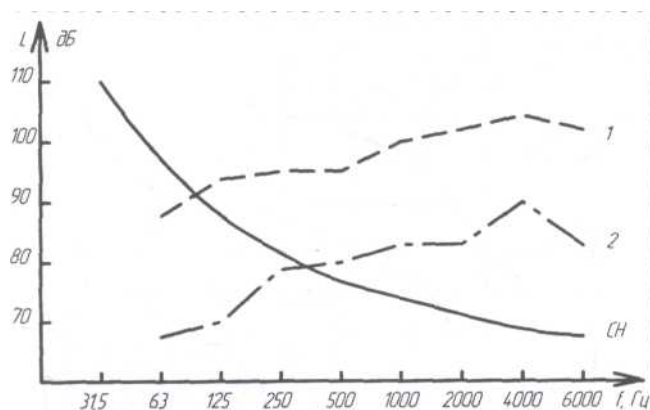


Рис. 1 Уровни шума при клепке и сверлении на местах (по данным [1]):

1 — клепка; 2 — сверление; СН — санитарные нормы

Шум при клепке в отличие от шума при сверлении является непостоянным, поэтому в качестве основной его характеристики использовался эквивалентный уровень L_{Aeq} , однако для качественной сравнительной оценки снижения уровня шума при использовании различных средств вибродемпфирования определялся также спектр уровней среднеквадратического звукового давления.

Как показали проведенные исследования, основным источником шума при клепально-сборочных работах является обрабатываемая тонкостенная оболочка. Излучаемый ею шум полностью определяет шумовую картину на рабочем месте сборщика. Генерация шума тонкостенной оболочкой связана с колебаниями поверхности последней под действием возмущающего усилия, обусловленного процессом клепки. При этом, как по образующей,

так и по направляющей оболочке возникают стоячие волны, которые являются следствием резонансных явлений, возникающих в тонкостенной оболочке [2]. Это подтверждается результатами измерения вибрации ее поверхности (рис. 2). Поэтому наиболее эффективным методом снижения шума в сборочных цехах является демпфирование обрабатываемых оболочек. Последнее может быть реализовано установкой на вибрирующий объект вибропоглощающего материала наклеиванием, напылением либо с помощью специальных съемных устройств. Однако в большинстве случаев наклеивание или напыление таких материалов нецелесообразно или вообще невозможно, поскольку, с одной стороны, это влечет за собой снижение производительности труда, с другой, использование материала типа вибропоглощающих мастик, таких, как "Антивибрит", "ВД-17", обладающих высокой степенью адгезии, вызывают трудности при их удалении с оболочки [3]. Материалы типа "Фольгоизол" не обеспечивают в процессе выполнения технологической операции необходимого контакта с демпфируемой оболочкой (отстают под действием ударных силовых импульсов), что снижает эффективность их применения и, кроме того, эти мастики оставляют следы. Все это так же, как и в случае установки вибродемпфирующих материалов с помощью клеев или напыления, в ряде случаев противоречит жестким требованиям, предъявляемым к шероховатости поверхности готового изделия.

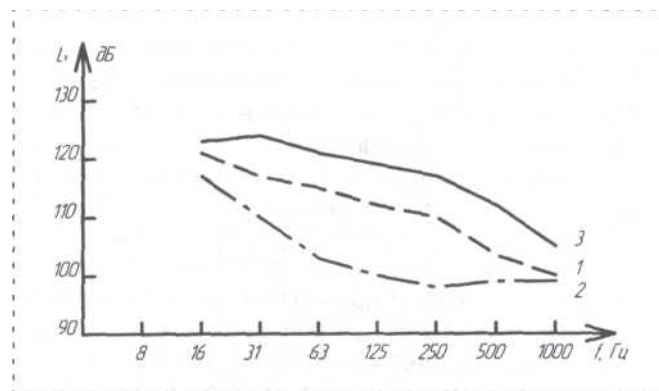


Рис. 2 Усредненные вибрационные характеристики при клепке и сверлении на рабочих местах (по данным [1]) :
1 — клепальные молотки; 2 — сверлильные машины; 3 — поддержка

Учитывая вышесказанное, наиболее рациональным, а в большинстве случаев единственно возможным является демпфирование оболочек с помощью съемных устройств. При этом в качестве вибродемпфирующего материала предпочтительнее использовать резиноподобные материалы, а не жесткие типа пластмасс, что часто обусловлено сложной геометрией поверхности демпфируемого объекта.

Одним из наиболее простых и рациональных способов установки вибродемпфирующего материала на подверженный колебаниям объект является использование механических и пневматических устройств. Конструкции, включающие в себя подобные устройства, наиболее просты и надежны в работе. Использование более сложных гидравлических прижимных устройств, а также магнитных устройств с учетом того, что демпфируемая оболочка может быть изготовлена из немагнитных (алюминиевых) сплавов, крайне затруднительно. Кроме того, предпочтительность применения пневматических механизмов в конструкции для установки и прижима вибродемпфирующего устройства к тонкостенной оболочке обусловлена повсеместным использованием в сборочных цехах сжатого воздуха давлением 400...600 кПа в связи с применением здесь разнообразного пневматического инструмента.

Наиболее простым с точки зрения конструкции демпфером для замкнутых тонкостенных цилиндрических оболочек является устройство, представляющее собой камеру, изготовленную из резиноподобного вибродемпфирующего материала (рис. 3). Эффективность применения подобного устройства определяется материалом, из которого оно изготовлено, толщиной

вибродемпфирующего слоя, площадью контакта с демпфируемой оболочкой (шириной устройства), силой прижатия к последней (давление внутри устройства), а также местом установки по отношению к точке приложения усилия.

Для определения влияния каждого из перечисленных выше параметров на эффективность демпфера, а также выбора их оптимальных значений были проведены экспериментальные исследования. Они включали в себя измерения указанных выше характеристик шума на рабочих местах клепки среднегабаритных цилиндрических оболочек при установке на них вибродемпфирующих устройств с различными значениями конструктивных и рабочих параметров и последующее сравнение с уровнями шума при клепке незадемпфированных оболочек. Измерения проводились для случая приложения усилия (процесс клепки) в середине оболочки (модельный образец оболочки имел длину 3 м, диаметр 0,8 м и толщину 0,001 м и был заземлен с обоих торцов, что соответствовало реальным условиям). При этом на оболочку устанавливались два вибродемпфирующих устройства (по одному с каждой стороны от места клепки).

Использование резины марки ИРП-1004 при толщине стенки камеры $\gamma_d = 0,1$ м позволило обеспечить снижение шума на рабочих местах на 10...14 дБА во всем нормируемом частотном диапазоне (рис. 4). Подобная эффективность превосходит эффективность устройств, в которых используются другие марки резины [4].

Определенное влияние на эффективность устройства, как уже отмечалось, оказывает толщина вибродемпфирующего слоя. Увеличение толщины слоя приводит к снижению уровней шума во всем частотном диапазоне. Особенно значительное снижение наблюдается в октавных полосах 250...4000 Гц. При толщине материала, равной 0,02 м, снижение в этих полосах составляет 15... 17 дБА. Анализ полученных данных показал, что увеличение толщины материала до определенного предела ($\gamma_d = 0,015...0,020$ м) приводит к повышению эффективности устройства. Последующее увеличение толщины не приводит к заметному снижению уровня звука на рабочих местах. Таким образом, существует оптимальное значение толщины демпфирующего материала, превышение которого не обеспечивает значительного повышения эффективности установки устройства, а приводит лишь к увеличению его массы, что в конечном итоге приводит к снижению производительности труда.

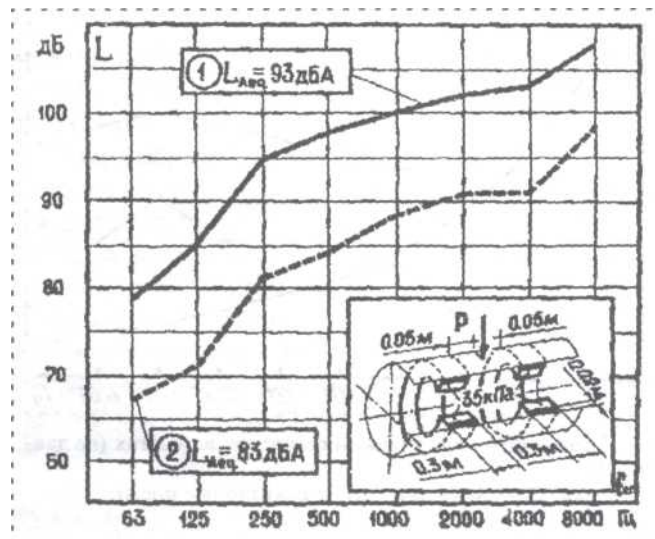


Рис. 4. Уровни шума на рабочих местах клепки среднегабаритной замкнутой цилиндрической оболочки: 1 — оболочка не задемпфирована; 2 — установлено два вибродемпфирующих устройства с пневматическими прижимными приспособлениями

При исследовании влияния статического давления внутри камеры устройства на его эффективность было установлено, что при изменении давления от 0 до 10 кПа происходит значительное повышение эффективности, что особенно ярко выражено в октавных полосах частот 250...1000 Гц, где снижение уровня шума составляет 8... 12 дБА. Это объясняется улучшением контакта

между вибрирующей оболочкой и демпфирующим материалом. Дальнейшее увеличение давления приводит к увеличению эффективности практически равномерному во всем частотном диапазоне, а затем только на низких частотах (63... 125 Гц). Это можно объяснить увеличением жесткости конструкции.

При изменении ширины вибродемпфирующей поверхности (высоты камеры) изменяется площадь контакта звукопоглощающего материала с вибрирующей поверхностью, что соответственно приводит к изменению эффективности демпфера.

С увеличением ширины демпфера уровни звука на рабочих местах постоянно уменьшаются. При этом в случае изменения ширины от 0 до 0,35 м наблюдается довольно резкий спад значений уровня звука, а дальнейшее увеличение ширины демпфера приводит к незначительному снижению шума. Подобная зависимость изменения уровней звука на рабочих местах от ширины устройства объясняется характером распределения колебаний оболочки по ее поверхности. Хотя по мере увеличения ширины площадь контакта растет, однако, при этом демпфируются точки поверхности оболочки со все меньшими амплитудами колебаний и соответственно в меньшей степени влияющие на уровни звука. Следует иметь в виду, что одновременно со снижением уровня звука на рабочем месте в этом случае растет масса конструкции и ухудшаются ее эксплуатационные характеристики. Кроме того, определенные ограничения накладываются технологическим процессом. Таким образом, в рассматриваемом случае оптимальное значение высоты вибродемпфирующей камеры составило 0,30...0,35 м, при этом снижение эквивалентного уровня звука достигало 12 дБА при $L_d = 0,02$ м. Проведенные исследования по определению спектров уровней шума на рабочих местах при различном расположении демпферов показали, что по мере удаления демпферов от места приложения усилия эффективность их установки постоянно снижается во всем частотном диапазоне. При этом значения уровней шума на рабочих местах приближаются к значениям для случая незадемпфированной оболочки.

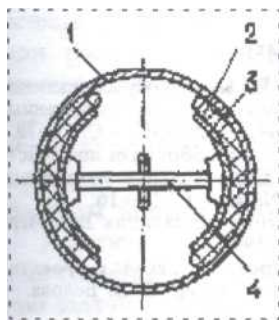


Рис. 5 Внутренняя демпфирующая распорка:

1 — демпфируемая конструкция; 2 — вибропоглощающий материал; 3 — распорные стальные пластины; 4 — распорный винт с правой и левой резьбой

Можно рекомендовать использование внутреннего демпфирующего устройства механического типа, весьма удобного в эксплуатации (рис. 5).

При клепке цилиндрических оболочек относительно малого диаметра эксплуатационно более предпочтительны вибродемпфирующие устройства, предназначенные для внешнего демпфирования (рис. 6 и 7). Их значительно проще монтировать и можно использовать при любых диаметрах цилиндрических оболочек.

При клепке конических тонкостенных оболочек использовалось демпфирующее пневматическое устройство, схема которого представлена на рис. 8, а характеристика эффективности на рис. 9. Принцип его действия аналогичен пневматическому демпферу для цилиндрических оболочек.

Следует отметить, что при клепально-сборочных работах с коническими оболочками генерируемый уровень шума значительно меньше, так как они более жестки в сравнении с цилиндрическими. Однако принципы оптимизации конструкции демпфера в этом случае те же, что и в случае демпфирования цилиндрических оболочек.

Одним из типов тонкостенных оболочек, подвергаемых клепке в сборочных цехах, являются цилиндрические оболочки открытого профиля. Для демпфирования колебаний

оболочек подобной формы использование вибродемпфирующих устройств, рассмотренных выше, практически не представляется возможным.

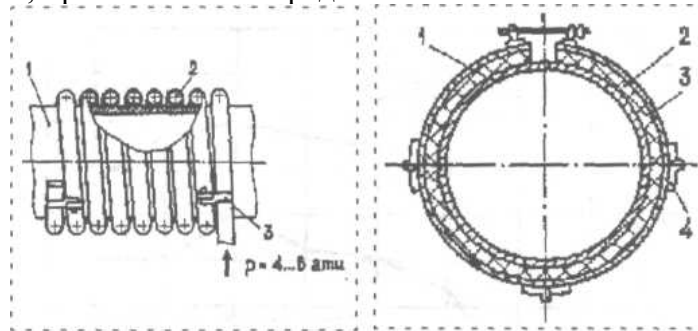


Рис. 6. Пневматическое демпфирующее устройство:

- 1 — демпфируемая конструкция;
- 2 — резиновый шланг;
- 3 — крепежные скобы.

Рис. 7. Наружная демпфирующая стяжка:

- 1 — демпфируемая конструкция;
- 2 — вибропоглощающий материал;
- 3 — стальная стяжка-хомут; 4 — петля

Как уже отмечалось, наряду с вибродемпфирующими устройствами с пневматически прижимным (крепежным) приспособлением, наиболее простым, надежным в работе и приемлемым к использованию в сборочных цехах является устройство с механическим прижимным (крепежным) приспособлением. Поэтому в данном случае наиболее целесообразным является использование устройств именно такого типа.

В общем виде оптимальная конструкция подобного вида представляет собой полосу вибродемпфирующего материала, охватывающего снаружи тонкостенную оболочку. Концы полосы стянуты и скреплены между собой каким-либо механическим приспособлением (рис. 10). Последнее создает в вибродемпфирующем материале определенный натяг, что обеспечивает установку устройства и его прижим к демпфируемой тонкостенной конструкции. Эффективность применения подобного устройства также, как и в случае пневматического демпфера, зависит от вибродемпфирующего материала, его толщины, площади контакта с демпфируемой оболочкой (ширина устройства), силы прижатия к последней, а также его месторасположения по отношению к точке приложения возмущающего усилия (клепки).

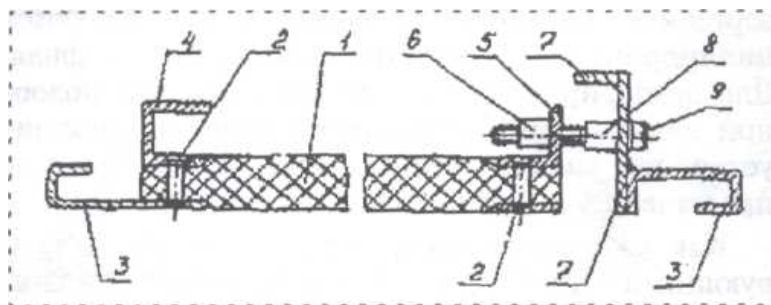


Рис. 10. Вибродемпфирующее устройство с механическим крепежным приспособлением для тонкостенных цилиндрических оболочек открытого профиля:

- 1 — демпфирующий упругий элемент; 2 — заклепка; 3, 4 — скоба; 5 — профиль; 6 — гайка; 7 — планка замка;
- 8 — корпус замка; 9 — винт

Наиболее эффективным в этом случае оказалось использование резины марки 922 толщиной, как и ранее 0,02 м. [5]. Оптимальная ширина демпфирующей полосы вновь составила 0,35 м. Спектры шума на рабочем месте при наличии демпфера и при его отсутствии представлены на рис. 11. Там же указаны соответствующие значения эквивалентного уровня звука.

При клепке полуцилиндрических оболочек возможно использование вибродемпфирующей системы, представленной на рис. 6, однако ее эффективность в этом случае значительно ниже в сравнении со случаем цилиндрических оболочек.

Рассмотренные в статье вибродемпфирующие устройства показали свою несомненную акустическую эффективность при проведении клепально-сборочных работ. При этом они не ухудшали условий проведения технологического процесса. Следует отметить простоту рассмотренных вибродемпфирующих устройств и связанную с ней несложность их

ИЗГОТОВЛЕНИЯ.

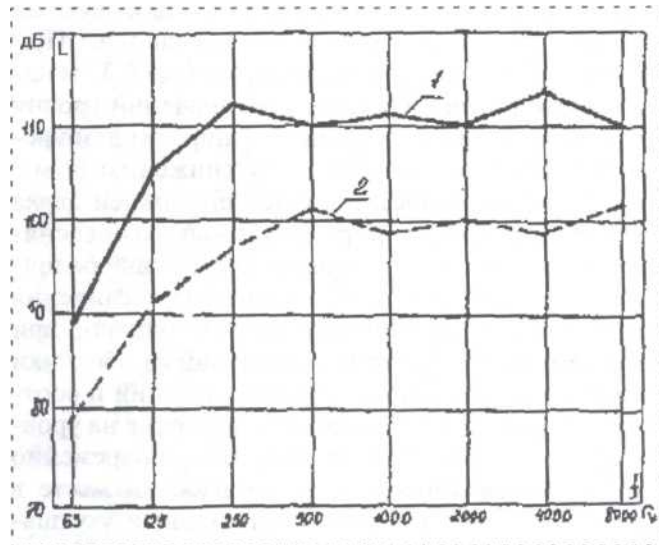


Рис. 11. Спектры уровней шума на рабочих местах при ударной обработке:
1 — без использования шумоглушащих средств; 2 — с использованием вибродемпфирующего устройства

Список литературы

1. Козьяков Л. Ф., Панфилов А. Б. К вопросу определения спектральных характеристик шума при клепке тонкостенных оболочек // Труды МВТУ. - 1987. — № 485. - С. 61-70.
2. Скопинский В. Н. Цилиндрическая оболочка под действием локальных нагрузок // Строительная механика и расчет сооружений. — 1981. № 4. — С. 14—16.
3. Опыт применения виброзвукопоглощающих полимерных материалов. Л.: ЛДНТП. 1991.
4. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справочник / Под ред. проф. С. В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989.