

Учредитель и издатель:
ОАО «Издательство „Политехника“»
191023, Санкт-Петербург,
Инженерная улица, д. 6.
Тел./факс: (812) 312-57-68,
тел.: (812) 571-61-44
E-mail: gfm@polytechnics.spb.ru,
mo@polytechnics.ru
http://www.polytechnics.spb.ru

Редакционный совет

В. К. Глухих
(Председатель),
доктор технических наук,
председатель МКПП (Москва)
И. С. Алиев,
доктор технических наук, профессор
(ДГМА, Краматорск, Украина)
В. А. Брагинский,
кандидат технических наук (СПб)
Д. В. Васильков,
доктор технических наук, профессор
(ПИМаш-ВТУЗ, СПб)
В. Л. Гиршов,
доктор технических наук, профессор
(СПбГПУ)
О. И. Драчев,
доктор технических наук, профессор
(ТГУ, Тольятти)
Ю. И. Зубарев,
доктор технических наук, профессор
(ПИМаш-ВТУЗ, СПб)
В. Н. Иванов,
доктор технических наук, профессор
(ВНИИТВЧ им. В. П. Вологодина, СПб)
К. М. Иванов,
доктор технических наук, профессор
(БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, СПб)
В. В. Максаров,
доктор технических наук, профессор
(СЗГТУ, СПб)
В. А. Малышевский,
доктор технических наук, профессор
(ЦНИИ КМ «Прометей», СПб)
К. К. Мертенс,
доктор технических наук, профессор
(СПбГПУ)
О. Н. Миляев
(зам. председателя ред. совета),
кандидат технических наук,
профессор (СПбГИТМО)
Н. Н. Павлов,
доктор технических наук, профессор
(СПбГПУ)
Б. П. Саушкин,
доктор технических наук, профессор
(РГТУ им. К. Э. Циолковского, Москва)
В. П. Смоленцев,
доктор технических наук, профессор
(ВГТУ, Воронеж)
Л. А. Ушомирская
(зам. председателя ред. совета),
доктор технических наук, профессор
(СПбГПУ)

Редакция

Главный редактор

Г. Ф. Мощенко

(директор издательства)

Ответственный секретарь

А. В. Кольцова

Редактор О. С. Капполь

Корректоры Е. П. Смирнова,

Т. Н. Гринчук

Верстальщик А. А. Имамгалиев

Дизайнер М. Л. Черненко

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и СМИ.

Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-3106 от 10 апреля 2000 г.

Перепечатка статей
возможна только
с разрешения редакции.

© Издательство «Политехника», 2010

МЕТАЛЛООБРАБОТКА

НАУЧНО - ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

1 Обработка материалов резанием

Чемборисов Н. А., Девжеева Т. Г. Обзор методов профилирования червячной фрезы для зубчатых венцов 1
Ардашев Д. В. Фотометрический анализ стружки после шлифования различных сталей 2

2 Электрофизические и электрохимические методы обработки

Зимин Н. В. Технологические режимы индукционной локальной термической обработки сварных соединений изделий различного назначения 1

3 Обработка металлов давлением

Громов В. В. Поддержание равномерной температуры деформации электроконтактным нагревом при осуществлении изотермической штамповки 1
Аюпов И. Ф., Загиров Т. М., Еникеев Ф. У. Влияние роста зерен на режимы деформирования протяженной прямоугольной мембраны в состоянии сверхпластичности 2
Иванов Ю. В. Исследование виброизолирующих установок тяжелых штамповочных молотов ... 2

4 Новые материалы и технологии производства

Табаков В. П., Смирнов М. Ю., Тулисов А. Н. Разработка многослойных покрытий на основе оценки их трещиностойкости 3
Ляшков А. А., Вивденко Ю. Н., Шутов А. Н., Балановский С. А. Моделирование формообразования сложных поверхностей деталей 3

5 Техническая подготовка производства

Магдиев Р. Р. Модель ресурсного обеспечения дискретного производственного участка механообработки и сборки оптоэлектронных приборов 4

6 Станки и оборудование

Тимофеев Б. П., Дайнеко В. Ю. Проблемы изготовления шестеренных насосов 4

Рефераты 5

Контакты с авторами 5

Журнал входит в перечень изданий,
рекомендованных ВАК Минобразования РФ
для публикации основных результатов докторских диссертаций
Подписка: по каталогу «Роспечать» — № 14250,
по Объединенному каталогу «Пресса России»
(через агентство «Книга-сервис») — № 11828.
Журнал выходит каждые 2 месяца.

ЛР № 010292 от 18.08.98

Налоговая льгота — общероссийский классификатор продукции 95 2000 ОК 005-93 (ОКП)

Сдано в набор 09.07.2010. Подписано в печать 31.08.2010. Формат 60х90^{1/8}.

Бумага офсетная. Гарнитура Schoolbook. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 7. Уч.-изд. л. 7,2. Тираж 1500 экз. Заказ 232.

Оригинал-макет изготовлен в ОАО «Издательство „Политехника“»,
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Политехника-сервис»,
191023, Санкт-Петербург, Инженерная ул., д. 6.

3. Мулюков Р. Р. Развитие принципов получения и исследования объемных наноструктурных материалов в ИПСМ РАН // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2, вып. 7–8. С. 38–53.

4. Круглов А. А., Лутфуллин Р. Я. Перспективы применения наноструктурных титановых сплавов в машиностроении // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 1. С. 69–72.

5. Сафиуллин Р. В., Еникеев Ф. У. Расчет режимов сверхпластической формовки протяженной пря-

моугольной мембраны // Кузнечно-штамповочное производство. 2001. № 3. С. 35–40.

6. Vasin R. A., Enikeev F. U., Tokuda M. et al. Mathematical modeling of the superplastic forming of a long rectangular sheet // International Journal of Non-linear Mechanics. 2003. Vol. 35. P. 799–807.

7. Padmanabhan K. A., Vasin R. A., Enikeev F. U. Superplastic flow: Phenomenology and mechanics. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 363 p.

УДК 621.73.006.3:628.518

Исследование виброизолирующих установок тяжелых штамповочных молотов

Ю. В. Иванов

Ключевые слова: виброизоляция, молот, пневмоамортизаторы, рессоры.

Кузнечные молоты являются одним из основных типов металлообрабатывающего оборудования. Штамповочные и ковочные молоты обеспечивают производство основной массы штамповок и поковок для машиностроения. Технологическая особенность данных молотов — высокий уровень ударных вибраций, возникающих при работе этого оборудования. Численные характеристики вибраций: виброперемещение — до 1,5 мм; виброскорость — до 100,0 мм/с. Все это создает трудности при размещении этих машин вблизи жилых зон и обеспечении необходимых условий труда для персонала.

Для снижения виброактивности молотов используют методы активной виброизоляции, в соответствии с которыми амортизаторы размещаются непосредственно под шаботом молота [1]. Сегодня в конструкциях виброизолирующих установок молотов используются различные амортизаторы: винтовые пружины, резиновые блоки, гофрированные металлические листы и многolistовые рессоры [2]. Благодаря простоте и надежности чаще всего в виброизолирующих установках молотов применяются железнодорожные рессоры, которые обладают необходимой жесткостью и демпфированием. При использовании существующих виброизолирующих установок штамповочных молотов стремление получить наибольший эффект от виброизоляции приводит к применению парциальных частот конструкции в интервале 2–3 Гц. Реализация указанных параметров вызывает перегрузку

рессор, особенно если речь идет о тяжелых штамповочных молотах, когда опорной площади шабота недостаточно для размещения необходимого количества рессор. Вследствие вышеуказанного происходит преждевременное разрушение рессор после короткого срока эксплуатации (не более одного года). В силу того что стоимость рессор высока, малая долговечность данных амортизаторов вызывает справедливые нарекания производителей.

При выборе парциальной частоты виброизолирующей установки молота необходимо учитывать резервы человеческого организма в отношении адаптации к допустимому уровню вибраций, а также возможности конструкции амортизаторов исходя из приемлемого уровня напряжений. Реализация указанных условий приводит к использованию интервала настройки парциальной частоты установки в пределах 3–4 Гц.

Для обеспечения долговечной работы амортизаторов необходимо выбрать такую парциальную частоту виброизолирующей установки, при наличии которой будет достигнут приемлемый уровень вибраций и величина действующих напряжений в конструкциях амортизаторов, не превышающая допустимых значений.

Разработаны и прошли апробацию конструкции регулируемых виброизолирующих установок штамповочных молотов (рис. 1) с массой падающих частей 5 т и более. В данных конструкциях используются комбинированные рессорно-пневматические амортизаторы мембранного типа (рис. 2).

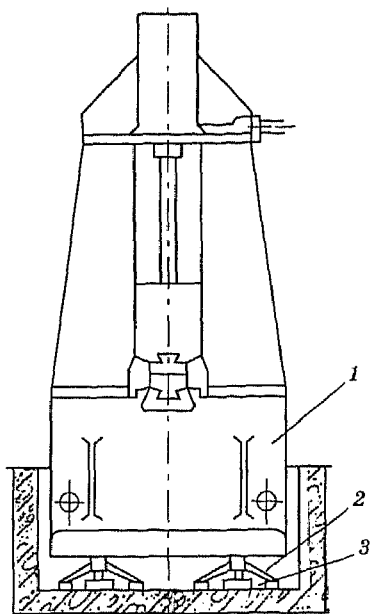


Рис. 1. Конструкция комбинированной виброизолирующей установки молота:
1 — шабот молота; 2 — рессоры; 3 — пневмоамортизаторы

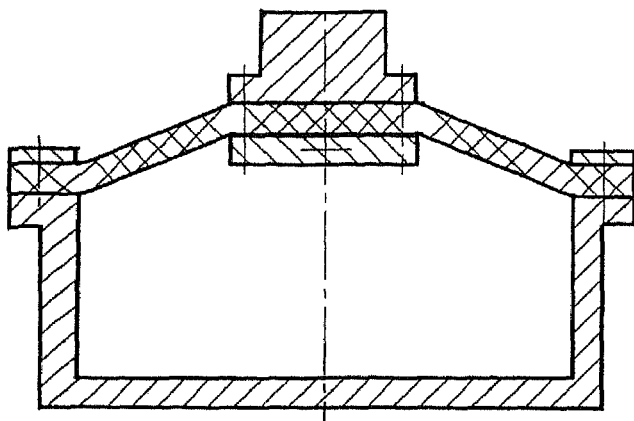


Рис. 2. Пневматические амортизаторы для виброизоляции прессов

Виброизоляторы установлены параллельно рессорам, и при вариации давления внутри пневматических амортизаторов мембранного типа можно регулировать жесткость всей виброизолирующей системы в целом. Рессоры обеспечивают необходимый уровень демпфирования колебаний системы, при этом последние затухают до совершения следующего удара молота. Конструкция виброизолирующей установки молота совершает колебания на амортизаторах с малой скоростью. Вибрации поглощаются внутри элементов системы виброизоляции и не передаются на фундамент и грунт. Послеударное перемещение молота составляет 15,0–20,0 мм, время затухания

колебаний — 0,1–0,3 с. Если скорость падающих частей перед ударом не превышает 8,0 м/с, парциальная частота колебаний конструкции составляет 3–4 Гц. Приведем параметры вибраций фундамента: виброперемещение — 0,18 мм; виброскорость — 4 мм/с. Таким образом, если сопоставить полученные при эксплуатации молота вибропараметры фундамента с требованиями ГОСТ 12.1.012–90, то они соответствуют нормам.

Рациональная эксплуатация регулируемой виброизолирующей установки возможна при обеспечении исследования кинематики базовых элементов молота. Оценка кинематики позволяет определить поведение базовых деталей в процессе технологических нагрузок машины и оценить возможности частотной настройки сопрягаемых элементов, резервы регулирования жесткости упругого основания.

Расчетную схему, принятую в качестве модели конструкции штамповочного молота на упругом основании, можно представить в виде трех дискретно сосредоточенных масс, связанных посредством линейно-упругих, невесомых пружин. После удара и отскока бабы молота трехмассовая система трансформируется в двухмассовую с соответствующими характеристиками.

Расчетная система уравнений имеет вид:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{X}_1 &= -K_1(X_1 - X_2); \\ m_2 \ddot{X}_2 &= -K_1(X_1 - X_2) - K_2(X_2 - X_3) - C_2(dX_2/dt - dX_3/dt); \\ m_3 \ddot{X}_3 &= K_2(X_2 - X_3) - C_2(dX_2/dt - dX_3/dt) - K_3X_3 - C_3dX_3/dt, \end{aligned} \quad (1)$$

где m_1, m_2, m_3 — массы падающих частей, шабот и фундамента соответственно; $X_1, dX_1/dt, d^2X_1/dt^2$ — виброперемещение, виброскорость, виброускорение бабы молота; $X_2, dX_2/dt, d^2X_2/dt^2$ — виброперемещение, виброскорость, виброускорение шабота молота; $X_3, dX_3/dt, d^2X_3/dt^2$ — виброперемещение, виброскорость, виброускорение фундамента молота; K_1 — коэффициент жесткости поковки; K_2, C_2 — коэффициенты жесткости и демпфирования подшаботной прокладки; K_3, C_3 — коэффициенты жесткости и демпфирования грунта под фундаментом молота.

Расчет выполнен для 10-тонного штамповочного молота со следующими параметрами: $m_1 = 12 \cdot 10^3$ кг (с учетом массы верхнего штампа); $m_2 = 200 \cdot 10^3$ кг; $m_3 = 1340 \cdot 10^3$ кг; $K_1 = (10 \div 10\,000) \cdot 10^3$ кН/м; $K_2 = (40 \div 2000) \cdot 10^3$ кН/м; $K_3 = (1340 \div 3750) \cdot 10^3$ кН/м;

скорость бабы молота $V_6 = 6$ м/с. Коэффициенты демпфирования определяли на основе экспериментальных значений для этого молота. Начальные условия:

- при $t = 0$, $X_1 = X_2 = X_3 = 0$; $V_1 = 6$ м/с; $V_2 = V_3 = 0$;

- при $t = t_1$, $V_1 = V_2 = 0,51$ м/с; $V_3 = 0$; $X_1 = X_2 = X_3 = 0$,

где V_1 — скорость бабы молота; V_2 — скорость шабота; V_3 — скорость фундамента.

Расчеты показали, что начальные параметры колебательной системы «шабот — фундамент» зависят от жесткостей поковки и подшаботной прокладки. При «мягких» ударах молота (на стадии пластической деформации поковки) начальная скорость шабота после удара будет минимальной, а скорость фундамента — максимальной, так как время деформации поковки в этом случае значительно. При увеличении жесткости поковки (при завершающих «жестких» ударах) большая часть энергии удара воспринимается шаботом и его начальная скорость максимальна. Демпфированием поковки можно пренебречь. При «жестких» ударах начальная скорость фундамента практически равна нулю, это связано с коротким временем удара, за которое фундамент не успевает начать движение при короткой импульсной нагрузке. Зависимость начальных параметров шабота и фундамента от жесткости поковки и подшаботной прокладки просматривается более явно при выражении первых через отношение жесткостей вторых.

Максимальная виброскорость фундамента в большей степени зависит от жесткости подшаботной прокладки, жесткость поковки оказывает влияние на нее только при «жестких» ударах. На значение максимального перемещения шабота и фундамента жесткость поковки оказывает влияние только до тех пор, пока жесткость поковки K_{Π} не более $1000 \cdot 10^3$ кН/м. Дальнейшее увеличение жесткости поковки не приводит к значительному увеличению этих параметров. Анализ, проведенный на основании расчетов, показал, что при «жестких» ударах, когда вибропараметры системы «шабот — фундамент» максимальны, жесткость поковки не оказывает практического влияния на их изменение.

На динамику свободных колебаний фундамента в анализируемом диапазоне изменения значений параметров значительное влияние оказывает жесткость подшаботной прокладки, особенно при малых жесткостях вибропрокладки $K_2 \leq 500 \cdot 10^3$ кН/м. Данный факт связан с тем, что в этом диапазоне жесткостей максимально изменяются главные частоты колебаний шабота и фундамента. Чем меньше жесткость подшаботной прокладки, тем большее

влияние оказывает частота колебаний шабота на колебания фундамента (рис. 3), однако по мере увеличения жесткости подшаботной прокладки свободные колебания фундамента приближаются к синусоидальным. При вариации жесткости подшаботной прокладки изменение кинематических параметров системы «молот — фундамент» достаточно плавное, выбранное соотношение собственной частотной настройки молота и частоты возбуждения ударных процессов падающими частями машины позволяет избежать возможных резонансных состояний (рис. 4).

Для оценки прочностных характеристик рессор используем величину действующих напряжений изгиба при симметричном цикле нагружения, представленную в виде

$$\sigma_{\text{из}} = \frac{1,5C_p(\Delta_{\text{ст}} + \Delta_{\text{д}})L}{nbh^2} \leq [\sigma_{-1}], \quad (2)$$

где C_p — статическая жесткость рессоры; $\Delta_{\text{ст}}$, $\Delta_{\text{д}}$ — статическая и динамическая осадка рессор соответственно; L — длина рессоры; n — число листов в рессоре; b , h — ширина

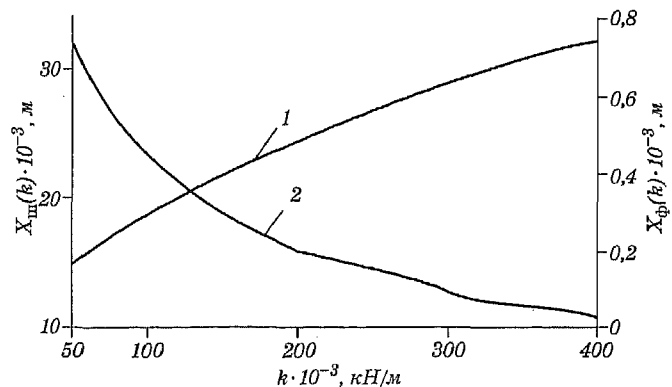


Рис. 3. Зависимость перемещения шабота $X_{\text{ш}}(k)$ (1) и фундамента $X_{\text{ф}}(k)$ (2) молота от жесткости подшаботной прокладки k

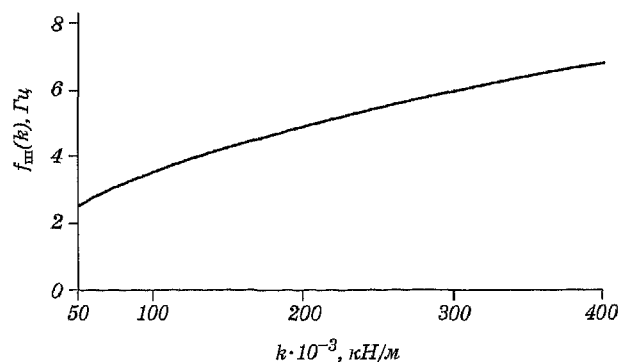


Рис. 4. Зависимость динамической частоты колебаний шабота $f_{\text{ш}}(k)$ от жесткости подшаботной прокладки k

и толщина листов в рессоре соответственно; $[\sigma_1]$ — предел выносливости материала рессоры.

Расчет и анализ параметров амортизаторов виброизолирующей установки молота при использовании рессор выполняется на стадии проектирования в соответствии с методикой [3]. Если применяются дополнительные амортизаторы, установленные параллельно, следует учитывать соответствующее изменение параметров жесткости виброустановки.

Параметр статической жесткости пневмоамортизатора мембранного типа $C_{ст.а}$ представим в виде [4]:

$$C_{ст.а} = \frac{p_0 S}{d} \left(\frac{d}{d - W} \right)^2, \quad (3)$$

где p_0 — давление в корпусе пневмоамортизатора; S — эффективная площадь мембраны пневмоамортизатора; d — начальная высота столба сжатого газа в амортизаторе; W — статическая осадка центральной части мембраны амортизатора, которая выбирается исходя из особенностей конструкции и составляет 10–15 мм.

Таким образом, общая статическая осадка молота $\Delta_{ст.м}$ при использовании комбинированных рессорно-пневматических амортизаторов определяется в виде

$$\Delta_{ст.м} = \frac{G_m}{n_p C_{ст.р} + n_a C_{ст.а}}, \quad (4)$$

где G_m — вес молота; $C_{ст.р}$ — статическая жесткость рессоры; n_p , n_a — количество рессор и пневмоамортизаторов соответственно.

Парциальная частота колебаний шабота $f_{ш}$ молота определяется как

$$f_{ш} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{n_p C_{р.ст} K_{р.д} + n_a C_{ст.а} K_{а.д}}{m_m}}, \quad (5)$$

где $K_{р.д}$ и $K_{а.д}$ — коэффициенты динамичности рессоры и пневмоамортизатора соответственно; m_m — масса молота.

Динамическая осадка конструкции молота на комбинированных амортизаторах имеет вид

$$\Delta_{д.м} = \frac{V_{ш}}{2\pi f_{ш}}, \quad (6)$$

где $V_{ш}$ — начальная скорость шабота молота, определяемая расчетом.

Используя вышеприведенные зависимости и формулу (1), удастся оценить действующие

напряжения изгиба в рессорных амортизаторах, вариацию частотной настройки установки при изменении давления в пневмоамортизаторах. Конструкция действующей виброизолирующей установки 10-тонного молота позволяет разместить пневмоамортизаторы с наружным диаметром около 0,8 м. Если учесть параметры этих пневмоподушек, результаты

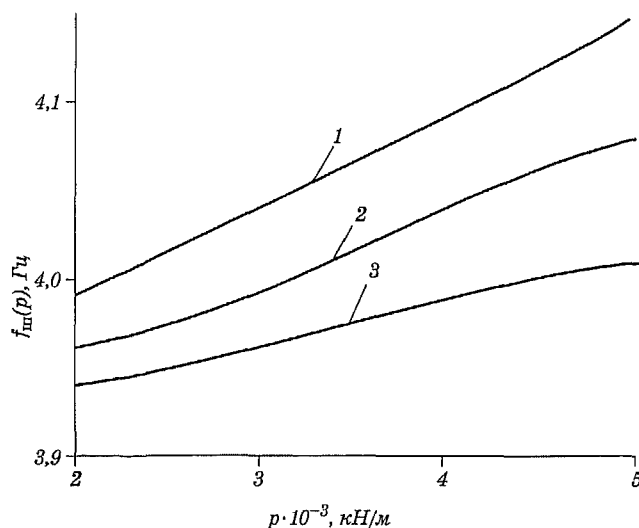


Рис. 5. Зависимость частоты шабота молота $f_{ш}(p)$ от давления p и числа пневмоамортизаторов: 1 — 8 пневмоамортизаторов; 2 — 6 пневмоамортизаторов; 3 — 4 пневмоамортизатора

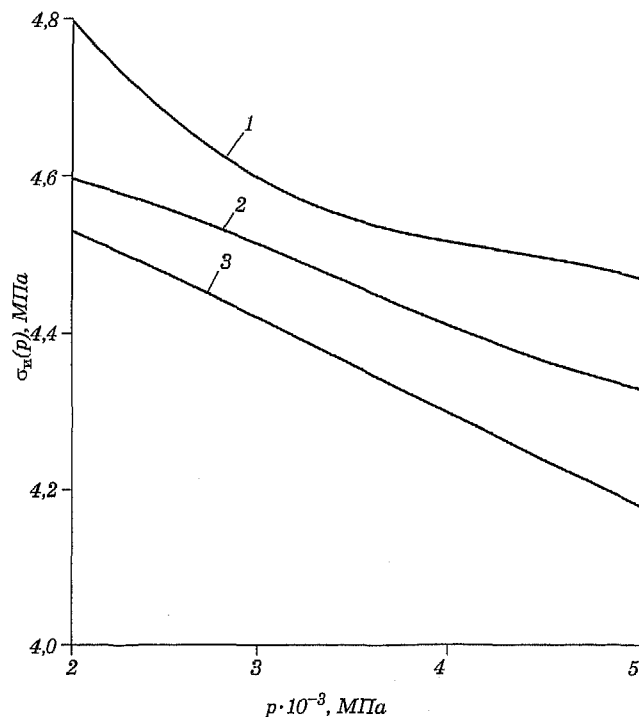


Рис. 6. Изменение напряжений в рессорах от давления и числа пневмоамортизаторов: 1 — 4 пневмоамортизатора; 2 — 6 пневмоамортизаторов; 3 — 8 пневмоамортизаторов

расчетов покажут изменение частоты колебаний шабота от вариации давления сжатого воздуха и числа пневмоамортизаторов (рис. 5). Соответствующее изменение действующих напряжений в рессорах при вариации аналогичных параметров представлено на рис. 6. При анализе указанных выше данных необходимо отметить, что использование дополнительных пневмоамортизаторов не приводит к существенному изменению частотной настройки системы, следовательно, не ухудшаются виброхарактеристики фундамента молота, при этом парциальная частота системы остается в интервале 3,8–4,1 Гц.

Пневмоамортизаторы, установленные параллельно рессорам, увеличивают жесткость упругого основания машины, что уменьшает статическую осадку молота и, соответственно, величину напряжений изгиба в материале рессор. Путем варьирования количества пневмоамортизаторов и величины давления в них можно уменьшить действующие напряжения в рессорах до 19 %, если сравнивать данный показатель с тем, какой имеется у обычного рессорного варианта виброизолирующей установки молота.

Таким образом, комбинированная рессорно-пневматическая виброизолирующая система кузнечного молота позволяет проводить

дополнительную настройку собственной частоты системы, уменьшать уровень действующих напряжений в конструкции рессор и изменять уровень нагрузок на фундамент в зависимости от местного состояния грунта. Кроме того, возможность автономного регулирования жесткости создает предпосылки для создания основ автоматизированной виброизолирующей системы кузнечного молота. Работоспособность указанной конструкции подтверждена, ее можно рекомендовать к широкому внедрению в кузнечных цехах.

Литература

1. Климов И. В., Кошелев В. П., Носов В. С. Виброизоляция штамповочных молотов. М.: Машиностроение, 1979. 134 с.
2. Проектирование, строительство и эксплуатация виброизолированных фундаментов для штамповочных и ковочных молотов с весом падающих частей до 16 т: Руковод. материал / Под ред. Н. Деордиева. Воронеж: ЭНИКМАШ, 1967. 83 с.
3. Иванов Ю. В. Расчет виброизоляции штамповочных молотов // Изв. вузов. Сер. Черная металлургия. 2009. № 1. С. 17–19.
4. Грибов М. М. Регулируемые амортизаторы радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. радио, 1974. 144 с.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ

Кудрявцева О. В.

Техническая гальванопластика

СПб.: Политехника, 2010. — 148 с.: ил. — (Б-чка гальванотехника. 6-е изд.: Вып. 2)
ISSN 978-5-7325-0939-4

Вышел из печати второй выпуск серии «Библиотечка гальванотехника». В книге подробно описаны технологические процессы изготовления формообразующих элементов пресс-форм, полых тонкостенных изделий сложной конфигурации и плоских изделий. Большое внимание уделено вопросам изготовления моделей и материалам, из которых они сделаны. Рассмотрены вопросы металлизации диэлектрических материалов. Приведены составы электролитов, способы их приготовления и корректировки. Книга предназначена для инженерно-технических работников и мастеров гальванических цехов заводов, а также для специалистов проектных организаций; может быть использована студентами вузов.

Глава 1. Изготовление формообразующих элементов пресс-форм.

Глава 2. Изготовление тонкостенных полых изделий.

Глава 3. Изготовление волноводов.

Глава 4. Изготовление электрод-инструментов и плоских деталей.

Глава 5. Оборудование и вспомогательная оснастка, используемая в гальванопластике.

Глава 6. Методика проведения анализа электролитов.

Цена: 154 руб.

Книгу можно приобрести по безналичному и наличному расчету в отделе реализации издательства.
E-mail: masha@polytechnics.ru, sales@polytechnics.ru,
тел. (812) 571-61-44, тел. /факс (812) 312-44-95.

