ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ЗАГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

(Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства)

№ 9 сентябрь 2011

Председатель редакционного совета и Главный редактор
СЕМЁНОВ Е.И.

Зам. председателя редакционного совета:
ДЁМИН В.А.
КОЛЕСНИКОВ А.Г.

Зам. Главного редактора:
СЕРИКОВА Е.А.

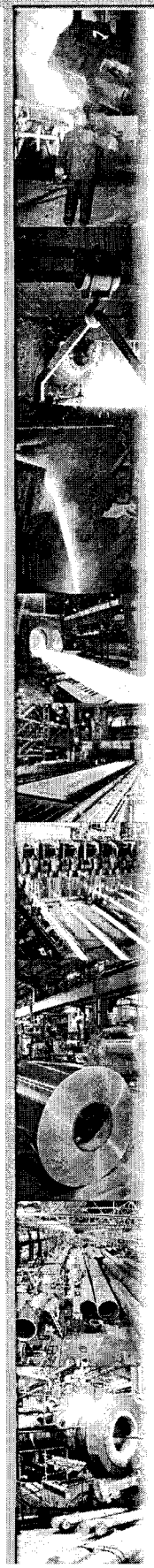
Редакционный совет:
БЕЛЯКОВ А.И.
БЛАНТЕР М.С.
БОГАТОВ А.А.
БОКОВ А.А.
ГАРИБОВ Г.С.
ГРОМОВ В.Е.
ГУН И.Г.
ЕВСЮКОВ С.А.
ЕРШОВ М.Ю.
ЗАРУБИН А.М.
КАПУСТИН А.И.
КАСАТКИН Н.И.
КОРОТЧЕНКО А.Ю.
КОШЕЛЕВ О.С.
КРУК А.Т.
МОРОЗ Б.С.
МУРАТОВ В.С.
НАЗАРЯН Э.А.
ОВЧИННИКОВ В.В.
ПАСЕЧНИК Н.В.
ПОВАРОВА К.Б.
ПОЛЕТАЕВ В.А.
СЕМЁНОВ Б.И.
СУБИЧ В.Н.
ТРЕГУБОВ В.И.
ШАТУЛЬСКИЙ А.А.
ШЕРКУНОВ В.Г.
ШЕСТАКОВ Н.А.
ШПУНЬКИН Н.Ф.
ЯКОВЛЕВ С.С.
ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

Ответственные за подготовку и выпуск номера:
КРАСИЛЬЩИКОВА Е.С.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу агентства "Роспечать" **81580**, по Объединенному каталогу "Пресса России" **39205**, по каталогу "Почта России" **60261**) или непосредственно в издательстве.

Тел.: (499) 268-47-19, 268-69-19
Факс: (499) 269-48-97
Http://www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru, zpmpost@rambler.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Литейное и сварочное производства

Коротченко А.Ю. Новый критерий образования усадочной пористости в отливках . . . 3
Илларионов И.Е., Стрельников И.А., Журавлёв А.Ф. Особенности применения специальных смесей для легкоотделяемых прибылей . . . 8
Трух С.Ф., Юшин А.А. Опытный образец универсальной установки серии ПАРС Н-511 для механизированной сварки и наплавки в защитных газах . . . 10

Кузнечно-штамповочное производство

Семёнов Е.И., Майстров Ю.В. Новая заготовительная операция гибки для штамповки коленчатых валов . . . 15
Демьяненко Е.Г., Попов И.П. Анализ возможностей процесса отбортовки из тонкостенной кольцевой заготовки . . . 18
Гойдо М.Е. Расчетная оценка теплового режима работы гидросистемы участка прессов . . . 21
Иванов Ю.В. Анализ виброизолирующих установок штамповочных молотов . . . 25

Прокатно-волочильное производство

Мальцев И.М. Свойства порошкового электропроката . . . 30

Материаловедение и новые материалы

Костина М.В., Банных О.А., Блинов В.М., Мурадян С.О., Хадыев М.С. Разработка новой литейной высококоррозионно-стойкой и высокопрочной аустенитной стали, легированной азотом. Часть 3. Структура и механические свойства новой литейной Cr–Mn–Ni–Mo–N стали . . . 39
Ноздрин И.В., Галевский Г.В., Руднева В.В. Особенности свойств композиционного материала никель–нанодисперсный диборид хрома . . . 46

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней

Журнал выходит при содействии:
Академии Проблем Качества Российской Федерации; Министерства образования и науки Российской Федерации; Воронежского завода тяжелых механических прессов; ЦНИИЧермет; ВНИИМЕТМАШ; ИМЕТ РАН; Каширского завода "Центролит"; АМУРМЕТМАШ; ООО "МЕТАЛЛИТМАШ"; ФГУП ГНПП "Сплав"

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Заготовительные производства в машиностроении", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

© "Издательство "Машиностроение", "Заготовительные производства в машиностроении", 2011

УДК 621.73.006.3:628.518

Ю.В. Иванов *(Ижевский государственный технический университет)*

Анализ виброизолирующих установок штамповочных молотов

Рассмотрена конструкция виброизолирующей установки штамповочного молота. Предложено применение комбинированных рессорно-пневматических амортизаторов для виброизолирующих установок тяжелых штамповочных молотов. Проведены анализ работы установки и методика расчета амортизаторов.

The design of installation stamping hammer vibration isolation is considered. Use of the combined spring-pneumatic shock-absorbers for vibration isolation installations of heavy stamping hammers is offered. The analysis of work of installation and design procedure of shock-absorbers are performed.

Ключевые слова: молоты; виброизоляция; рессоры; пневмоамортизаторы.

Keywords: hammers; vibration isolation; springs; pneumoshock-absorbers.

Кузнечные молоты являются одним из основных типов металлообрабатывающего оборудования. Штамповочные и ковочные молоты обеспечивают производство основной массы штамповок и поковок для машиностроения.

Традиционный недостаток молотов – высокий уровень вибраций, возникающих при работе данного оборудования. Источником вибраций является фундамент молота, который проявляет свою виброактивность при работе машины. Рабочее место кузнеца находится на фундаменте, поэтому он испытывает наибольшее негативное воздействие вибраций, уровень которых значительно превышает допустимые санитарные нормы. Значения вибраций составляют: виброперемещение до 1,5 мм; виброскорость до 100 мм/с.

Для снижения виброактивности молотов используют методы активной виброизоляции, когда амортизаторы размещаются непосредственно под шаботом молота (Климов И.В., Кошелев В.П., Носов В.С. Виброизоляция штамповочных молотов. М.: Машиностроение, 1979. 134 с.). В конструкциях виброизолирующих установок молотов в настоящее время применяют различные амортизаторы, которые реализованы в виде винтовых пружин, резиновых блоков, гофрированных, металлических листов и многолистовых рессор (Проектирование, строительство и эксплуатация виброизолированных фундаментов для штамповочных и ковочных молотов с весом падающих частей до 16 т: руковод. мат. Воронеж: ЭНИКМАШ, 1967. 83 с.).

Наибольшее распространение в виброизолирующих установках молотов по простоте и надежности находят железнодорожные рессоры, обладающие необходимой жесткостью и демпфированием. В существующих виброизолирующих установках штамповочных молотов стремление получить наибольший эффект от виброизоляции приводит к использованию парциальных частот конструкции в интервале 2...3 Гц.

Реализация указанных параметров вызывает перегрузку рессор, особенно в случае тяжелых штамповочных молотов, когда опорной площади шабота недостаточно для размещения необходимого количества рессор. Таким образом, происходит преждевременное разрушение рессор после короткого срока эксплуатации, составляющего один год и менее. Учитывая высокую стоимость рессор, малая долговечность данных амортизаторов вызывает справедливые нарекания производственников.

При выборе парциальной частоты виброизолирующей установки молота необходимо учитывать резервы человеческого организма по адаптации к допускаемому уровню вибраций, а также возможности конструкции амортизаторов исходя из уровня допускаемых напряжений. Реализация указанных условий приводит к использованию интервала частотной настройки парциальной частоты установки в пределах 3...4,5 Гц.

Для осуществления долговечной работы амортизаторов необходимо выбрать такую парциальную частоту виброизолирующей установки, которая обеспечит приемлемый уровень вибраций для персонала и действующие напряжения в конструкциях амортизаторов, менее допускаемых.

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

Виброизоляторы установлены параллельно рессорам и при вариации давления внутри пневматических амортизаторов мембранного типа возможно регулировать жесткость всей виброизолирующей системы в целом. Рессоры обеспечивают необходимый уровень демпфирования колебаний системы, при этом последние затухают до совершения последующего удара молота. Конструкция виброизолирующей установки

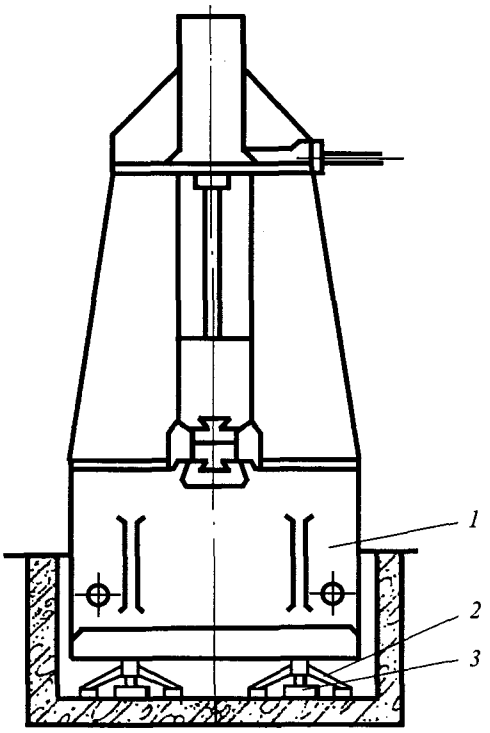


Рис. 1. Конструкция комбинированной виброизолирующей установки молота:
1 – шабот молота; *2* – рессоры; *3* – пневмоамортизаторы

молота плавно смещается на амортизаторах. Вибрации демпфируются внутри системы и на фундамент не передаются.

Послеударное перемещение молота составляет 15...20 мм, время затухания колебаний – 0,1...0,3 с. При скорости падающих частей перед ударом 6 м/с, парциальная частота колебаний конструкции составляет 3...4,5 Гц. Параметры вибраций фундамента следующие: виброперемещение – 0,18 мм; виброскорость – 4 мм/с. Таким образом, полученные при эксплуатации вибропараметры при сопоставлении с ГОСТ 12.1.012–90 соответствуют нормам.

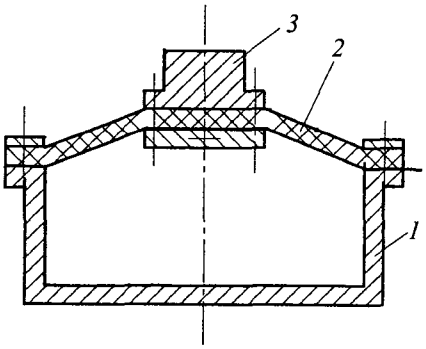


Рис. 2. Пневматический амортизатор:
1 – корпус; *2* – эластичная диафрагма; *3* – плунжер

Для эффективной эксплуатации регулируемой виброизолирующей установки научно-практический интерес представляет анализ кинематики базовых элементов молота. Оценка кинематики позволяет определить поведение базовых деталей в процессе технологических ударов молота и оценить взаимосвязи виброхарактеристик сопрягаемых элементов и возможности регулирования жесткости упругого основания.

Расчетная схема, принятая в качестве модели конструкции штамповочного молота на упругом основании, представляется 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:

$$\begin{aligned} m_1\ddot{X}_1 &= -K_п(X_1 - X_2); \\ m_2\ddot{X}_2 &= K_п(X_1 - X_2) - K_2(X_2 - X_3) - C_2(\dot{X}_2 - \dot{X}_3); \quad (1) \\ m_3\ddot{X}_3 &= K_2(X_2 - X_3) + C_2(\dot{X}_2 - \dot{X}_3) - K_3X_3 - C_3\dot{X}_3, \end{aligned}$$

где m_1, m_2, m_3 – массы падающих частей, шабота и фундамента; X_i, $\dot{X}_i$, $\ddot{X}_i$ – виброперемещение, виброскорость, виброускорение бабы молота, шабота и фундамента соответственно; $K_п$ – коэффициент жесткости поковки; K_2, C_2 и K_3, C_3 – коэффициенты жесткости и демпфирования подшаботной прокладки и грунта под фундаментом молота соответственно.

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; $K_п = (10...10000) \cdot 10^3$ кН/м; $K_2 = (40...2000) \cdot 10^3$ кН/м; $K_3 = (1340...3750) \cdot 10^3$ кН/м; $\dot{X}_1 = 6$ м/с. Коэффициенты демпфирования определяли на основе экспериментальных значений для этого молота. Начальные условия:

при $t = 0$ $X_1 = X_2 = X_3 = 0$; $\dot{X}_1 = 6$ м/с; $\dot{X}_2 = \dot{X}_3 = 0$;

при $t = t_1$ $\dot{X}_1 = \dot{X}_2 = 0{,}51$ м/с; $\dot{X}_3 = 0$; $X_1 = X_2 = X_3 = 0$.

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 минимальна, а соответственно, скорость фундамента – максимальна, 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. Начальная скорость фундамента при "жестких" ударах практически равна нулю, что 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 подшабот-

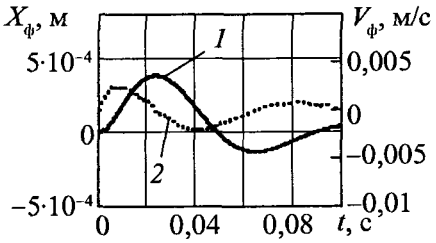


Рис. 3. Кинематические виброхарактеристики фундамента молота на виброизоляции:
1 – виброперемещение $X_ф$; *2* – виброскорость $V_ф$

ной прокладки более явная при выражении этих параметров через отношение этих жесткостей.

Максимальная виброскорость фундамента в большей степени зависит от жесткости подшаботной прокладки, а жесткость поковки влияет на нее только при "жестких" ударах. На значение максимального перемещения шабота и фундамента жесткость поковки влияет только до жесткостей поковки $K_п \leq$ $\leq 1000 \cdot 10^3$ кН/м. Дальнейшее увеличение жесткости поковки не приводит к значительному возрастанию этих параметров.

Анализ на основании расчетов показал, что при "жестких" ударах, когда вибропараметры системы шабот–фундамент максимальные, жесткость поковки не оказывает практического влияния на их изменение.

Жесткость подшаботной прокладки значительно влияет на динамику свободных колебаний фундамента в анализируемом диапазоне изменения значений параметров, особенно при малых жесткостях виброкладки $K_ш \leq 500 \cdot 10^3$ кН/м. Это связано с тем, что в этом диапазоне жесткостей максимально изменяются главные частоты колебаний шабота и фундамента. Уменьшение жесткости подшаботной прокладки значительно изменяет виброхарактеристики фундамента молота, приближая их к санитарным нормам (рис. 3).

Чем меньше жесткость подшаботной прокладки, тем большее влияние оказывает частота колебаний шабота на колебания фундамента (рис. 4), однако по мере увеличения жесткости подшаботной прокладки свободные колебания фундамента приближаются к синусоидальным.

Изменение кинематических параметров системы молот–фундамент при вариации жесткости подшаботной прокладки достаточно плавное и выбранное соотношение собственной частотной настройки молота позволяет избежать возможных резонансных состояний (рис. 5).

Для оценки прочностных характеристик рессор использовали действующие напряжения изгиба при симметричном цикле нагружения:

$$\sigma_и = \frac{1{,}5C_р(\Delta_{ст} + \Delta_д)L}{nbh^2} \leq [\sigma_{-1}], \qquad (2)$$

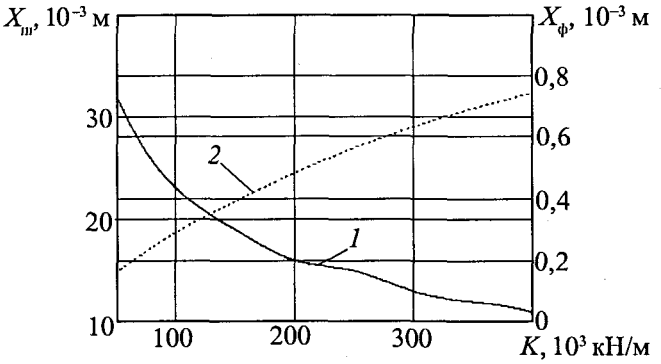


Рис. 4. Зависимости перемещения шабота $X_ш$ (*1*) и фундамента молота $X_ф$ (*2*) от жесткости подшаботной прокладки *K*

где $C_р$ – статическая жесткость рессоры; $\Delta_{ст}$ – статическая осадка рессор; $\Delta_д$ – динамическая осадка рессор; L – длина рессоры; n – число листов в рессоре; b, h – ширина и толщина листов рессоры 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 [1]. При использовании дополнительных амортизаторов, установленных параллельно, следует учитывать соответствующее изменение параметров жесткости виброустановки.

Параметры, определяющие статическую жесткость пневмоамортизатора мембранного типа представим в виде (Грибов М.М. Регулируемые амортизаторы радиоэлектронной аппаратуры М.: Сов. радио, 1974. 144 с.)

$$C_п^{ст} = pS\frac{k}{(k-W)^2}, \qquad (3)$$

где p – давление в корпусе пневмоамортизатора; S – эффективная площадь мембраны пневмоамортизатора; k – начальная высота столба сжатого газа в амортизаторе; W – статическая осадка центральной части мембраны амортизатора, выбирается конструктивно и составляет 10...15 мм.

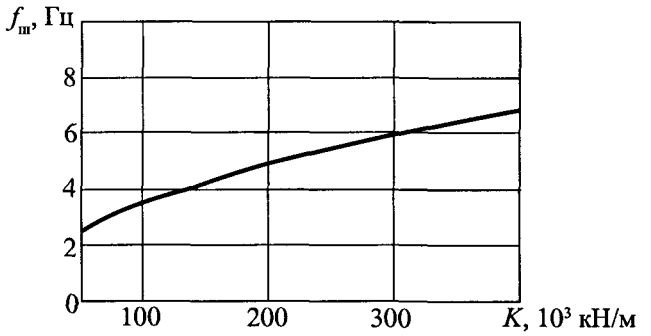


Рис. 5. Зависимость парциальной частоты колебаний шабота $f_ш$ от жесткости подшаботной прокладки *K*

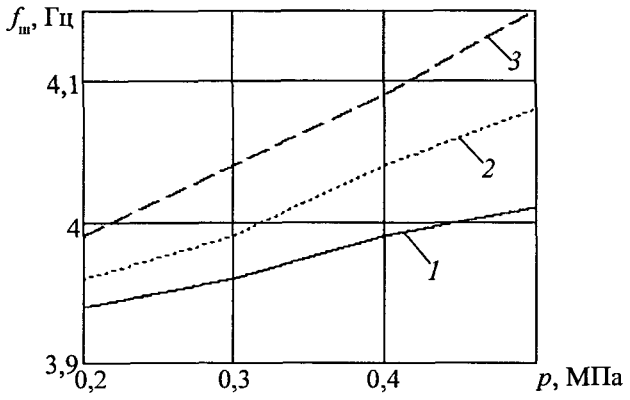


Рис. 6. Зависимости парциальной частоты колебаний шабота $f_ш$ от давления p и числа пневмоамортизаторов:
1 – 4; *2* – 6; *3* – 8

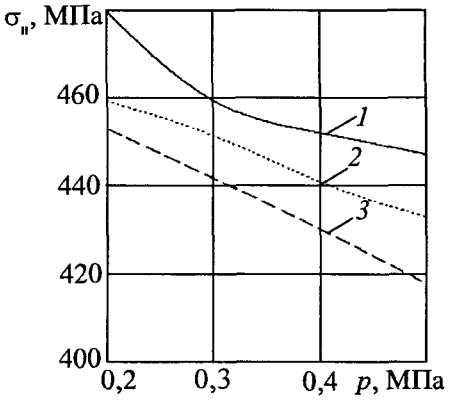


Рис. 7. Изменение напряжений изгиба в рессорах от давления и числа пневмоамортизаторов:
1 – 4; *2* – 6; *3* – 8

Таким образом, общая статическая осадка молота при использовании комбинированных рессорно-пневматических амортизаторов определяется по формуле

$$\Delta_{ст} = \frac{G_м}{n_р C_р^{ст} + n_п C_п^{ст}}, \quad (4)$$

где $G_м$ – масса молота; $C_р^{ст}$ – статическая жесткость рессоры; $n_р$, $n_п$ – число рессор и пневмоамортизаторов соответственно.

Парциальная частота колебаний шабота молота:

$$f_ш = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{n_р C_р^{ст} K_д^р + n_п C_п^{ст} K_д^п}{m_м}}, \quad (5)$$

где $K_д^р$ – коэффициент динамичности рессоры; $K_д^п$ – коэффициент динамичности пневмоамортизатора; $m_м$ – масса молота.

Динамическая осадка конструкции на комбинированных амортизаторах имеет вид

$$\Delta_д = \frac{V_ш}{2\pi f_ш}, \quad (6)$$

где $V_ш$ – начальная скорость шабота молота, определяется расчетом.

Таким образом, используя приведенные выше зависимости и формулу (1), можно оценить действующие напряжения изгиба в рессорных амортизаторах, вариацию частотной настройки установки при изменении давления в пневмоамортизаторах.

Конструктивно в действующей виброизолирующей установке 10-тонного молота возможно разместить пневмоамортизаторы с наружным диаметром около 0,8 м. Тогда, учитывая параметры этих пневмоподушек, результаты расчетов показывают изменение частоты колебаний шабота от давления сжатого воздуха и числа пневмоамортизаторов (рис. 6). Изменение действующих напряжений изгиба в рессорах при вариации аналогичных параметров приведено на рис. 7.

Необходимо отметить, что использование дополнительных пневмоамортизаторов несущественно изменяет частотную настройку системы, соответственно 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 напряжения изгиба в рессорах. Варьируя числом пневмоамортизаторов и давлением в них, возможно уменьшить действующие напряжения в рессорах до 19 % по сравнению с обычным рессорным вариантом.

Таким образом, комбинированная рессорно-пневматическая, виброизолирующая система кузнечного молота позволяет проводить дополнительную настройку собственной частоты системы, уменьшая уровень действующих напряжений в конструкции рессор, а также изменять уровень нагрузок на фундамент в зависимости от местного состояния грунта.

Возможность автономного регулирования жесткости создает предпосылки для создания основ автоматизированной виброизолирующей системы кузнечного молота. Указанная конструкция подтвердила свою работоспособность и рекомендуется к широкому внедрению в кузнечных цехах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванов Ю.В.** Расчет виброизоляции штамповочных молотов // Известия вузов. Черная металлургия. 2009. № 1. С. 17–19.

Юрий Васильевич Иванов, канд. техн. наук,
isot@mail.ru