

сти на движение цистерны максимально, наиболее существенным показателем, характеризующим демпфирование колебаний жидкости, является уменьшение суммарной кинетической энергии жидкости (диссипация энергии) за время одного колебания. Именно в этот период развиваются явления, которые могут стать причиной больших динамических нагрузок на элементы конструкции либо опрокидывания цистерны. Подробный анализ кривых диссипации дает возможность оптимизации конструкции демпфирующих устройств.

Проведенный анализ показал, что в качестве критерия эффективности демпфирования колебаний жидкости в резервуарах цистерн должна использоваться диссипация энергии за один цикл колебаний. Чем больше абсолютная величина этой энергии, тем эффективнее работают демпфирующие устройства и, соответственно, тем лучше динамические качества цистерны.

Выполнено компьютерное моделирование перетекания жидкости в цистерне при ее торможении с учетом установки поперечной перфорированной перегородки. Проведены расчеты зависимости диссипации энергии в функции от размера отверстий перфорации перегородок. Их результаты показали, что существует некоторое значение диаметра отверстия, при котором диссипация энергии за первый цикл колебаний жидкости в резервуаре максимальна. Например, для емкости, имеющей размеры 2×5 м, максимальное демпфирование колебаний жидкости имеет место в случае, если отверстия перфорации имеют диаметр 11 см, и в общей сложности диаметр отверстий составляет 60% от площади перегородки. В этом случае влияние жидкости на динамику цистерны будет наименее существенным по сравнению с иными вариантами перегородок.

Подобный анализ может быть выполнен для резервуаров различной формы при различных схемах установки перегородок и с учетом различных вариантов перфорирования. Кроме того, могут рассматриваться различные схемы движения резервуаров, соответствующие особенностям эксплуатации железнодорожных и автомобильных цистерн.

Таким образом, в результате исследований установлено, что основным критерием эффективности гашения колебаний жидкости должна быть потеря кинетической энергии на диссипацию. С использованием этого критерия может быть выполнена оптимизация установки перегородок в резервуарах цистерн.

УДК 621.983.5:539.388.24

РАСЧЕТ СИЛ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГОФРИРОВАННЫХ ЛИСТОВ КРЫШЕК ЛЮКОВ ПОЛУВАГОНОВ

О. И. ЯКУБОВИЧ, А. О. ШИМАНОВСКИЙ, А. В. ПУТЯТО
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

А. И. КЕБИКОВ
ОАО «САТУРН-1», г. Житковичи

Особенностью холодной штамповки выдавливанием является необходимость создания для деформирования заготовки высоких давлений, превышающих в некоторых случаях в четыре раза напряжения текучести обрабатываемого материала. В связи с этим актуальной является задача по нахождению минимальных значений сил, необходимых для обеспечения процесса штамповки. На предприятиях до настоящего времени используются приближенные аналитические методы решения названной задачи, которые не всегда позволяют выполнить расчет с достаточной для производства степенью точности. Это, в свою очередь, может приводить к необоснованным затратам на приобретение дорогостоящего технологического оборудования повышенной мощности. В представленной работе поставлена задача по уточненному определению сил, необходимых для выдавливания крышек люка полувагона. Решение выполнено на основе применения конечноэлементного подхода с использованием программного комплекса LS-DYNA.

Форма геометрической модели в данной задаче определяется срединными поверхностями оболочек, моделирующих инструмент и заготовку. Оболочки, моделирующие пуансон и прижим, приняты абсолютно твердыми. Исходная заготовка представляет собой горячекатаный лист толщиной

5 мм из стали 09Г2С. Механические характеристики названного материала, произведенного на разных предприятиях (например, значение предела текучести) могут изменяться в достаточно широких пределах. В качестве модели материала заготовки использован пластический материал с кинематическим упрочнением, для которого плотность – 7800 кг/м^3 , модуль упругости – $2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, коэффициент Пуассона – 0,3. Статический коэффициент трения принят равным 0,08. Периодичность формы листа позволила ограничиться рассмотрением деформирования половины одной гофры. В качестве внешней нагрузки принималось движение пуансона со скоростью 0,03 м/с, определяемой режимом работы пресса.

По результатам вычислений получено, что при значениях глубины внедрения, не превышающих 28 мм, сжимающая сила пропорциональна смещению. В то же время увеличение глубины внедрения с 28,5 до 30 мм приводит к росту потребной силы в 2 раза. Расчеты показали, что при формовке гофры глубиной 30 мм весьма незначительное увеличение хода пуансона, сопоставимое с точностью настройки оборудования, приводит к увеличению потребной силы до значения, превышающего 15 МН, соответствующего номинальной силе имеющегося пресса. Поэтому с целью гарантированного снижения нагрузки на штамповочное оборудование целесообразно осуществлять внедрение пуансона в заготовку на глубину, не превышающую 29,5 мм. В то же время для формовки целесообразно применять материал с пределом текучести, не превышающим 380 МПа. При недопустимости уменьшения глубины формовки снижение потребной силы может быть достигнуто за счет увеличения радиуса кривизны прижима в области его начального контакта с формируемой деталью, но это требует изменения конструкции штампа.

Уменьшение трения между инструментом и заготовкой путем применения специальных смазывающих составов приводит к уменьшению значений сил формовки. Снижение коэффициента трения на 0,02 соответствует уменьшению предела текучести материала на 25 МПа при нахождении потребной сжимающей силы.

Результаты работы использованы в ОАО «Сатурн-1» (г. Житковичи) при выборе рационального способа изготовления крышек люков полувагонов. Их применение позволило получить годовой экономический эффект около 60 млн белорусских рублей за счет снижения амортизационных отчислений на использование оборудования.