

АПП. Покрытия наносились на сверла малых диаметров (0,3–1,0 мм), изготовленных из твердого сплава и быстрорежущей стали, и штампы (сталь 9ХС) для изготовления корпусов микросхем.

Для получения покрытий была использована серийная установка вакуумного напыления «УВНИПА-1-001». Триботехнические испытания проводились по схеме "плоскость – ролик" и "сфера – плоскость". Также проводились опытно-промышленные испытания.

Результаты триботехнических и промышленных испытаний показали, что наилучшими противозносными свойствами обладает слоистое покрытие из чередующихся слоев титана и углерода.

При нанесении покрытий TiN по традиционной технологии происходит более быстрое затупление режущих кромок, поврежденных при формировании покрытия нитрида титана. Нанесение композиционного покрытия C + Ti также приводит к снижению стойкости, хотя в этом случае повреждения режущей кромки при нанесении покрытия не происходило. Известно, что легированные титаном углеродные покрытия имеют высокий коэффициент трения, который может превышать 1,0. Поэтому в зоне трения должны возникать повышенные температуры, приводящие к быстрому затуплению. При использовании слоистых покрытий (Ti – АПП) происходит значительное увеличение ресурса работы инструмента (до 3 раз), повышение качества обрабатываемой поверхности и производительности.

Работа выполнена при частичной поддержке задания ГКПНИ «Механика 2.40.1.»

УДК 629.463

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ КУЗОВА ВАГОНА СЫПУЧИМ ГРУЗОМ В ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ ПОСТАНОВКЕ

А. В. ПУТЯТО, В. В. БЕЛОГУБ

Белорусский государственный университет транспорта

Среди огромного объема перевозимых по железной дороге грузов значительную часть занимают сыпучие грузы. Для их доставки используют главным образом полувагоны, крытые вагоны и вагоны бункерного типа. В процессе эксплуатации кузова этих вагонов подвергаются существенным динамическим воздействиям со стороны транспортируемого груза.

В настоящее время при оценке прочности кузовов вагонов нагрузки от воздействия сыпучего груза устанавливаются «Нормами для расчета ...». Рассматривая варианты нормативного силового нагружения торцевой стены полувагона, начиная с «Норм ...» 1971 г., видим, что указанные нагрузки существенно отличаются друг от друга и базируются, в основном, на экспериментальных исследованиях и методах расчета строительной механики сыпучих тел с рядом упрощений, не вполне соответствующих физической природе процесса.

Дальнейшее уточнение проектировочных расчетов кузовов грузовых вагонов, перевозящих сыпучие грузы, может быть достигнуто путем проведения исследований, связанных с анализом взаимодействия элементов конструкции с сыпучим грузом и привлечением современных методов вычислительной техники.

В настоящее время среди существующих подходов к моделированию сыпучих (гранулированных) сред можно выделить два основных направления: моделирование сыпучей среды как континуальной системы и моделирование сыпучей среды как системы твердых тел.

Целью настоящей работы является апробация применения второго подхода к оценке нагруженности кузова грузового вагона сыпучим грузом. Для решения поставленной задачи разработана квазиплоская твердотельная динамическая модель, состоящая из кузова размером $12 \times 2 \times 0,4$ м, представленного пятью абсолютно твердыми пластинами, в котором находится 150 сферических гранул $\varnothing 0,4$ м с плотностью материала 1300 кг/м^3 . Для обеспечения взаимодействия гранул друг с другом и с элементами кузова в модели задано 605 контактных пар, причем статический коэффициент трения среды «гранула – гранула» равен 0,58, а среды «гранула – кузов» – 0,3. Рассматривался случай ударного взаимодействия кузова (согласно «Нормам...» $a^T = -3,5g$) при движении с начальной скоростью 10 м/с на протяжении 0,3 с.

В разработанной математической модели сила трения $F_{\text{тр}}$ определяется законом Кулона, в свою очередь нормальная сила N представляет собой аналог механического пружинного демпфера и определяется зависимостью $N(n, \dot{n}, k, c, d)$. Здесь n , $\dot{n}$ – перемещение и скорость в направлении нормальной силы, k – жесткость,

c – коэффициент демпфирования, d – глубина внедрения. Изменение приведенных параметров позволяет управлять характером контактного взаимодействия и приблизить его к физическим свойствам сыпучего тела.

Для каждой гранулы в общем случае можно записать динамические уравнения движения в виде

$$m_i \bar{a}_i = \bar{F}_i; \quad I_i \varepsilon_i = M_{O_i}(\bar{F}_i^*),$$

где m_i – масса i -й гранулы; $\bar{a}_i$ – вектор ускорения центра масс i -й гранулы; $\bar{F}_i$ – главный вектор сил, действующих на i -ю гранулу; I_i – момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс i -й гранулы; ε_i – угловое ускорение относительно той же оси i -й гранулы; $M_{O_i}(\bar{F}_i^*)$ – момент главного вектора касательных составляющих сил.

Главный вектор сил, действующих на i -ю гранулу,

$$\bar{F}_i = \sum \bar{F}_{\text{тр}i} + \sum \bar{N}_i + \sum \bar{F}_{\text{ки}} + \bar{G}_i,$$

где $\sum \bar{F}_{\text{тр}i}$ – силы трения i -й гранулы с соседними частицами; $\sum \bar{N}_i$ – нормальные силы взаимодействия i -й гранулы; $\sum \bar{F}_{\text{ки}}$ – нормальные и касательные силы в случае взаимодействия с кузовом вагона; $\bar{G}_i$ – сила тяжести i -й гранулы.

Момент главного вектора касательных составляющих сил

$$M_i(\bar{F}_i^*) = \sum \bar{n} r_i \times \bar{F}_{\text{тр}i} + \sum \bar{n} r_i \times \bar{F}_{\text{ки}}^*,$$

где $\bar{n}$ – единичный вектор, направленный нормально к линии контакта; r_i – радиус гранулы; $\bar{F}_{\text{ки}}^*$ – сила трения в области контакта i -й гранулы с кузовом.

Решение поставленной задачи реализовано в программном комплексе ADAMS.

Анализ результатов динамической нагруженности торцевой стены гранулами груза показал, что максимальные нормальные силы возникают на некотором расстоянии от пола. В нашем случае это второй ряд гранул на высоте 0,6 м. Далее с последующим увеличением высоты максимальные значения нормальных сил уменьшаются. Экстремум нормальных сил, действующих на торцевую стену, становится более ярко выраженным с увеличением времени.

Зависимости нормальных сил, действующих на пол вагона, от времени показывают, что с удалением от нагруженной торцевой стены до расстояния $l = 2,2$ м максимальные нормальные силы возрастают, а затем снижаются. При рассмотрении нагруженности пола по длине кузова для различных временных срезов получены достаточно сложные зависимости, выраженная полиэкстремальность которых связана, по-видимому, с выдавливанием нижних гранул. В то же время зафиксировано, что наиболее нагруженная часть пола расположена в области $0 \leq l \leq 2,6$ м (в нашем случае отсчет идет от 0,2 м, что связано со степенью дискретизации модели). Силы, действующие на пол в других местах кузова, пренебрежимо малы.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении прочностных расчетов кузовов вагонов.

УДК 629.463.004.67

ОБ ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ГАРАНТИЙНОМ УЧАСТКЕ И ВЫБОРА ЕГО ПРОТЯЖЕННОСТИ

В. И. СЕНЬКО, Е. П. ГУРСКИЙ, Р. Р. КУРЫЛО
Белорусский государственный университет транспорта

Д. П. СОРОКИН
Белорусская железная дорога

Повышение безопасности движения поездов является на сегодняшний день важнейшей составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта. Решение проблемы безопасности во многом определяется состоянием вагонного парка и уровнем его технического обслуживания.