

УДК 620.17:519.876.5(045)

О.А. Вишневский, А.С. Давыдов

Национальный авиационный университет, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИНЕЙНОГО ИЗНОСА С УЧЁТОМ ТВЁРДОСТИ И СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТРЕНИЯ

Разработаны математические модели для определения интенсивности линейного износа материалов с учетом твердости и среднего давления на поверхность трения. Проанализирована корректность модели определения среднего давления на поверхность трения за время эксперимента и его влияние на результат абразивного износа. Выполнено построение графика зависимости интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и твердости испытуемых материалов. Полученная поверхность интенсивности линейного износа является геометрической моделью, позволяющей прогнозировать величину абразивного износа материалов.

Ключевые слова: трение, давление, твёрдость, линейный износ, математическая модель.

Вступление

Моделирование механических процессов является актуальным направлением в современной науке. Особенно важное значение данные исследования приобретают в связи с развитием авиационной техники, атомной энергетики и машиностроения.

Возникла необходимость испытания материалов трубопроводной арматуры на абразивную износостойкость при не жёстко закреплённых частицах. Моделирование распределения среднего давления на поверхность трения с учётом линейного износа и нагрузки во время проведения эксперимента направлено на установление характера зависимости интенсивности линейного износа от давления и от твёрдости материалов. Значительный интерес представляют зависимости интенсивности линейного износа от давления и твёрдости материалов в объёмном виде (в трёхмерных координатах) и аналитическим описанием данного процесса. Результаты исследований направлены на уменьшение количества экспериментов и финансовых затрат на проведение испытаний при определении абразивной износостойкости материалов, повышение точности прогнозирования возможных результатов экспериментов с получением взаимозависимости между параметрами, определяющими износ.

Анализ последних достижений. Моделированием процесса абразивного изнашивания материалов трубопроводной арматуры при испытаниях занимались известные специалисты в области трибологии. Модель, рассмотренная в работе [1], определяет части поверхности плунжера, испытывающие наибольший износ, связанный с попаданием на него абразивных частиц. Моделирование распределения давления на поверхность трения при фиксированном значении величины линейного износа и за всё время проведения эксперимента выполнено в работе

[2]. В данной модели не рассматривались такие важные параметры, как давление на поверхность трения и твёрдость материалов. Зависимость интенсивности линейного износа от смоделированного среднего давления на поверхность трения представлена в работе [3]. Влияние твёрдости материалов на интенсивность линейного износа при испытаниях на абразивную износостойкость показано в работе [4]. В работе [5] выполнено моделирование методов измерения механических показателей изнашивания (распределения давления по поверхности трения, средней площади поверхности трения, величины объёмного износа). Вместе с тем в указанных работах отсутствуют результаты практического использования моделей.

Постановка задачи. Испытания материалов на абразивную износостойкость, при не жёстко закреплённых частицах, является неотъемлемой составляющей прогнозирования сроков работы соответствующих узлов трения.

Поэтому были поставлены следующие задачи.

Разработать математические модели, связывающие твёрдость материалов с интенсивностью линейного износа при трении о не жёстко закреплённые абразивные частицы.

Проанализировать работу модели определения среднего давления на поверхность трения за всё время испытаний.

На основании экспериментальных данных абразивного износа материалов и смоделированного давления на поверхность трения установить зависимости интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и твёрдости стали 45.

Построить графическую и аналитическую зависимость интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и твёрдости стали 45.

Результаты исследований

Экспериментальные исследования проводились на установке, разработанной в Национальном авиационном университете на кафедре машиноведения.

Образцы размером 30×30 изготовлены из стали 45. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Результаты испытаний представлены в виде графиков на рис. 2, 3, 4, полученных с помощью системы «Matlab».

Таблица 1

Зависимость интенсивности линейного износа стали 45 и среднего давления на поверхность трения от твёрдости и линейного износа

Твёрдость, НВ	Путь трения, м	Линейный износ, м	Среднее давление на поверхность трения, м	Интенсивность линейного износа относительно пути трения
174	30	$1.15 \cdot 10^{-5}$	$2.897148 \cdot 10^6$	$3.667 \cdot 10^{-7}$
	60	$1.77 \cdot 10^{-5}$	$2.335123 \cdot 10^6$	$2.950 \cdot 10^{-7}$
	90	$2.33 \cdot 10^{-5}$	$2.035155 \cdot 10^6$	$2.589 \cdot 10^{-7}$
	120	$2.82 \cdot 10^{-5}$	$1.849834 \cdot 10^6$	$2.350 \cdot 10^{-7}$
	150	$3.50 \cdot 10^{-5}$	$1.704784 \cdot 10^6$	$2.213 \cdot 10^{-7}$
269	30	$7.1 \cdot 10^{-6}$	$3.687286 \cdot 10^6$	$2.372 \cdot 10^{-7}$
	60	$1.14 \cdot 10^{-5}$	$2.909829 \cdot 10^6$	$1.908 \cdot 10^{-7}$
	90	$1.52 \cdot 10^{-5}$	$2.519904 \cdot 10^6$	$1.689 \cdot 10^{-7}$
	120	$1.82 \cdot 10^{-5}$	$2.302814 \cdot 10^6$	$1.520 \cdot 10^{-7}$
	150	$2.15 \cdot 10^{-5}$	$2.118668 \cdot 10^6$	$1.431 \cdot 10^{-7}$
578	30	$3.3 \cdot 10^{-6}$	$5.408705 \cdot 10^6$	$1.104 \cdot 10^{-7}$
	60	$5.4 \cdot 10^{-6}$	$4.228102 \cdot 10^6$	$0.900 \cdot 10^{-7}$
	90	$7.0 \cdot 10^{-6}$	$3.713534 \cdot 10^6$	$0.778 \cdot 10^{-7}$
	120	$8.6 \cdot 10^{-6}$	$3.350281 \cdot 10^6$	$0.718 \cdot 10^{-7}$
	150	$1.01 \cdot 10^{-5}$	$3.091464 \cdot 10^6$	$0.673 \cdot 10^{-7}$

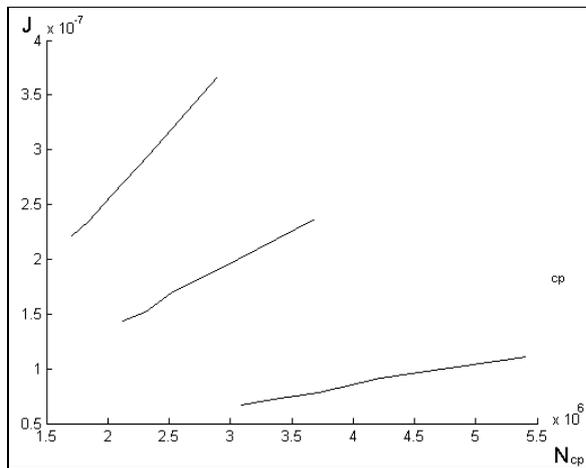


Рис. 2. Зависимость интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения при испытаниях стали 45 различной твердости на абразивную износостойкость с не жестко закрепленными частицами

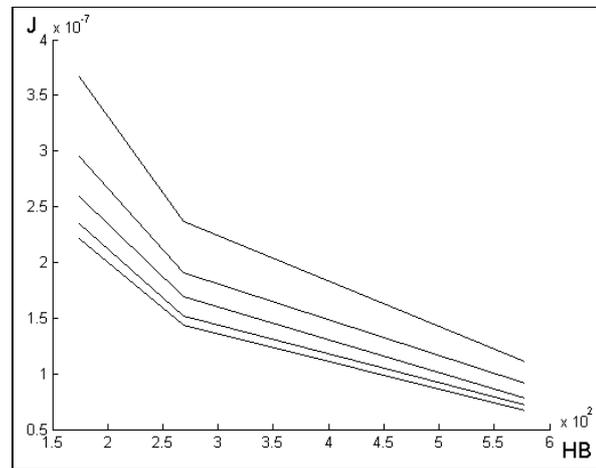


Рис. 3. Интерполированная зависимость интенсивности линейного износа от твердости при испытаниях стали 45 различной твердости на абразивную износостойкость для пути трения 30, 60, 90, 120, 150 м (соответственно сверху вниз на графике)

Разработанные математические модели характеризуют взаимное влияние полученных результатов на конечный результат износа и на уровень износостойкости материалов при трении о не жестко

закрепленные абразивные частицы с переменными твердостью и давлением на поверхность трения.

Аналитическая зависимость линейного износа от среднего давления на поверхность трения при

твёрдостях 174 HB, 269 HB, 578 HB найдены с помощью системы «Mathcad» и имеют вид (1), (2), (3) соответственно.

$$I_h = 8.873823 \cdot 10^{-9} + 1.23 \cdot 10^{-13} \cdot N_{cp}; \quad (1)$$

$$I_h = 1.4930045 \cdot 10^{-8} + 6.0 \cdot 10^{-14} \cdot N_{cp}; \quad (2)$$

$$I_h = 8.762036 \cdot 10^{-9} + 1.9 \cdot 10^{-14} \cdot N_{cp}. \quad (3)$$

Как видно из формы графиков и полученных аналитических выражений, интенсивность линейного износа зависит линейно от среднего давления на поверхность трения при испытаниях стали 45 различной твёрдости. Данный факт имел подтверждение в работе (4) для стали 30ХГСА.

Аналитическая зависимость аппроксимированного линейного износа от твёрдости стали 45 при пути трения 30, 60, 90, 120, 150 м найдены с помощью системы «Mathcad» и имеют вид (4), (5), (6), (7), (8) соответственно.

$$I_h = 1.3025 \cdot 10^{-11} + \frac{6.380347601 \cdot 10^{-5}}{HB}; \quad (4)$$

$$I_h = 1.496868 \cdot 10^{-11} + \frac{5.1033906662 \cdot 10^{-5}}{HB}; \quad (5)$$

$$I_h = 3.12349 \cdot 10^{-10} + \frac{4.5080515579 \cdot 10^{-5}}{HB}; \quad (6)$$

$$I_h = 1.201126 \cdot 10^{-9} + \frac{4.065285588 \cdot 10^{-5}}{HB}; \quad (7)$$

$$I_h = 8.40914 \cdot 10^{-10} + \frac{3.8337531825 \cdot 10^{-5}}{HB}. \quad (8)$$

Используя систему «Matlab» и данные табл. 1, геометрически смоделированные зависимости интенсивности линейного износа от твёрдости стали 45 и среднего давления на поверхность трения, приведены на рис. 5 (интерполированная) и рис. 6 (аппроксимированная).

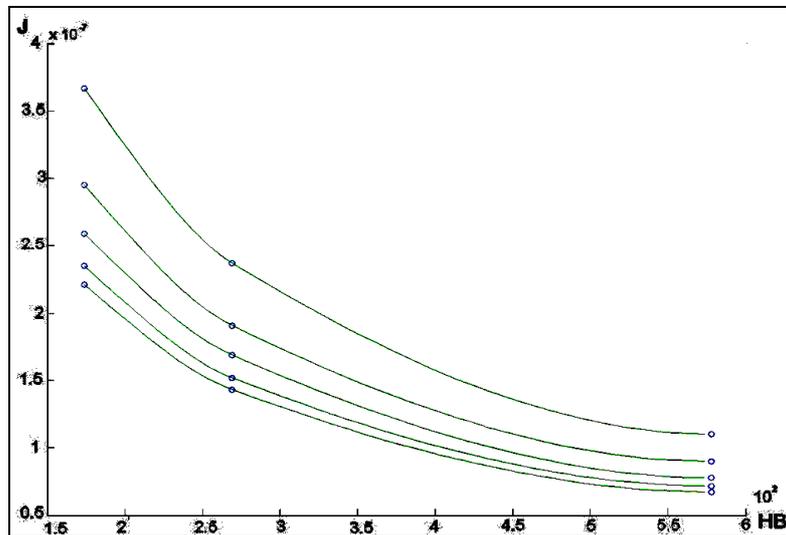


Рис. 4. Аппроксимированная зависимость интенсивности линейного износа от твёрдости при испытаниях стали 45 различной твёрдости на абразивную износостойкость для пути трения 30, 60, 90, 120, 150 м. (соответственно сверху вниз на графике)

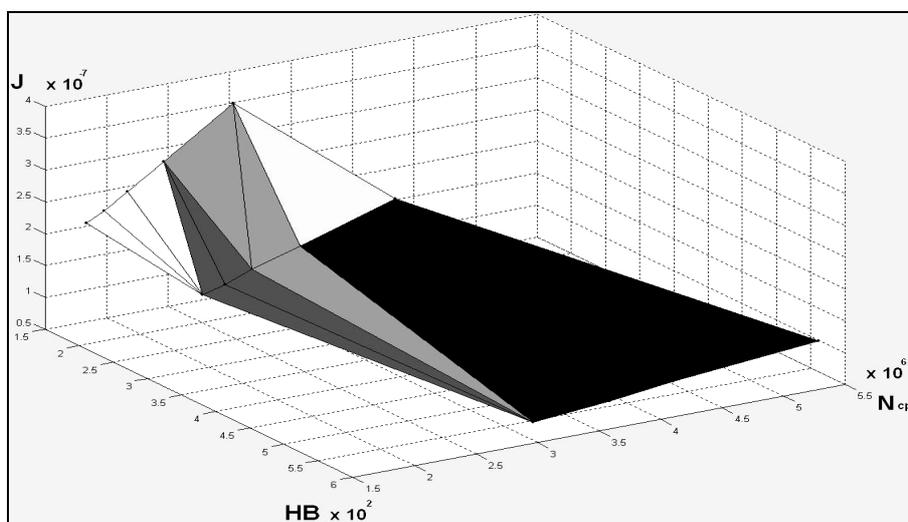


Рис. 5. Интерполированная зависимость интенсивности линейного износа от твёрдости и среднего давления на поверхность трения

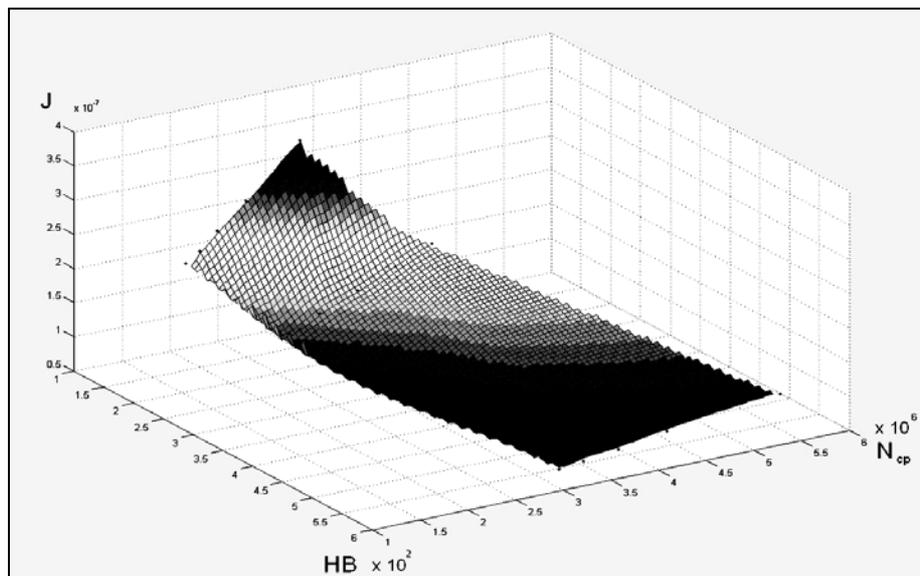


Рис. 6. Аппроксимированная зависимость интенсивности линейного износа от твердости и среднего давления на поверхность трения

Выводы

Установлен экспериментально линейный характер закономерности интенсивности линейного износа материалов трубопроводной арматуры от среднего давления на поверхность трения, что позволяет аналитически определять данные величины. Построенная модель зависимости интенсивности линейного износа от среднего давления на поверхность трения и от твердости поверхности материала показывает зависимость линейного износа при различной твердости материала и давления на пути трения.

Список литературы

1. Вишневський О.А. Модель залежності величини абразивного зносу від лінійного / О.А. Вишневський // Вісн. НАУ. 2004. – №1. – С. 125-129.
2. Vyshnevskiy O.A. Determination of average loading and pressure on the friction surface – the base of simulating

the process of materials test for abrasive wearing resistance / O.A. Vyshnevskiy, A.S. Davydov // Вісн. Київського Університету. – 2008. – №2. – С. 73-76.

3. Вишневський О.А. Моделирование процесса абразивного изнашивания материалов при испытаниях / О.А. Вишневський // Проблемы трибологии. – 2008. – №1. – С. 57-65.

4. Вишневський О.А. Залежність результатів абразивного зносу від твердості матеріалів / О.А. Вишневський // Вісн. НАУ. – 2008. – №1. – С. 76-79.

5. Билокур И.П. Моделирование методов определения механических показателей изнашивания / И.П. Билокур, О.А. Вишневський // Автошляховик України. – 13'2010. – Окремий випуск. – С. 90-92.

Поступила в редколлегию 23.02.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.С. Харченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ЛІНІЙНОГО ЗНОСУ З УРАХУВАННЯМ ТВЕРДОСТІ І СЕРЕДЬНОГО ТИСКУ НА ПОВЕРХНЮ ТЕРТЯ

О.А.Вишневський, О.С. Давидов

Розроблені математичні моделі для визначення інтенсивності лінійного зносу матеріалів з урахуванням твердості і середнього тиску на поверхню тертя. Проаналізована коректність моделі визначення середнього тиску на поверхню тертя за час експерименту і його вплив на результат абразивного зносу. Виконано побудову графіка залежності інтенсивності лінійного зносу від середнього тиску на поверхню тертя і твердості матеріалів, що випробовуються. Отримана поверхня інтенсивності лінійного зносу є геометричною моделлю, що дає можливість прогнозувати величину абразивного зносу матеріалів.

Ключові слова: тертя, тиск, твердість, лінійний знос, математична модель.

MODELING THE LINEAR WEAR INTENSITY WITH CONSIDERATION OF HARDNESS AND AVERAGE PRESSURE TO FRICTION SURFACE

O.A. Vishnevskii, A.S. Davydov

Mathematical model for determining the linear wear intensity with consideration of hardness and average pressure to friction surface has been designed. The correctness of method for determining the average pressure to friction surface during the experiment and its influence on the abrasive wear was analyzed. Graph of the linear wear intensity dependence on the average pressure on the friction surface and tested material hardness was plotted. The obtained surface of the linear wear intensity is the geometrical model which allows predicting the material abrasive wear quantity.

Keywords: friction, pressure, hardness, linear wear, mathematical model.