

УДК 621.9.025

МОДЕЛЬ ДЕФОРМАЦИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ УДАРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

Морозов О.И.¹, Табаков В.П.², Кокорин В.Н.³, Илюшкин М.В.⁴

1 – старший преподаватель кафедры «Материаловедение и ОМД» ФГБОУ ВО УлГТУ;

2 – д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО УлГТУ;

3 – д.т.н., профессор, зав. кафедрой кафедры «Материаловедение и ОМД» ФГБОУ ВО УлГТУ;

4 – к.т.н., зам. директора АО «Ульяновский НИАТ».

Аннотация. Определено влияние износостойкого покрытия, нанесенного на рабочую кромку штампового инструмента на НДС в зоне деформации. В программном пакете Ansys LS-dyna были построены модели разрушения и трещинообразования износостойких покрытий под действием ударных и сдвиговых деформаций.

Ключевые слова: штамп, пуансон, матрица, покрытие, износостойкость, математическая модель, ls-dyna, конечно-элементная сетка, напряженно-деформированное состояние, нитрид титана, ресурсоемкость.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ, проект № 18-48-730011

MODELING OF DEFORMATION FRACTURE OF WEAR- RESISTANT COATINGS OF PUNCHING TOOLS

Morozov O.I.¹, Tabakov V.P.², Kokorin V.N.³, Ilyushkin M.V.⁴

1 - Senior Lecturer of the Department of Materials Science and Metalworking of FSBEI HE UISTU;

2 - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of the Department of "Innovative technologies of mechanical engineering" FSBEI HE UISTU;

3 - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. the Chair of the Department of Materials Science and Metalworking of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education UISTU

4 - candidate of technical sciences, Deputy Director of JSC "Ulyanovsk NIAT".

Abstract. The effect of a wear-resistant coating applied to the working edge of a stamping tool in the deformation zone has been determined. In the Ansys LS-dyna software package, models of fracture and cracking of wear-resistant coatings under shock and shear deformations were built.

Keywords: stamp, punch, matrix, coating, wear resistance, mathematical model, ls-dyna, finite element mesh, stress-strain state, titanium nitride, resource intensity.

Одним из факторов, влияющих на износ рабочей поверхности штампового инструмента, является напряженно-деформированное состояние (НДС) инструментального материала в зоне деформации. В Ульяновском государственном техническом университете (УлГТУ) на кафедрах «Материаловедение и обработка металлов давлением» и «Инновационные

технологии в машиностроении» совместно с АО «Ульяновский НИАТ» и АО «Ульяновский патронный завод» проводятся исследования технологии повышения стойкости штампового инструмента с использованием износостойких ионно-плазменных покрытий [1-4].

Для изучения особенностей НДС широко применяется методика построения математических моделей с использованием программных средств, позволяющих производить анализ НДС в зоне контакта рабочих поверхностей инструмента и материала заготовки. С целью определения влияния износостойкого покрытия на основе нитрида титана на напряженно-деформированное состояние рабочей зоны инструмента были проведены исследования процесса вырубki с использованием метода конечных элементов, реализованного в ПО Ansys LS-Dyna [5-8].

Для моделирования материала износостойкого покрытия была построена конечно-элементная модель процесса определения микротвердости образца методом индентирования с использованием пирамиды Кнуппа, для задания материала покрытия была использована модель хрупкого материала Джонсона-Холмквиста.

При разрушении покрытий, трещины, возникающие в них, распространяются в направлении, перпендикулярном границе раздела «покрытие – инструментальная основа». Для таких трещин (трещины Палмквиста [14]) величину вязкости разрушения K_{Ic} можно определить по следующим формулам:

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{2H_y}{1-\nu^2}}, K_{Icsp} = \sqrt{\frac{2H_{ys}}{1-\nu^2}}, K_{Icsp} = 0,035\sigma\sqrt{c} \left(\frac{H}{\sigma}\right)^{0,4} \left(\frac{c}{c} - 1\right)^{-\frac{1}{2}},$$

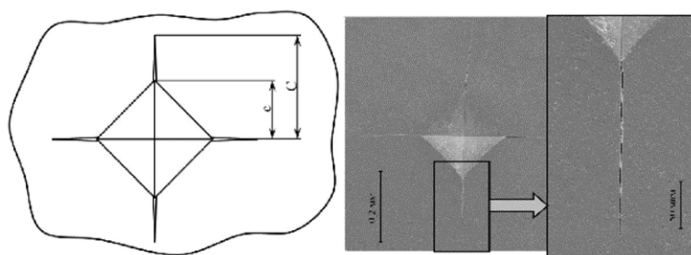


Рис. 1. Схема образования трещин Палмквиста при индентировании пирамидой Виккерса:

а – схема, б - фото отпечатка, полученного на покрытии TiAlN при индентировании пирамидой Виккерса при нагрузке 600Н

Другой важной механической характеристикой материала является модуль упругости первого рода E (модуль Юнга). Традиционные методики определения его величины (испытания на растяжение – сжатие, изгиб, кручение) в случае изучения тонких покрытий применить невозможно. В работе [1] для определения модуля упругости первого рода предложена методика, основанная на индентировании поверхности испытуемого материала пирамидой Кнуппа.

Зависимость между модулем упругости первого рода и размерами пирамиды Кнуппа и отпечатка микротвердости имеет вид:

$$\frac{b'}{d'} = \frac{b}{d} - \alpha \frac{H_K}{E},$$

где b и d – длины меньшей и большей диагоналей пирамиды Кнуппа, b' и d' – длины меньшей и большей диагоналей отпечатка; α – коэффициент ($\alpha = 0,45$); H_K – микротвердость по Кнуппу.

На рис. 2 показаны отпечаток пирамиды Кнуппа на поверхности покрытия TiN и расчетная схема для определения модуля упругости первого рода.

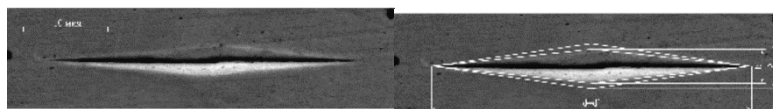


Рис. 2. Фотография отпечатка (а), полученного на покрытии TiN при индентировании пирамидой Кнуппа при нагрузке 2,55 Н и расчетная схема для определения величины модуля упругости первого рода E (б)

Модель Джонсона-Холмквиста [109] получила широкое распространение при математическом моделировании динамических свойств хрупких материалов, особенно при исследованиях ударного воздействия на керамику. Разработанная модель представлена на рисунках 3 и 4.

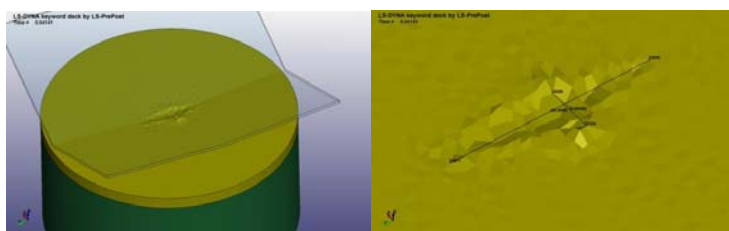


Рис. 3. Конечно-элементная модель процесса индентирования образца с износостойким покрытием TiN пирамидой Кнуппа

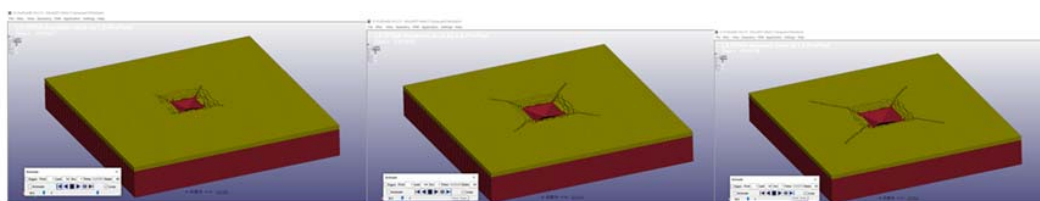


Рис. 4. Конечно-элементная модель процесса индентирования образца с износостойким покрытием пирамидой Виккерса

Сопоставительный анализ результатов моделирования и экспериментов позволяет сделать следующие выводы: отклонение параметров трещин s и S , полученных в результате моделирования, по сравнению с натурными экспериментами не превышает 10%; изменение параметров трещин s и S при изменении свойств покрытия, соответствующих составам покрытий TiN,

TiAlN, TiZrN соответствует данным экспериментов (длины трещин Палмквиста уменьшаются при переходе от покрытий TiN к TiAlN, TiZrN соответственно, отклонение от результатов натурального эксперимента составляет менее 5 %).

Использование математических моделей разрушения износостойких покрытий под воздействием деформационных нагрузок позволит прогнозировать характер и интенсивность износа покрытий на основе нитрида титан в зависимости от архитектуры и состава покрытия. При этом, возникает возможность варьирования схемами нагружения, замены их на более «мягкие», что, в свою очередь, позволит снизить уровень растягивающих напряжений в поверхностном слое инструмента, увеличивая адгезионную способность, а, следовательно, и износостойкость покрытия.

Библиографический список

1. Табаков, В. П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.; ил.

2. Табаков В.П., Чихранов А.В., Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2010, т.12, №4, С. 292-297

3. Морозов О.И., Табаков В.П., Кокорин В.Н., Титов Ю.А. Повышение стойкости рабочих поверхностей деталей штампов и пресс-форм из теплостойких сталей / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 11: в 3 ч. Ч1.Тула:Изд-во ТулГУ, 2017. 64-68 с.

4. Морозов О.И., Кокорин В.Н., Табаков В.П., Сагитов Д.И., Илюшкин М.В., Ширманов Н.А., Исследование процесса комплексной модификации поверхностного слоя рабочих деталей штампов и пресс-форм, работающих в условиях повышенного износа / Научные труды 4-ой Международной

научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН, «Живучесть и конструкционное материаловедение» (ЖивКоМ–2018). – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2018. – 298 с.

5. Чернявский, А. О. Метод конечных элементов. Основы практического применения: монография / А.О. Чернявский. - М. : Машиностроение, 2003 – 24 с., ил.

6. Ansys в руках инженера: Практическое руководство. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

7. Ansys для инженеров: Справочное пособие / Чигарёв А.В., Кравчук, А.С., Смалюк А.Ф. - М. : Машиностроение, 2004. - 512с.

8. Курненко А.В. Численное моделирование процессов резанию: учеб. Пособие. Часть 1 / А.В. Курненко, А.Ю. Шурыгин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2017. – 184 с.

9. LS-DYNA analysis for structural mechanics. Predictive engineering. 2014, - 115 с. LSTC Livermore Software Technology Corp.

10. Криворучко Д.В. Основы 3D-моделирования процессов механической обработки методом конечных элементов: учебное пособие/ Д.В. Криворучко, В.О. Залого, В.Г. Корбач.- Сумы: Изд-во СумДУ, 2009. – 208 с.

11. Илюшкин М.В. Моделирование процессов обработки металлов давлением (осадка цилиндрической заготовки): учебно-методическое пособие / М.В. Илюшкин. – Ульяновск: УлГУ, 2013. – 112 с.

12. G. Maresca, P. P. Milella, G. Pino. A Critical review of triaxiality based failure criteria. – ANPA - Via V. Brancati, Roma. 1997.

13. Input parameters for metal forming simulation using LS-DYNA. Bradley N. Maker, Xinhai Zhu, LSTC, 2000.