

**УДК 621.981**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА С ИЗНОСОСТОЙКИМ ПОКРЫТИЕМ НА ОПЕРАЦИЯХ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ**

Василий Дмитриевич Пиликин, Степан Алексеевич Кузнецов

*Студенты 4 курса*

*Кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»*

*Ульяновский государственный технический университет*

*Научный руководитель: О.И. Морозов,*

*старший преподаватель кафедры «Материаловедение и обработка металлов давлением»*

Рабочий инструмент штампов (пуансоны и матрицы) работает в тяжелых условиях ударных и знакопеременных нагрузок, высоких значений сил трения, контактных нагрузок, что приводит к интенсивному износу его рабочих поверхностей.

Основным фактором, влияющим на износ рабочей поверхности штампового инструмента, является напряженно-деформированное состояние (НДС) инструментального материала в очаге деформации. Одним из инструментов для изучения особенностей НДС является построение математических моделей с использованием программной среды LS-Dyna.

Было проведено моделирование двух процессов листовой штамповки: вытяжка с утонением (формоизменяющие операции) и вырубка (разделительные операции). При разработке математических моделей использовали программные продукты КОМПАС-3D и LS-Dyna.

Для определения величины износа ШИ использовали закон Джона Ф. Арчарда [12], который заложен в расчетном модуле «Wear Process» пакета LS-Dyna. Учитывая, что материал ИП отличается от материала ШИ по своим механическим свойствам и механизму изнашивания, его моделирование выполнялось отдельно. Для этого была выбрана модель Джонсона-Холмквиста [13], учитывающая образование трещин в хрупком материале.

При численном моделировании процесса изнашивания ШИ при вытяжке с утонением исследовали влияние ИП на износ рабочей поверхности, контактные касательные ( $\tau$ ) и нормальные ( $\sigma$ ) напряжения и стойкость ( $N$ ) ШИ. Установлено, что нанесение ИП уменьшает величину контактных напряжений в 1,4-2 раза, в зависимости от состава покрытий. При этом в большей степени уменьшаются контактные касательные напряжения, а большее снижение имеет место при нанесении покрытия TiZrN. По сравнению с покрытием TiN оно составило 5 % и 16 %, соответственно, для нормальных и касательных напряжений.

Нанесение ИП снижает длину изношенной зоны ( $b_n$ ) и максимальную глубину износа ( $a_n$ ). Так, после 600000 циклов работы ШИ с ИП длина изношенной зоны меньше в 1,25 раза, а максимальная глубина износа на 30%. При этом максимальное снижение износа наблюдалось при использовании покрытия TiZrN. Повышение стойкости ШИ при нанесении покрытий при глубине износа, равной 0,15 мм, составило 30%.

При численном моделировании процесса изнашивания ШИ на операции вырубка исследовали влияние ИП износ рабочей поверхности, контактные касательные ( $\tau$ ) и

нормальные ( $\sigma$ ) напряжения при различной величине межинструментального зазора и стойкость ( $N$ ) ШИ.

Установлено, что нанесение ИП уменьшает величину контактных касательных напряжений на 30% и нормальных напряжений на 7% (рис. 8). При этом, как и в случае с операцией «вытяжка с утонением», большее снижение значений контактных напряжений имело место при использовании покрытия TiZrN.

Нанесение ИП снижает износ рабочих поверхностей ШИ (рис. 9). Так, после 400000 циклов работы ШИ снижение износа рабочих поверхностей по цилиндрической ( $I_{ц}$ ) и торцевой ( $I_{т}$ ) поверхностям составило (11-28) %, а глубины износа ( $a_{и}$ ) – (23-27) %. Повышение стойкости ШИ при нанесении ИП при глубине износа  $a_{и} = 0,1$  мм составило 1,22-1,26 раза. При этом, наибольшее снижение износа рабочей поверхности и повышение стойкости ШИ наблюдалось при нанесении покрытия TiZrN.

Сотрудниками машиностроительного факультета УлГТУ совместно с АО «Ульяновский патронный завод» и АО «Ульяновский НИАТ» были проведены экспериментальные испытания штампового инструмента с ИП. Отклонение результатов моделирования и эксперимента не превышают 4 и 13 %, для операций вытяжки с утонением и вырубки, соответственно.

#### **Выводы.**

1. Разработаны математические модели разрушения ИП и изнашивания рабочих поверхностей ШИ с ИП на операциях вытяжки и вырубки, учитывающие особенности разрушения хрупкого материала ИП и формирования зон разрушения в условиях ударных и сдвиговых нагрузок.

2. Проведено численное моделирование процесса изнашивания рабочих поверхностей ШИ и разрушения ИП с использованием программных комплексов КОМПАС-3D и LS-Dyna. Результаты исследований, полученных численным моделированием, подтверждены экспериментальными данными. Отклонения результатов моделирования и эксперимента не превышают 13%.

3. На основе результатов численного моделирования установлено влияние ИП на контактные напряжения, износ рабочих поверхностей и стойкость ШИ. Установлено, что на операции вытяжки нанесение ИП уменьшает величину контактных напряжений в 1,4-2 раза, снижает износ рабочих поверхностей на (25-30) % и повышает стойкость ШИ на 30%; на операции вырубки снижение контактных напряжений составило до 30 %, износа рабочих поверхностей (11-28) % и повышение стойкости ШИ в 1,22-1,26 раза. При этом, наибольшую эффективность независимо от вида операции имеет покрытие TiZrN.

4. Результаты численного моделирования подтверждены экспериментальными данными.

#### **Литература**

1. *Табаков В.П.* Повышение эффективности режущего инструмента путем направленного изменения параметров структуры и свойств материала износостойкого покрытия: диссертация на соискание степени доктора технических наук : 05.03.01. - Ульяновск, 1992. - 584 с. : ил.
2. *Морозов О.И.* Повышение стойкости штампового инструмента с износостойким покрытием на формоизменяющих операциях, Табаков В.П., Кокорин В.Н., Корняков Е.Л., Морозов О.И., Алешин А.С., Сагитов Д.И.// Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 6. С. 352-358.
3. *Морозов О.И.* Моделирование напряженно-деформированного состояния штампового инструмента с износостойким покрытием на разделительных операциях листовой штамповки с использованием программного пакета LS-DYNA, Морозов О.И., Табаков В.П., Кокорин В.Н., Илюшкин М.В., Титов Ю.А., Сагитов Д.И.//

- Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2020. Т. 22. № 3. С. 5-11.
4. Морозов О.И. Моделирование процесса предварительной механической активации подложки композиции покрытие - металл и исследование напряженного и деформированного состояния рабочих поверхностей штампового инструмента, Табаков В.П., Кокорин В.Н., Морозов О.И., Алешин А.С., Аль К.М.Ф.Д., Сагитов Д.И. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2019. Т. 15. № 11 (179). С. 523-528.
  5. Морозов О.И. Повышение стойкости рабочих поверхностей деталей штампов при использовании комплексной модификации, Морозов О.И., Кокорин В.Н., Табаков В.П., Сагитов Д.И., Илюшкин М.В., Ширманов Н.А. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 3. С. 317-326.
  6. Морозов О.И. Повышение стойкости рабочих поверхностей деталей штампов и пресс-форм из теплостойких сталей, Табаков В.П., Кокорин В.Н., Титов Ю.А., Морозов О.И. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 11-1. С. 64-68.
  7. Improvement of the working surface resistance of a stamping tool with coating and SSS modeling of the preliminary mechanical activation of the surface layer of the stamp working parts, Tabakov V.P., Kokorin V.N., Morozov O.I., Titov Y.A., Ilyushkin M.V., Korniyakov E.L. // Сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Technologies, Innovation, Quality. Сер. "XXI International Scientific and Research Conference on Metallurgy: Technologies, Innovation, Quality, Metallurgy 2019" 2020. С. 012049.
  8. Моделирование напряженно-деформированного состояния материала инструментальной оснастки процессов ОМД с износостойким ионно-плазменным покрытием / О. И. Морозов, В. П. Табаков, В. Н. Кокорин, М. В. Илюшкин // Инновационные технологии в машиностроении : Международная научно-практическая заочная конференция, Ульяновск, 30 ноября 2020 года. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2020. – С. 227-232.
  9. John F. Archard. Contact and Rubbing of Flat Surface, J. Appl. Phys. 24 (8):981-988, 1953.
  10. Simulation of Wear Processes in LS-DYNA®, Thomas Borrvall, Anders Jernberg and Mikael Schill, 14th International LS-DYNA Users Conference, June 12-14, 2016.
  11. Research on Tribological Characteristics of Hard Metal WC-Co Tools with TiAlN and CrN PVD Coatings for Processing Solid Oak Wood? Deividas Kazlauskas, Vytenis Jankauskas, and Simona Tuckute, Coatings 2020, 10, 632; doi:10.3390/coatings10070632
  12. Табаков В.П. Повышение эффективности режущего инструмента путем направленного изменения параметров структуры и свойств материала износостойкого покрытия: диссертация на соискание степени доктора технических наук: 05.03.01. - Ульяновск, 1992. - 584 с. : ил.