

## Численное моделирование обработки режущих твердосплавных пластин импульсным электрическим током

Н. Я. Оправхата

Институт проблем прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, Киев, Украина

*Представлены результаты численного моделирования обработки режущих твердосплавных пластин импульсным током большой плотности. Для типовых твердосплавных пластин определены направления действия импульсов электрического тока, соответствующие его наибольшей плотности в определенной части пластины.*

**Ключевые слова:** импульсный электрический ток, режущие твердосплавные пластины, импульсная обработка, метод конечных элементов.

**Введение.** В настоящее время твердые сплавы являются основным материалом для изготовления режущего инструмента, штампов и матриц, рабочих частей прокатных валков, рабочих органов горнодобывающих машин, измерительного инструмента и многих других элементов ответственного оборудования. Широкое распространение эти сплавы получили благодаря сочетанию высокой твердости (HRA 82...92), теплоустойчивости (800...1000°C), износостойкости и высокой прочности (предел прочности при сжатии до 6000 МПа, при изгибе до 2500 МПа) [1]. Такие свойства обеспечиваются созданием гетерогенной структуры, состоящей из частиц тугоплавких карбидов (WC, TiC, TaC и др.) и более мягкого и менее тугоплавкого связующего (например, Co) [2, 3].

Однако высокие значения механических характеристик существенно усложняют их производство и обработку, требуя применения специальных дорогостоящих технологий. Поэтому твердосплавную продукцию выпускают в виде готовых изделий: пластин различной геометрии, которые закрепляют в держателях либо механически, либо с помощью пайки. К недостаткам твердых сплавов, изготавливаемых методами порошковой металлургии, также следует отнести неоднородность структуры и нестабильность механических свойств материала в готовых изделиях, что недопустимо, поскольку основными параметрами, определяющими область их применения и режущую способность, являются твердость, износостойкость и прочность при изгибе.

Обеспечение стабильности свойств изделий требует обширных исследований с целью изучения влияния размера зерен, количества связующего, методов получения порошков для спекания, условий спекания и других факторов на механические характеристики твердых сплавов. В последнее десятилетие широкое распространение получили технологии модификации физико-механических свойств и поверхностного упрочнения твердых сплавов.

Одной из таких технологий является магнитно-импульсная обработка [4–6], в частности непосредственное пропускание импульсного электрического тока через материал. Данная технология достаточно проста и может быть реализована как на этапе производства, так и при восстановлении режущего инструмента. Воздействуя импульсами электрического тока на неоднородность материала, имеющего склонность к структурным и фазовым превращениям, можно стимулировать протекание в нем определенных физико-химических процессов [6]. Управление этими процессами дает возможность получать материал с необходимыми свойствами.

Твердосплавные пластины для режущего инструмента имеют достаточно сложную геометрическую форму, при этом основную нагрузку в процессе резания несут

их ограниченные зоны: режущая кромка и канавка для скальвания стружки. Вполне понятно, что геометрическая форма пластины, направление действия электрического тока и его параметры будут влиять на образование областей повышенной плотности электрического тока.

Цель данной работы – выявление закономерностей распределения плотности электрического тока в режущих твердосплавных пластинах при их обработке импульсным электрическим током большой плотности, а также разработка рекомендаций по выбору наиболее эффективных направлений действия импульсов электрического тока.

**Методика численного моделирования.** В качестве объекта исследования были выбраны выпускаемые промышленностью сменные многогранные твердосплавные пластины в форме шестигранника толщиной 4,8 мм с центральным отверстием диаметром 5,0 мм (рис. 1,а) [7] и напайные твердосплавные пластины толщиной 6,0 мм (рис. 1,б) [8] и 7,9 мм (рис. 1,в) [9] различной формы.

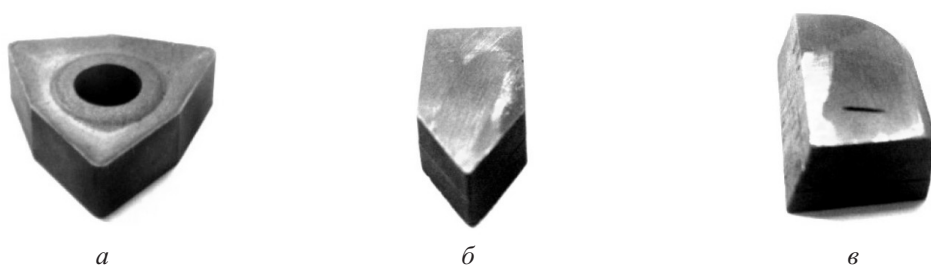


Рис. 1. Сменные многогранные (а) и напайные (б, в) твердосплавные пластины.

Моделирование проходящего через пластину электрического тока осуществлялось с помощью плотно прижатых с двух сторон плоских контактов с разными электрическими потенциалами, полностью перекрывающих ее площадь.

Для численных расчетов обработки электрическим током построены геометрические модели выбранных режущих твердосплавных пластин. Для построения конечноэлементных моделей пластин (рис. 2) использовали объемные конечные элементы типа SOLID 98 [10–12]. Элементы данного типа имеют вид тетраэдра с десятью узлами, каждый из которых может иметь до шести степеней свободы и хорошо подходит для моделирования нерегулярных сеток. Количество конечных элементов подбирали путем последовательного сгущения конечноэлементной сетки до расхождения между текущими и предыдущими расчетными значениями не более 5%.

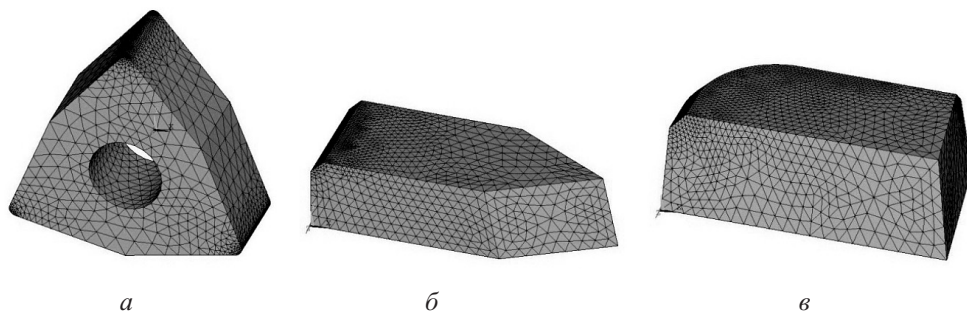


Рис. 2. Конечноэлементная модель сменных многогранных (а) и напайных (б, в) твердосплавных пластин.

Степень изменения плотности электрического тока оценивали в безразмерных величинах, определяемых из выражения

$$K_j = \frac{j_{\max}}{j_{\min}},$$

где  $j_{\max}$ ,  $j_{\min}$  – максимальное и минимальное значения плотности электрического тока.

**Результаты расчетов и их анализ.** Как показывают результаты численного моделирования, при прямом пропускании импульсного электрического тока в шести-гранных пластинах наблюдается неравномерное распределение плотности электрического тока в объеме материала (рис. 3,а).

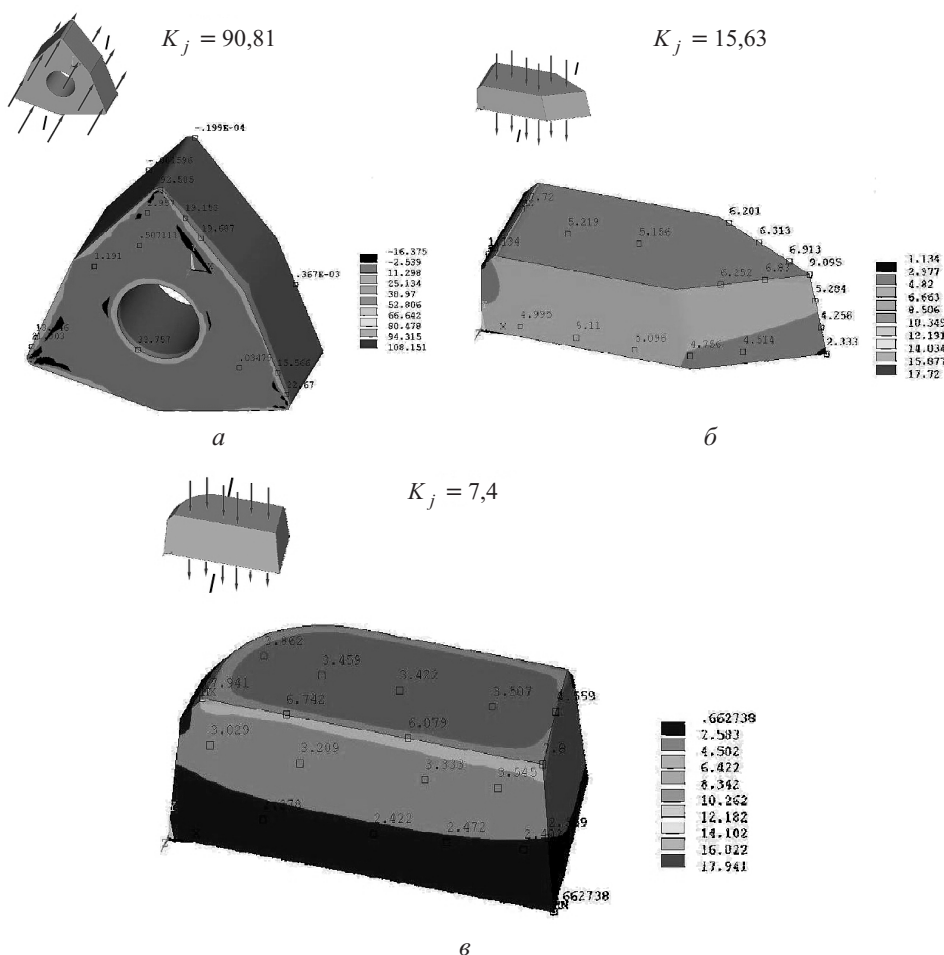


Рис. 3. Распределение плотности электрического тока в сменных многогранных (а) и напайных (б, в) твердосплавных пластинах.

Это связано с наличием в шестигранных пластинах канавки для скалывания металлической стружки (рис. 1,а), из-за которой соприкосновение между пластиной и плоским контактом происходит по периметру боковых граней. Такой способ подвода электрического тока к пластине обеспечивает его максимальную плотность в острых режущих краях.

Для напайных пластин, не имеющих канавки для скалывания металлической стружки (рис. 1,б,в), максимальная плотность электрического тока наблюдается в противоположной режущей кромке части пластины (возле фаски) – рис. 3,б,в.

Эффективность обработки режущих пластин импульсным электрическим током можно повысить, обеспечив его максимальную плотность в ограниченных зонах пластин. При этом нет необходимости увеличивать амплитудное значение силы тока, достаточно определить направление протекания, обеспечивающее его максимальную плотность в выбранной зоне. Применительно к твердосплавным пластинам выбор такой зоны является очевидным – режущая кромка.

С помощью методов численного моделирования определены оптимальные направления действия импульсов электрического тока в твердосплавных пластинках, соответствующие наибольшей его плотности именно в режущей кромке. Зажав один из углов сменной пластины между контактами, можно повысить плотность электрического тока в острых режущих кромках в 1,44 раза (рис. 4,а).

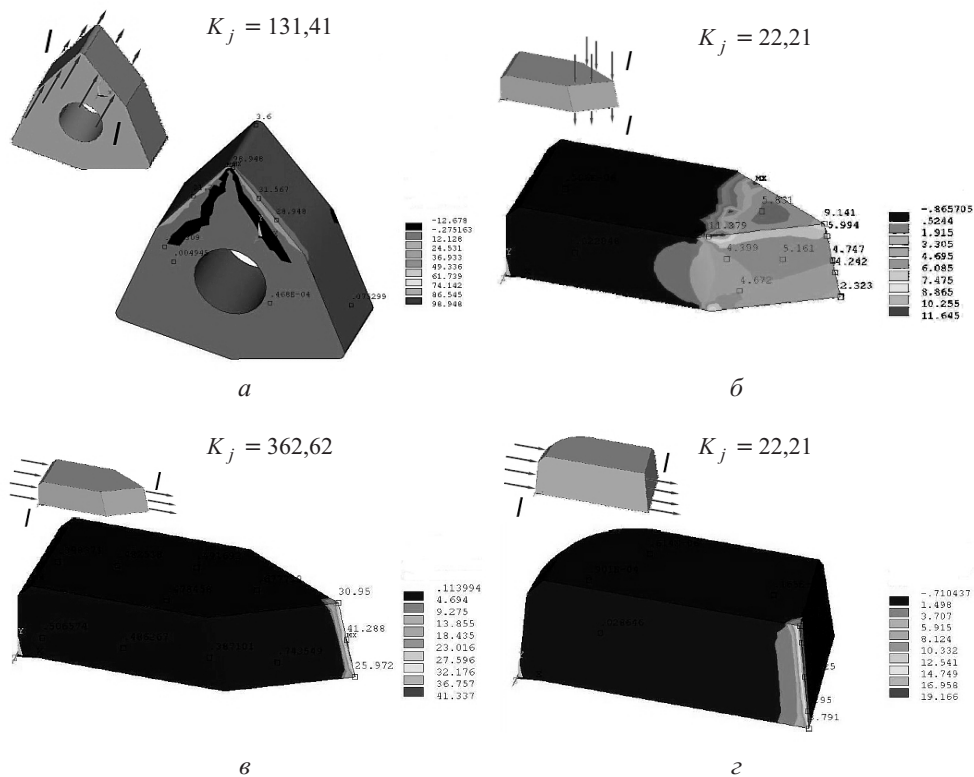


Рис. 4. Оптимальные направления действия импульсов электрического тока при обработке твердосплавных пластин.

Для напайных пластин результаты моделирования показывают, что максимальная плотность электрического тока в зоне острой кромки наблюдается при его протекании в направлении, перпендикулярном режущей кромке: для пластины толщиной 6,0 мм –  $K_j = 362,62$  (рис. 4,в) и 7,9 мм –  $K_j = 12,74$  (рис. 4,г).

**Закключение.** На основании проведенного анализа численных расчетов обработки режущих пластин определены оптимальные направления действия импульсов электрического тока. Использование локальных концентраторов в виде острых кромок позволяет в несколько раз повысить плотность электрического тока при небольших энергетических затратах.

**Резюме**

Представлено результати чисельного моделювання обробки різальних твердосплавних пластин імпульсами електричного струму великої густини. Для типових твердосплавних пластин визначено напрямки дії імпульсів електричного струму, що відповідають його найбільшій густині в певній частині пластини.

1. *Самойлов В. С., Эйхманс Э. Ф., Фальковский В. А. и др.* Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент: Справочник / Под ред. И. А. Ординарцева и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. *Третьяков В. И.* Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М.: Metallurgia, 1976. – 528 с.
3. *Креймер Г. С.* Прочность твердых сплавов. – М.: Metallurgia, 1971. – 247 с.
4. *Овчаренко А. Г., Козлюк А. Ю.* Эффективная магнитно-импульсная обработка режущего инструмента // Обработка металлов. – 2009. – № 1. – С. 4–7.
5. *Малыгин Б. В.* Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин. – М.: Машиностроение, 1989. – 112 с.
6. *Троцкий О. А., Баранов Ю. В., Авраамов Ю. С. и др.* Физические основы и технологии обработки современных материалов. Теория, технология, структура и свойства. В 2 т. – М.: Ин-т компьютерных исследований, 2004. – Т. 1. – 590 с.
7. *ГОСТ 19048-80.* Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные шестигранной формы с углом 80 град. с отверстием и стружколомающими канавками. Конструкция и размеры. – Введ. 01.01.82.
8. *ГОСТ 25401-90.* Пластины твердосплавные напаиваемые типа 23. Конструкция и размеры. – Введ. 01.07.93.
9. *ГОСТ 25426-90.* Пластины твердосплавные напаиваемые типов 07, 67. Конструкция и размеры. – Введ. 01.07.93.
10. *Каплун А. Б., Морозова Е. М., Олферьева М. А.* ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
11. *Басов К. А.* ANSYS: справочник пользователя. – М.: LVR Пресс, 2005. – 640 с.
12. *Буль О. Б.* Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа ANSYS: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Изд. центр “Академия”, 2006. – 288 с.

Поступила 30. 12. 2014