

Математическое моделирование кинематики и экспериментальные исследования процесса магнитно-абразивной обработки кремниевых пластин

Луговик А.Ю., Фёдорцев Р.В., Хомич Н.С., Лосякина Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Магнитно-абразивные методы обработки находят все более широкое применение в различных областях техники, в том числе в оптико-электронной промышленности при полировании кремниевых подложек интегральных микросхем.

Суть метода магнитно-абразивной обработки состоит в том, что ферроабразивные частицы под воздействием магнитного поля формируют «эластичную щетку», которая и производит обработку поверхности (рис.1). В настоящей работе рассматривается вопрос создания компьютерной математической модели процесса магнитно-абразивной обработки плоских заготовок.

Целью исследований являлось нахождение оптимальных кинематических параметров станка, обеспечивающих максимальную равномерность обработки поверхности пластины при обеспечении высокой интенсивности съема припуска (рис.2).

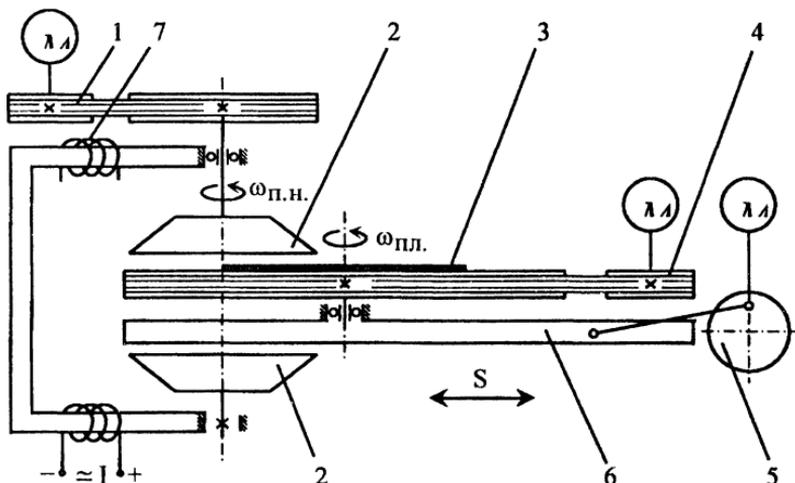


Рис.1. Схема магнитно-абразивной обработки кремниевых пластин: 1 – привод вращения полюсных наконечников; 2 – полюсные наконечники; 3 – обрабатываемая пластина; 4 – привод вращения пластины; 5 – привод подачи; 6 – каретка; 7 – электромагнитные катушки

Станок реализует три рабочих движения: вращение верхнего полусного наконечника ($\omega_{П.н.}, c^{-1}$), вращение пластины с некоторым заданным эксцентриситетом ($\omega_{П.л.}, c^{-1}$), возвратно-поступательное движение пластины (S мм/с). Математические зависимости, описывающие такие виды перемещений, приведены в справочной литературе по точной механике приборов.



Рис. 2. Блок-схема математической модели

При расчете выходных параметров имеется возможность выбора следующих режимов моделирования процесса обработки: по заданному направлению и по всей поверхности пластины.

В первом случае анализируемые точки располагаются на выбранном радиусе пластины с шагом 1 мм. Во втором случае вся поверхность разбивается на приблизительно одинаковые кольцевые сектора размером 5×5 мм, центры которых и являются анализируемыми точками. Дополнительно программа учитывает специальную форму полюсных наконечников; направление вращения пластины и инструмента; неравномерность съема материала в зоне обработки вследствие различных линейных скоростей абразивных частиц в центре и по краям. Многочисленные виртуальные исследования по программе позволили определить оптимальные режимы работы станка, при этом были выявлены следующие важные особенности:

- нелинейная взаимосвязь между равномерностью обработки и интенсивностью съема припуска в единицу времени;
- «волнообразный» (периодический) характер рельефа поверхности пластины при кратных частотах вращения полюсного наконечника и пластины.

Результаты параллельно выполненных экспериментальных исследований на опытном образце станка мод. 3905 приведены в таблице:

Переходы на операции механической обработки	Зернистость и вид абразивной пасты или суспензии	Средняя шероховатость поверхности Ra , нм	Средняя толщина (Average Thickness Values) $AvgThk$, нм	Время обработки t , мин	Относительная величина интенсивности съема припуска $u_j = m_{ср}^{иск} - m_{ср}^{кон}$, г.
Полирование					
– предварительное	100/60, Fe-Алмаз	1,2425	466,3473	10	0,0367
– окончательное	40/0, Fe-Алмаз	0,78	466,3012	20	0,0019

Работы по дальнейшим численным исследованиям предусматривают усовершенствование математической модели в отношении учета микропараметров, а также поиск новых оптимальных режимов обработки по интенсивности съема припуска.