

3. Наиболее эффективным в своей реализации является способ комбинированной электроэрозионной обработки и распределения формообразующих точек торцового эвольвентного профиля боковой поверхности зуба ЗИ. Независимо от степени точности ЗИ и их размеров при прочих равных условиях способ комбинированной обработки позволяет сократить $T_{\text{о.э.}} \sum$ на 25 % по сравнению со способом при $nl=\text{const}$, на 20 % по сравнению со способом при $\Delta_{a_1}=\text{const}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко Д.В. Обеспечение точности цилиндрических зубчатых изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с ЧПУ: Дис.... канд. техн. наук. Ульяновск: УлГТУ, 1998. 333 с.
2. Худобин Л.В., Рязанов С.И., Кравченко Д.В. Точность формы эвольвентных боковых поверхностей зуба, обеспечиваемая электроэрозионным вырезанием на станках с ЧПУ // Вестник машиностроения. 1998. №10. С. 32 – 36.
3. Кравченко Д.В., Юдаков Д.В. К вопросу обеспечения точности формы эвольвентных боковых поверхностей зубьев электроэрозионным вырезанием на станках с ЧПУ при линейной интерполяции // Вестник УлГТУ. Серия «Машиностроение, строительство». Ульяновск: УлГТУ, 1999. Вып. 3. С.77 – 81.
4. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий изготовления деталей машин» (заключительный). г/б НИР № 34 – 48. Ульяновск: УлГТУ, 2001. 118 с.
5. Худобин Л.В., Кравченко Д.В., Рязанов С.И. Точность взаимного расположения боковых поверхностей зубьев колеса при электроэрозионной обработке // СТИН. 1999. №4. С 34–38.

Ульяновский государственный технический университет

УДК 621.315.592

О.Г. КРУПЕННИКОВ, А.В. КИНЬШИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРЕЗАНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ СТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ ОТРЕЗНЫМИ КРУГАМИ

Приведены результаты экспериментальных исследований процесса разрезания заготовок из неметаллических материалов алмазными отрезными кругами с наружной и внутренней режущей кромкой с использованием гидро- и пневмостабилизирующих устройств, а также пассивной контактной стабилизации.

На современном этапе развития микроэлектроники к качеству подложек, на которых формируют элементы топологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, предъявляют беспрецедентно высокие требования. При этом известно, что наибольшее количество дефектов на подложках возникает в ходе проведения операции разрезания заготовок (слитков). Применение устройств, стабилизирующих режущую кромку отрезного круга, позволяет не только улучшить качество полученных пластин, но и снизить потери дорогостоящего материала на пропил [1].

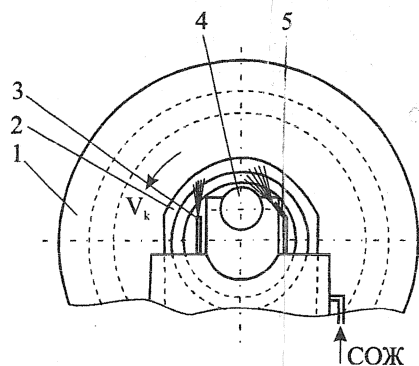


Рис.1. Схема экспериментальной установки на базе станка «Алмаз-6М»: 1 - кожух, 2 - АКВР, 3 - сопло для очистки режущей кромки, 4 - заготовка, сопло для подачи СОЖ в зону обработки

румента использовали шлифовальные бруски характеристики 24А(25А) 6-8 ПС1-СТ19К размерами 16 x 16 x 150 мм. От образцов из оптического стекла К 108 ТУ 31770-85 отрезали пластины толщиной 2 мм (для АОК), от образцов из графита МПГ-6 размерами 16 x 45 x 250 мм - пластины толщиной 1,5 мм (для АКВР). При исследовании эффективности пассивной контактной стабилизации режущей кромки АКВР на заготовку предварительно наклеивали с помощью эпоксидного клея ЭДП ТУ 6-15-1070-82 "материал-стабилизатор" (пенопласт марки ПХВ 1 - 115, графит МПГ-6, оптическое стекло К 108) толщиной 20 мм.

Окружная скорость V_k круга АОК составляла 30 м/с, а врезную подачу V_s изменяли в диапазоне от 10 до 90 мм/мин. Окружную скорость АКВР V_k варьировали в интервале (10 - 20) м/с, врезную подачу V_s - в диапазоне (10 - 50) мм/мин. В качестве СОТС в экспериментах использовали 2 %-ную полусинтетическую СОЖ Аквол-11 [3, 4], которую подавали либо из двух сопел, расположенных до и после зоны врезания, либо вместо стандартного сопла перед зоной врезания устанавливали устройство для гидростабилизации круга и подача СОЖ осуществлялась через два симметрично расположенных относительно АКВР насадка.

Установлено, что при активной стабилизации гидроустройством кругов АОК площадь сколов снизилась в 1,56-2,15 раза, при использовании пневмоустройств значение $S_{ск}$ уменьшилось в 1,32-2,42 раза; а при разрезании заготовок с наклеенным пассивным "стабилизатором" - в 1,92-2,76 раза по сравнению с традиционным разрезанием (рис. 3).

Ширина пропила δ_n при разрезании АОК без стабилизации больше, чем при разрезании с пневмостабилизацией режущей кромки отрезного круга на 1-4 %, на 4-7% - по сравнению с гидростабилизацией и

Эффективность стабилизации алмазных кругов экспериментально исследовали на отрезном станке "Алмаз - 6М" (рис. 1), предназначенном для разрезания заготовок алмазными кругами с внутренней режущей кромкой (АКВР), и на станке GS-400 (рис. 2) для разрезания алмазными отрезными кругами с наружной режущей кромкой (АОК). Станки были оснащены оригинальными устройствами для пневмо- и гидростабилизации и установкой для пассивной контактной стабилизации круга. Отрезные станки были также снабжены устройствами для правки отрезного круга и станциями подачи и очистки СОЖ, а при использовании пневмостабилизирующего устройства - дополнительно компрессором.

Разрезание заготовок проводили АКВР типоразмера 422 x 152 x 0,32 мм характеристики АС6 50/40, выбранной согласно рекомендациям ГОСТ 26004-83, и АОК фирмы "Winter" D251 C23 BZ 335 (АС6 250/200) типоразмера 400x30x1,8 мм [2]. В качестве правящего инстру-

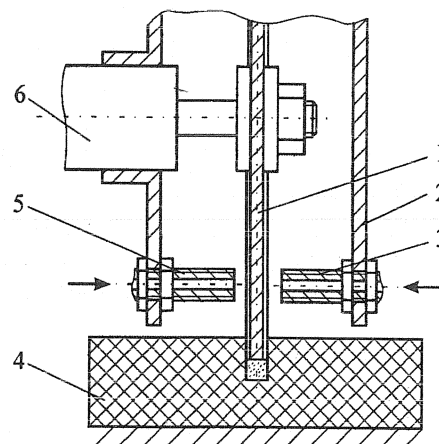


Рис. 2. Схема экспериментальной установки на базе станка "GS-400": 1 - отрезной круг; 2 - кожух; 3, 5 - насадки; 4 - заготовка; 6 - шпиндель станка

на 10–14% – в случае применения пассивной контактной стабилизации (рис. 4).

Как видно из рис. 5, параметр R_a шероховатости поверхностей пластин, отрезанных кругом АОК традиционным способом, на 11–30% превышает R_a пластин, отрезанных с применением пневмостабилизации, на 24–41% – с гидростабилизацией, на 150–170% – с пассивной контактной стабилизацией.

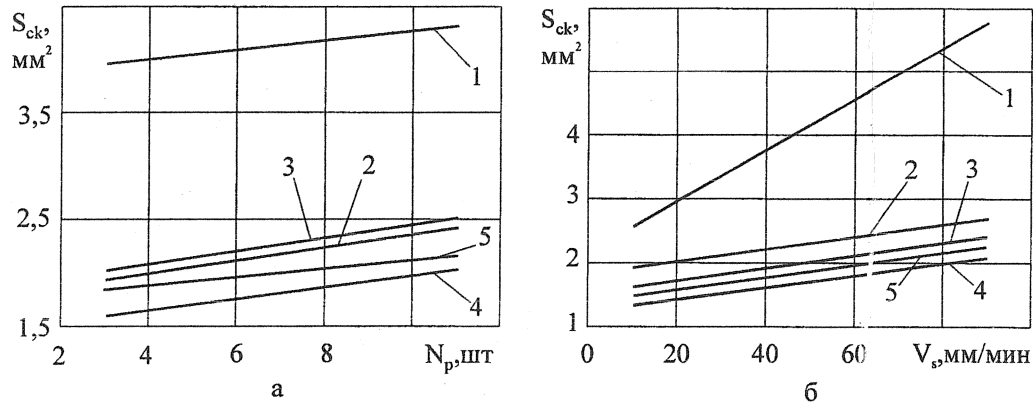


Рис. 3. Зависимость площади сколов S_{ck} от количества резов N_p (а) и резной подачи V_s (б): 1 – традиционное разрезание АОК; 2 – разрезание с гидростабилизацией; 3 – разрезание с пневмостабилизацией; 4, 5 – разрезание с пассивной контактной стабилизацией пенопластом и оптическим стеклом соответственно

Как показал анализ экспериментальных данных, увеличение числа резов приводит к незначительному росту параметра R_a (рис. 6, а), так как круг АКВР в процессе работы без правки постепенно засаливается. Ухудшение шероховатости наблюдается также при увеличении скорости резной подачи V_s (рис. 6, б), что объясняется усилением хрупкого разрушения материала заготовки. Повышение окружной скорости круга V_k приводит к сни-

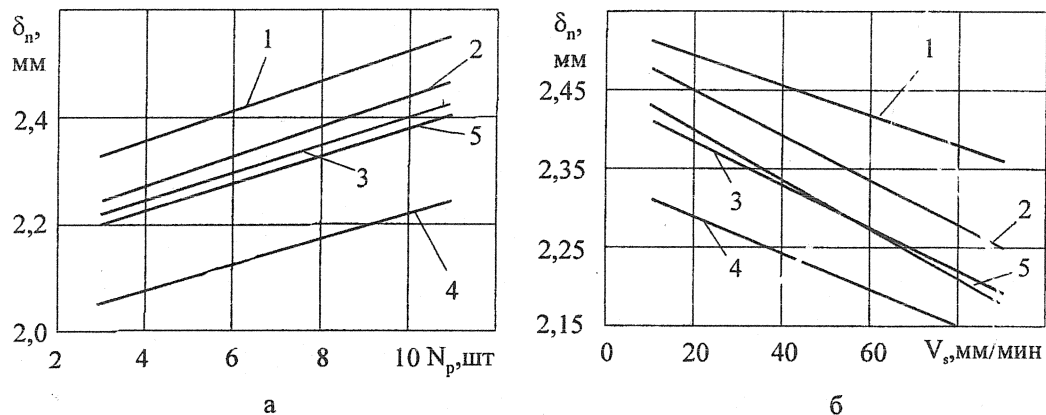


Рис. 4. Зависимость ширины пропила δ_n от количества резов N_p (а) и резной подачи V_s (б): 1, 2, 3, 4, 5 – см. надпись к рис. 1

жению значения R_a на 13–15% (рис. 6, в), что связано с улучшением условий резания.

При этом применение устройств стабилизации режущей кромки АКВР позволило снизить шероховатость графитовых пластин по параметру R_a в среднем на 26–27% при использовании пневмо- и гидростабилизации и на 42% при стабилизации пассивным контактным способом по сравнению с традиционным разрезанием. Наибольший эффект от пассивной контактной стабилизации обусловлен повышенной степенью демпфирования осевых колебаний режущей кромки круга при прорезании слоя вспомогательного мате-

риала (пенопласта) по сравнению с другими стабилизирующими устройствами. Однако использование графита в качестве "стабилизатора" не привело к положительному результату, так как круг АКВР разрезал заготовку большего размера (графитовый слиток + графитовый "стабилизатор") и быстрее засаливался.

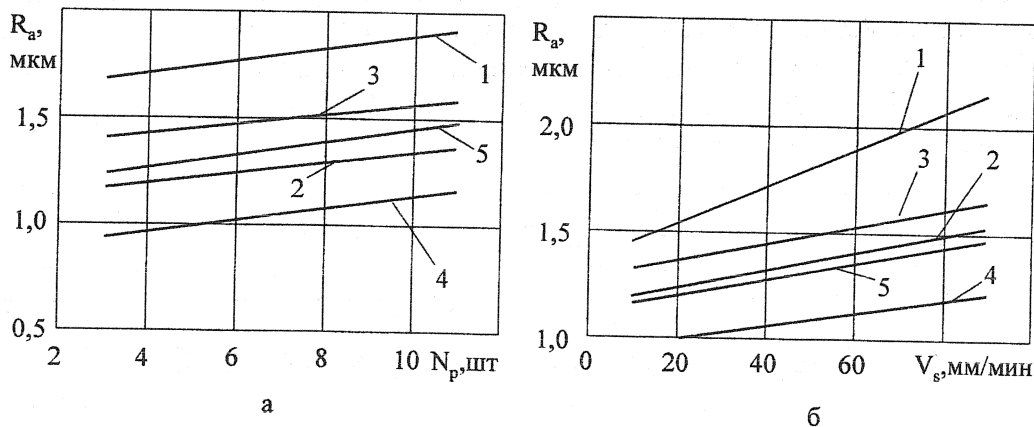


Рис. 5. Зависимость шероховатости R_a от количества резов N_p (а) и врезной подачи V_s (б): 1, 2, 3, 4, 5 – см. надпись к рис. 1

Как видно из рис. 7, а, увеличение числа резов N_p , как и в случае с шероховатостью, приводит к росту ширины пропила δ_n . Однако повышение окружной скорости круга V_k , наоборот, увеличивает δ_n (рис. 7, в), так как при этом наблюдается рост вибраций режущей кромки АКВР. Уменьшение δ_n с увеличением скорости врезной подачи V_s (рис. 7, б) объясняется тем, что режущая кромка при больших значениях V_s не успевает "разбить" пропил.

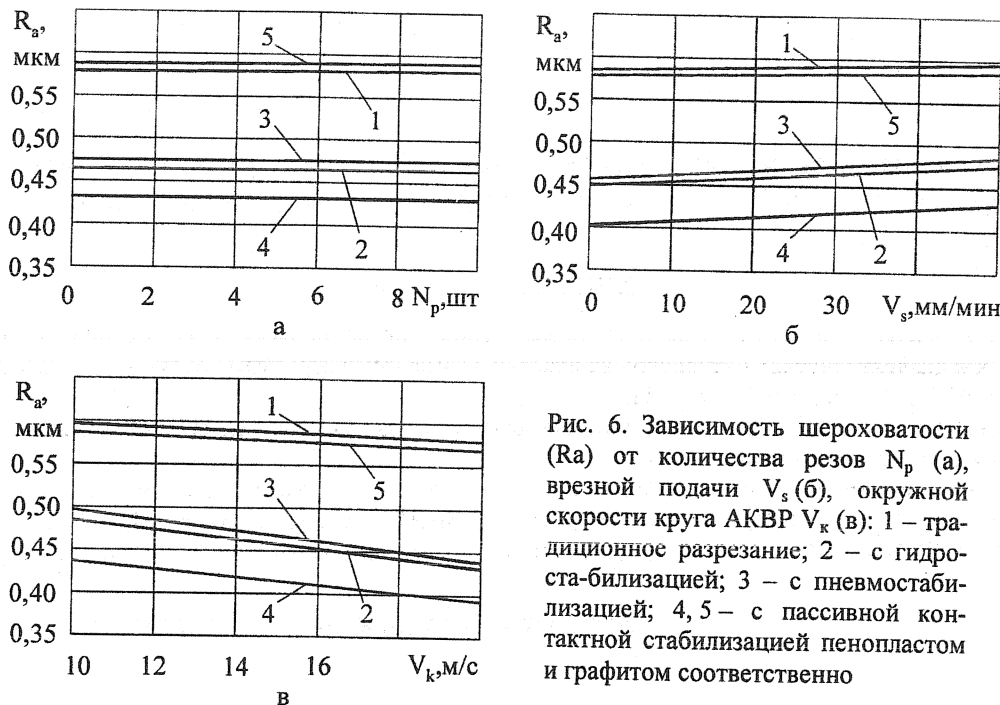


Рис. 6. Зависимость шероховатости (R_a) от количества резов N_p (а), врезной подачи V_s (б), окружной скорости круга АКВР V_k (в): 1 – традиционное разрезание; 2 – с гидростабилизацией; 3 – с пневмостабилизацией; 4, 5 – с пассивной контактной стабилизацией пенопластом и графитом соответственно

Применение стабилизирующих устройств позволило уменьшить ширину пропила δ_n по сравнению с базовым вариантом на 10 % при пневмостабилизации, на 11 % при гидростабилизации и на 7 % при пассивной контактной стабилизации режущей кромки отрезного круга с внутренней режущей кромкой.

Анализ результатов исследования разрезания с пассивной контактной стабилизации показал, что свойства материала-стабилизатора в значительной степени влияют на качество реза и отрезанных пластин. Так изменение модуля упругости E с $0,610 \cdot 10^{11}$ Па (графит) до $0,085 \cdot 10^{11}$ Па (пенопласт) при разрезании АКВР привело к уменьшению ширины пропила δ_n на 11% и параметра Ra на 38%.

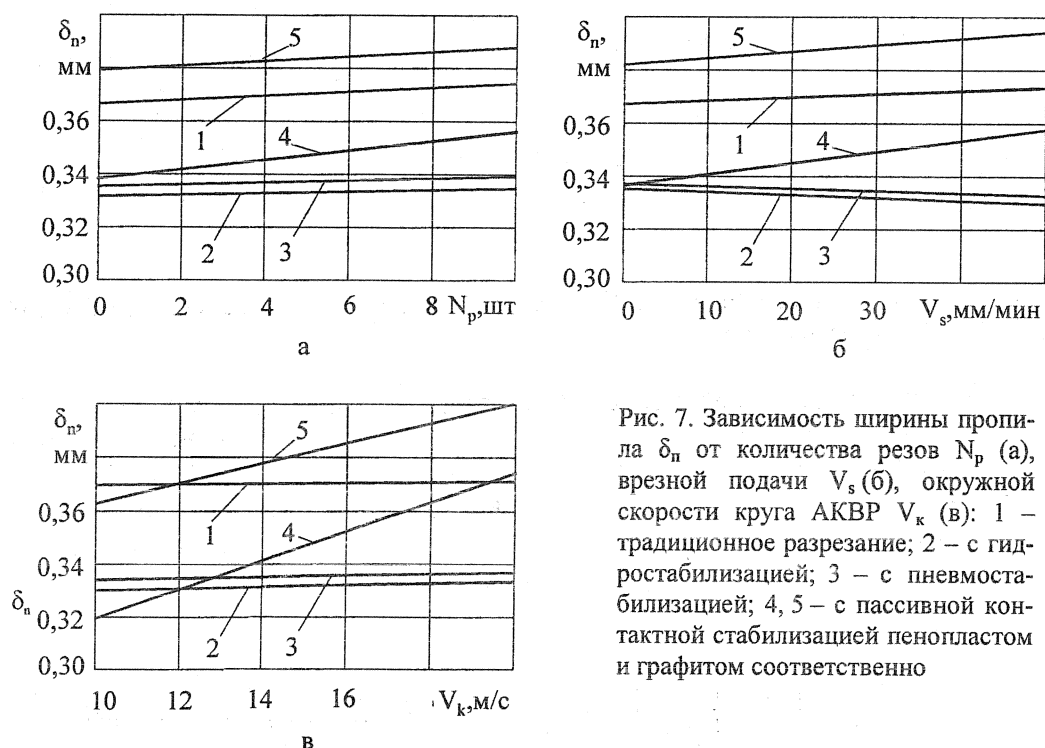


Рис. 7. Зависимость ширины пропила δ_n от количества резов N_p (а), врезной подачи V_s (б), окружной скорости круга АКВР V_k (в): 1 – традиционное разрезание; 2 – с гидростабилизацией; 3 – с пневмостабилизацией; 4, 5 – с пассивной контактной стабилизацией пенопластом и графитом соответственно

Таким образом, применение устройств для стабилизации режущей кромки отрезного круга позволяет улучшить качество отрезанных пластин и уменьшить потери материала на пропил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крупенников О.Г. Повышение эффективности операции разрезания заготовок из полупроводниковых и диэлектрических материалов на пластины алмазными отрезными кругами. Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. Ульяновск: УлПИ, 1994. 282 с.
2. Порошки, инструмент и пасты из синтетических алмазов: Каталог – справочник / Под ред. Н.В. Новикова. Киев.: Наукова думка, 1981. 142 с.
3. Изделия электронной техники. Технические требования к технологическому процессу изготовления пластин кремния: ОСТ 11 14.7003-86. Введ. 01.07.87. М.: ВНИИ "Электростандарт", 1987. 40 с.
4. ГОСТ 26004-83. Круги алмазные отрезные с внутренней режущей кромкой. Технические условия.

Ульяновский государственный технический университет