

Фрезы, що оснащені ПНТМ, бувають торцевими, кінцевими, дисковими та черв'ячними. Торцеві фрези, як найбільш розповсюджені вид цього інструменту, випускають з механічним кріпленням вставок, круглих та багатограних різальних пластин; насадні і хвостові; однозубі та багатозубі; однорядні, ступінчасті і багаторядні; фрези для обробки відкритих, напівзакритих і закритих поверхонь. Найбільш розповсюдженими в теперішній час є торцеві збірні регульовані фрези з пластинами із ПНТМ або вставками з цього матеріалу. Промисловістю випускаються регульовані торцеві насадні (однорядні та ступінчасті) фрези діаметром 100–800 мм і нерегульовані ступінчасті фрези діаметром 100–400 мм з механічним кріпленням різальних елементів. Для обробки пазів в деталях із важкооброблюваних матеріалів застосовують дискові фрези і пили, які оснащені ПНТМ. При цьому монолітні або двохшарові різальні елементи кріпляться методом паяння з наступним заточуванням. Випускають також дискові фрези з механічним кріпленням змінних вставок із ПНТМ для обробки пазів у деталях із загартованих сталей.

Черв'ячні зуборізні фрези, які оснащені різальними елементами із ПНТМ, працюють за

двома схемами – кромковою та профільною. За типом різальних елементів черв'ячні фрези поділяють на фрези з механічним кріпленням змінних вставок або паяним. Конструктивно черв'ячні фрези можуть складатися з одної або двох напівфрез. Як правило, різальна частина фрези виготовляється із ПНТМ на основі нітриду бору.

Сучасні фрези найчастіше випускають зі зносостійкими покриттями.

Найбільш надійним моношаровим покриттям є плівкове покриття золотистого кольору із нітриду титану (TiN). Товщина цього покриття знаходиться у межах 2–10 мкм, тобто є співрозмірною із шорсткістю основи (твердого сплаву чи швидкорізальної сталі). Твердість покриття сягає 21–36 ГПа, тобто це покриття є надзвичайно зносостійким. При переточуванні фрез, що завжди здійснюють по передній поверхні, покриття залишається неушкодженим і захищає найбільш уразливу задню поверхню зуба. Серед методів фізичного осадження покриттів (PVD), за допомогою яких отримують покриття із нітриду титану, найбільше розповсюдження набув метод КІБ (конденсації речовини з плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням). Межа міцності TiN на згин 240 МПа, а температура плавлення 2950 °С.

*Л. Танович, д.т.н., проф.,
Белградський університет, Сербія*

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Микропроизводство подразумевает создание продуктов с размерами от несколько микрометров до нескольких миллиметров высокой точности размеров из различных материалов. В настоящее время, во всем мире, как в научно-исследовательских учреждениях, так и в промышленности

имеется большой интерес к области микропроизводства. Сегодня микропроизводство интенсивно развивается как ответ на повышающийся спрос на миниатюрную продукцию, изготавливаемую часто в небольших количествах, может иметь сложную форму с особыми требованиями по ка-

честву поверхности. На рис. 1 показаны примеры микропродуктов, а на рис. 2 – промышленные микропроизводственные системы.

Особым случаем миниатюризации являются дигитальные компьютеры, размеры которых в последние 50 лет уменьшились в 10^6 раз.

Многие виды промышленности требуют изго-

товления миниатюрных компонентов, что сопровождается снижением потребления энергии и затрат материалов, используемых в производстве, упрощением обрабатывающих систем, увеличением скоростей, чувствительности и селективности систем, необходимостью использования в технологиях новых эффектов и т.п.

Микрообработка и системы для микрообработки. Микропроизводственные процессы могут быть разделены в четыре главные категории: субтрактивные, аддитивные, форминг и гибридные.

Механические микрообработывающие процессы, в основном, модифицированные или простые конвенциональные макромеханические обрабатывающие процессы, не связанные с размерами изделий. Процессы характеризуются хорошей геометрической взаимосвязью между инструментом и обрабатываемой поверхностью. Это подразумевает использование инструмента с малым радиусом округления режущей кромки. Одним из доминирующих факторов при микрорезании является отношение глубины резания и радиуса округления режущей кромки, связанное с так называемым эффектом минимальной толщины стружки. С ним связана предельная глубина резания, ниже которой стружка не образуется. Механика процесса резания значительно отличается от случая макрообработки, так как в рассматриваемом случае доминирующим является механизм царапания по отношению к классическому скалыванию. Специфика данного процесса требует включения в рассмотрение зернистой структуры материала и всех возможных источников дефектов в нем, приводящих к нестабильности процесса обработки.

В настоящее время в мире делают большие усилия по исследованию и созданию машин микро/мезо-размеров. На рис. 3 показаны прототипы машин, разработанных Northwestern University (NU), которые представляет собою полностью 3-осевые микро/мезо-обрабатывающие центры с ЧПУ, обеспечивающие субмикронную точность обработки.

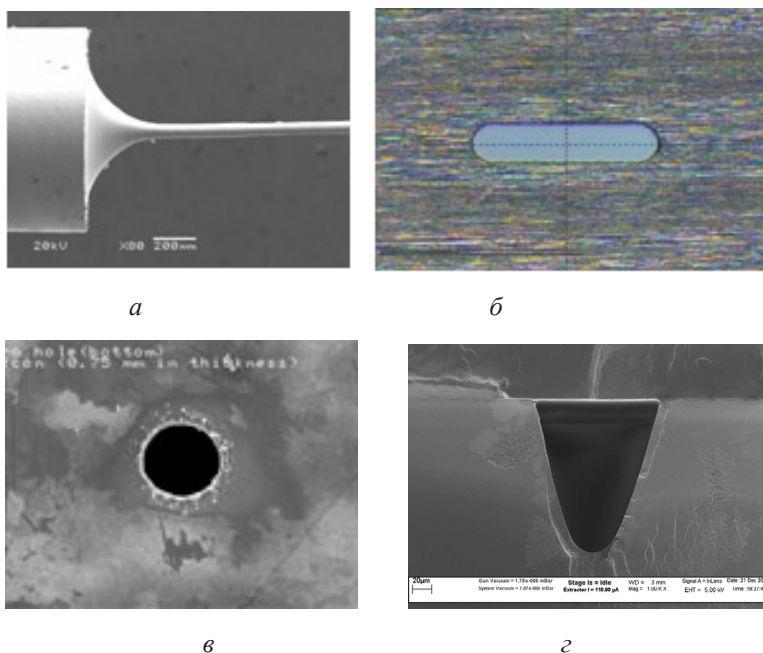


Рис. 1. Вал диаметром 30 мкм (а), паз шириной 100 мкм (б), отверстие диаметром 50 мкм (в), канал шириной 70 мкм (г)

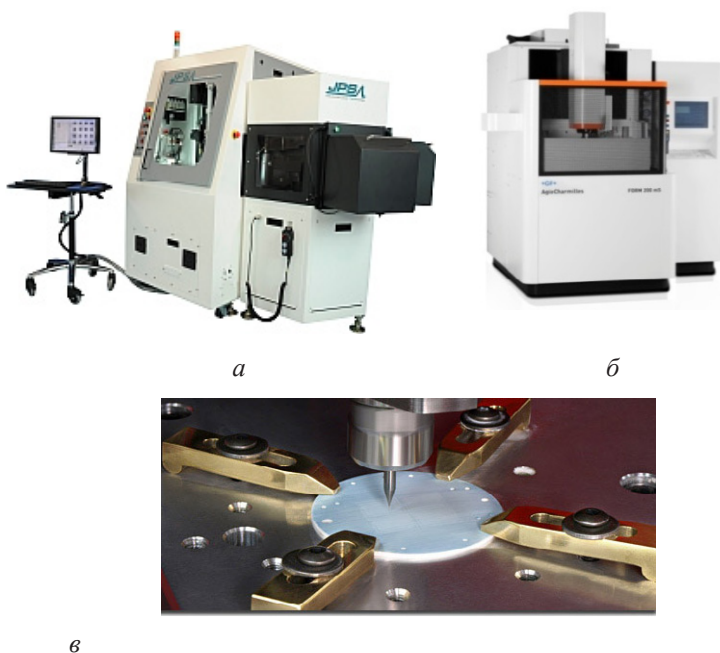


Рис. 2. Промышленные микромашины: а – лазерная система; б – микро-EDM машина; в – стенд для микросверления

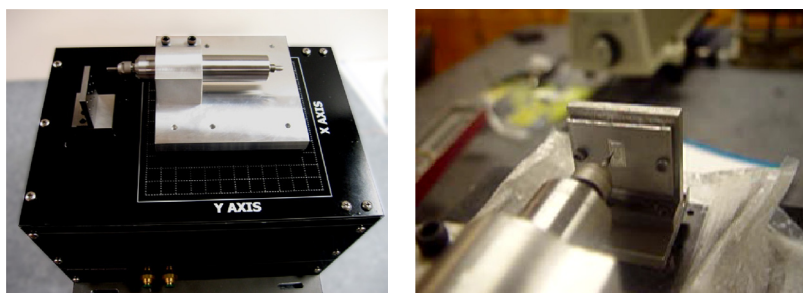


Рис. 3. Машины микро/мезо-размеров: рабочая зона $25 \times 25 \times 25$ мм, подача 700 мм/с, скорость вращения инструмента 120 К мин^{-1}

На вопрос – что обусловило направление развития микромашин, ответ вероятно можно найти в необходимости изготовления новых микроизделий, которые можно производить на таких машинах с большой экономией энергии и сбережением окружающей среды. Необходимо указать на проблемы, присутствующие у таких машин: сложность в управлении по осям, большая подвижная масса, значительные ускорения, необходимость ультрабольших чисел оборотов шпинделя, неточность микроинструментов и низкая точность изготавливаемых изделий. Отмеченные проблемы могут быть частично решены несколькими способами: уменьшением передвигаемых масс, развитием алгоритмов управления, созданием контрольной стратегии достижения требуемой топографии поверхности, введением активной компенсации в обрабатывающие системы и т.д.

Размеры микромашин составляют не более $100 \times 100 \times 100$ мм. Экономия электроэнергии при их использовании $\sim 80 \text{ кВт/день}$ (машины средней мощности $\sim 12 \text{ кВт}$, машины меньшей величины $\sim 2 \text{ кВт}$).

Микро-EDM процессы – это безконтактные процессы, основанные на возникновении дуги или искры между электродами (инструментом и деталью), благодаря которым возникает частичный местный нагрев и плавление обрабатываемого материала. Имеются варианты микро-EDM с использованием электродов и проволоки, которые позволяют изготавливать детали размерами $\geq 5 \text{ мкм}$ (рис. 4).

Несмотря на то, что электроды изнашиваются с меньшей скоростью, чем скорость снятия материала изделия, существует проблема, связанная с потерей точности, что требует развития и использования стратегии компенсации износа электрода. Вторая, более крупная проблема, относится к повреждению обработанной поверхности за счет теплового воздействия и относительного слабого представлении о протекающих явлениях на микроуровне.

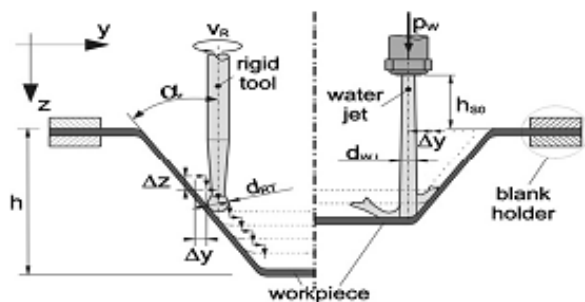


а

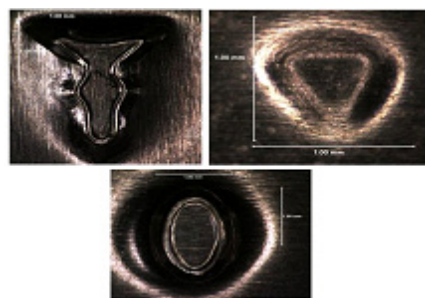


б

Рис. 4. Микрослот, обработанный в микро-EDM-процессе (а), и коммерчески доступная гибридная микро-ЭДМ-машина (б)



а



б

Рис. 5. Схема инкрементного формования одноточечным жестким инструментом (слева) и водяной струей (правым) (а), детали, образованные IF на трехкоординатной машине с ЧПУ Mori-seiki (б)

Микроинкрементальная формовка (IF) - техника формовки металлического листа, выполняемая движущимся универсальным инструментом – формирующим элементом, который перемещается по заранее определенной орбите, приводя до частичной деформации листа к требуемой форме (рис. 5). Эта технология реализуется без изготовления инструмента требуемой формы и позволяет достигнуть лучших свойства материала в сравнении с традиционной формовкой.

Первые исследования в области микро-IF были проведены Saotome и Okamoto, которые разработали ЧПУ-машину для формовки алюминиевой фольги толщины 10 мкм.

Микроштамповка – высокопроизводительный процесс с большой степенью использования материала. Он является идеальным для массо-

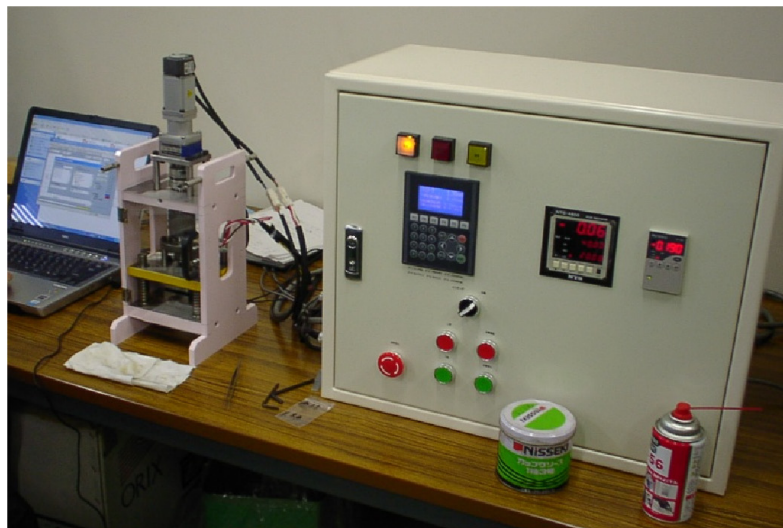
вого производства микроструктурных компонентов с размерами < 1 мм (микроконтакты). Микроштамповка является простым вариантом штамповки, которая выполняется на машине, включающей привод и инструмент (рис. 6).

Микроэкструзия – высокопроизводительный процесс с большой степенью использования материала. Он, как и микроштамповка, является идеальным для массового производства микроструктурных компонентов размеров < 1 мм (микроконтакты) (рис. 7).

Машины с параллельной кинематикой. Из-за специфических особенностей параллельных механизмов и машин на их основе, исследования в данной области и дальше интенсивно продолжаются и развиваются на высоком уровне с кооперацией возможностей университетов, ис-

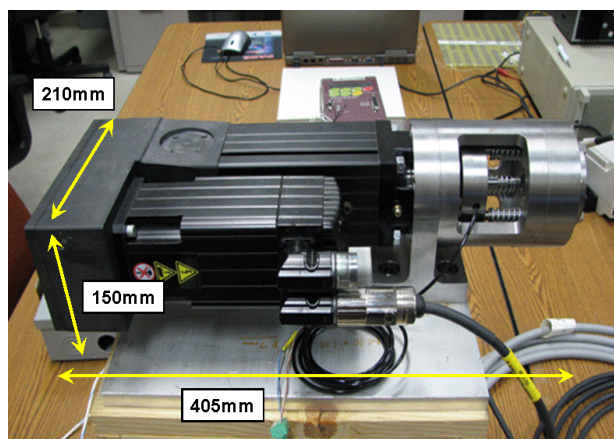


а



б

Рис. 6. Микропресс (а) и микроштамповка (б) (Nagoya Institute of Technology)



а



б

Рис. 7. Машина для микроэкструзии (а), типичные экструдированные компоненты (б)

следовательских институтов и промышленности. Эти исследования связаны с синтезом новых механизмов, моделированием, управлением, разработкой проектов, разработкой и использованием металлообрабатывающих станков и роботов. Исследования в Белградском университете начались в 1996 г. Это были первые работы в данной области в Сербии и согласно долгосрочной программе их целью было создание нового поколения отечественных металлообрабатывающих станков и роботов.

На рис. 8 показана первая версия прототипа, разработанного совместно с компанией ЛОЛА Систем АД Белград в 2004 г. Сотрудничество по этой программе продолжается до сих пор с ЛОЛА Институтом из Белграда.



Рис. 8. Версия промышленного прототипа «ЛОЛА pn101_4»



Рис. 9. ДЕЛЬТА-механизм с поворачивающимися шарнирами

Параллельный робот «ДЕЛЬТА» разработан на основе положения о том, что нет необходимости в использовании двигателя, мощностью несколько кВт для манипуляции частями машины массой несколько грамм. Оригинальная схема робота показан на рис. 9. Такая, на первый взгляд комплексная структура механизмов с большой частью сегментов, обеспечивает движущейся плите три степени свободы. Четвертая степень свободы, то есть ориентация, обеспечивается с помощью актуатора на неподвижной плите, момент которой переносится с помощью двух карданных шарниров и телескопического вала или с помощью актуатора на внутренней стороне платформы.

Реализация проекта по созданию ДЕЛЬТА-робота базируется на большом комплексе исследований сложных кинематических моделей, разработанных с учетом минимального количества параметров, что делает его более эффективным в отношении существующих подходов, не только в части управления, но и в части эффективных алгоритмов для калибровки и компенсации, совершенствование которых продолжается и с настоящее время.

Вывод. Благодаря актуальному тренду миниатюризации в настоящее время имеет место интенсивный спрос на энергетически эффективные миниатюрные компоненты. В данной работе представлены некоторые направления исследований развития новых методов обработки и микромашин для обработки широкой гаммы деталей из металлов, полимеров, керамики и пр. Обработывающие системы нового поколения – основа развития производственных технологий во всех отраслях промышленности. На Машиностроительном факультете Белградского университета проводятся исследования в области металлообрабатывающих станков и роботов нового поколения с параллельной кинематикой, создания обрабатывающих систем для многоосевой обработки, совершенствования и применения управляемых систем, испытания обрабатывающих систем в производственных условиях.