



ОБРАБАТЫВАЮЩИЕ ЦЕНТРЫ ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ MACHINING CENTERS FOR NANOINDUSTRY

Д.Коростелев, Д.Яминский, И.Яминский / yaminsky@nanoscopy.ru
D.Korostelev, D.Yaminsky, I.Yaminsky

Становление индустрии происходит через создание и развитие средств производства – заводов, фабрик, технологического оборудования. И наноиндустрия – не исключение. Сканирующие зондовые микроскопы – один из основных инструментов исследователя наномира – стали близкими "родственниками" нового типа оборудования – цифровых обрабатывающих центров.

The establishment of the industry occurs through the creation and development of the means of production – factories and technological equipment. Scanning probe microscopes, which are one of the main tools of the nano-world research, became close "relative" of a new type of equipment – digital machining centers.

На рис.1 представлено изображение двуглавого орла и надпись "ЦМИТ" – сокращенное наименование Центра молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии", который успешно развивается при тесном сотрудничестве МГУ им. М.В.Ломоносова и компании "Центр перспективных технологий". Хронологию запуска и развития ЦМИТ можно проследить по публикациям в журнале "Наноиндустрия" [1-4].

За короткое время у ЦМИТ "Нанотехнологии" два, на наш взгляд, существенных достижения в области технологического развития. Во-первых, удалось собственными руками создать 3D-принтер оригинальной конструкции, во-вторых, начать выпуск цифровых

обрабатывающих центров – фрезерных, токарно-фрезерных, гравировальных станков. Технология прошла успешную апробацию при изготовлении уникальных деталей из пластмасс, дерева и других материалов. Цифровые обрабатывающие центры сразу нашли устойчивый спрос в современной деревообработке, существенно сократив время от творческой идеи до готового изделия.

НАНО КАК ОСНОВА

Что помогло достичь быстрого успеха в этих направлениях? В первую очередь, это 30-летний опыт в области сканирующей зондовой микроскопии. Сканирующие зондовые микроскопы видят



Рис.1. Двуглавый орел опирается на прочный фундамент – ЦМИТ

Fig.1. Double-headed eagle rests on a solid foundation of YICC



Рис.2. Цифровой обрабатывающий центр SCHWEDT с двумя фрезерными головами

Fig.2. SCHWEDT digital machining center with two milling heads



нано- и микромир в трех измерениях, то есть по своей сути – это первые 3D-микронаноскопы. Микронано – это фемто: $10^{-6} \cdot 10^{-9} = 10^{-15}$. По этой причине выпускаемые 3D сканирующие зондовые микроскопы мы назвали "ФемтоСкан".

Ключевой момент во всех трех устройствах – 3D-принтере, цифровом 3D-обрабатывающем центре и 3D-микроскопе – точное перемещение детали или образца по трем координатам, схожая электроника и одинаковые алгоритмы управления, механика жесткой конструкции с малым температурным дрейфом. 3D микроскоп "ФемтоСкан" тоже может работать как микронанообрабатывающий центр, например, строить трехмерные изображения "наноенотов" (рис.3).

О технических параметрах сканирующего зондового микроскопа "ФемтоСкан" было написано немало, сейчас такие приборы успешно используются во многих ведущих научных и образовательных центрах. Так, в ЦМИТ "Нанотехнологии" имеется шесть полнофункциональных сканирующих зондовых микроскопов.

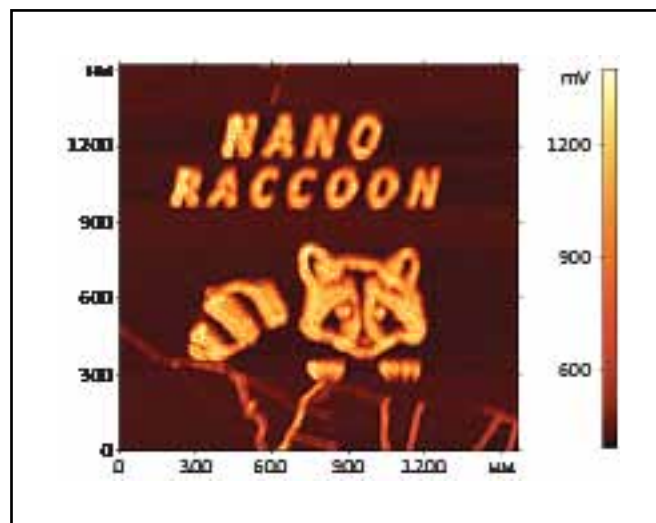


Рис.3. Изображение "наноенота" на поверхности графита, сформированное с помощью 3D-микроскопа "ФемтоСкан". Размер хвоста енота – 300 нм, глаз – 30 нм [5-7]

Fig.3. The image of NanoRaccon on the graphite surface, formed with 3D-microscope FemtoScan. The size of the tail of a raccoon – 300 nm, size of the eyes – 30 nm [5-7]

Fig.1 presents the two-headed eagle and the inscription "YICC" – abbreviated name of Nanotechnologies youth innovation creativity center, which is successfully developed in close cooperation of Lomonosov Moscow State University and Advanced Technologies Center. The history of establishment and development of the YICC can be traced to publications [1-4].

For a short time YICC made two, in our opinion, significant achievements in the field of technological development. First, was independently developed the original design of 3D printer, and secondly, we have started production of digital machining centers – mill, turn/mill, and engraving machines. The technology has been successfully tested in the manufacture of unique parts made of plastics, wood and other materials. Digital machining centers immediately found a strong demand in the modern woodworking, as they significantly reduce the time from the idea to the product.

NANO AS A BASIS

What helped to achieve rapid success in these areas? First of all, it's 30 years' experience in the field of scanning probe microscopy. Scanning probe microscopes can see nano- and micro-world in three dimensions, essentially being the first 3D micro/nanosopes. Micronano is Femto: $10^{-6} \cdot 10^{-9} = 10^{-15}$. For this reason, our 3D scanning probe microscopes we called "FemtoScan".

The key features of all three devices – 3D-printer, digital machining center and a scanning probe microscope – are similar high-precision systems for moving of parts or sample in three dimensions, similar control electronics with the same algorithms of software, as well as a rigid design with a low temperature drift. 3D microscope FemtoScan can also work as micro/nano machining center, for example, to build three-dimensional images of NanoRaccon (fig.3).

About the technical parameters of the scanning probe microscope

FemtoScan was written a lot, now these devices are successfully used in many leading scientific and educational centers. For example, the Nanotechnologies YICC has six full-featured scanning probe microscopes

FROM NANO TO MACRO

As an example of a digital 3D machining center consider a model SCHWEDT 3000. This three-coordinate CNC milling-engraving machine of gantry type is used for 2D, 2.5D and 3D milling of any wood, wood composites, all kinds of plastics, soft metals and alloys (for example aluminium and duralumin). The main characteristics of the machine are given in table.1.

The design of SCHWEDT 3000 is characterized by the following features:

- the height of the span of the gantry (200 mm) allows to process large workpieces, including assembled items (for example, for engraving marking), and also



Таблица 1. Характеристики и особенности комплектации станка SCHWEDT 3000
Table 1. Technical data and features of SCHWEDT 3000 machining center

Скорость перемещения, мм/мин. Speed, mm/min	12500	
Разрешение механики, мм Resolution of mechanics, mm	+0,01	
Размер рабочего поля, мм The size of working area, mm	950×950	
Материал корпуса станка Housing material	Алюминиевый сплав Д16Т, профиль АДЗ1 Aluminum alloy	
Перемещение по оси Z, мм Z axis stroke, mm	200	
Управление (ЧПУ) Control (CNC)	МАНЧЗ (ПО, лицензия)	
Соединение с ПК PC Connection	Ethernet	
Язык команд управления Control programming language	G-code	
Напряжение питания, В The supply voltage, V	220	
Габаритные размеры, мм Overall dimensions, mm	1230 × 1480 × 850	
Оси X и Y + A Axis: X and Y + A	Зубчатая рейка (модуль 1,5) Rack (module 1,5)	
Ось Z Z axis	Шарико-винтовая передача 12 × 04 HIWIN Ballscrew	
Приводы Drives	Серводвигатели мощностью 130 Вт Servomotors, 130 W	
Повышение момента Torque boost	Планетарные редукторы Planetary gear	
Шпиндель Spindle	Бесколлекторный мощностью 1,5 кВт (водяное охлаждение) Brushless, 1.5 kW (water cooling)	
Преобразователь частоты Frequency converter	Мощность, кВт Power, kW	1,5
	Частота тока на выходе, Гц The output frequency, Hz	0–400
Масса станка, кг Weight, kg	135	
Отвод стружки Chip removal	Подготовка под аспирацию (сборная щетка) Preparing for aspiration (brush)	

ОТ НАНО К МАКРО

В качестве примера цифрового 3D-обрабатывающего центра рассмотрим модель SCHWEDT 3000. Этот трехкоординатный фрезерно-гравировальный станок порталного типа с числовым программным управлением (ЧПУ) применяется для 2D-, 2.5D- и 3D-фрезерной обработки любых пород дерева, композитов из дерева, всех видов пластиков, мягких металлов и сплавов, например, алюминия и дюралюминия. Основные характеристик станка приведены в табл.1.

Конструкция SCHWEDT 3000 характеризуется следующими особенностями:

- высота пролета портала 200 мм позволяет обрабатывать габаритные заготовки, в том

числе изделия в сборе (например, для гравирования маркировки), а также дает возможность установки четвертой оси;

- по оси Z предусмотрен ход шпинделя за пределы зоны обработки с запасом на фрезу (70 мм) и холостые ходы (10 мм), что обеспечивает удобство замены фрез;
- используются четыре привода, два из которых несут портал станка (сдвоенная ось Y). Благодаря этому повышена жесткость конструкции и возможна автоюстировка портала на перпендикулярность осей;
- применение шпинделя с водяным охлаждением обеспечивает низкий шум при работе, малый разброс (так как отсутствует воздушный поток) мелких отходов обработки даже



Таблица 2. Сравнение приводов цифровых обрабатывающих центров на базе шаговых двигателей и бесщеточных серводвигателей

Table 2. Comparison of the drives of digital machining centers based on stepper motors and brushless servos

Параметр Parameter	Шаговые двигатели Stepper drives	Бесщеточные серводвигатели Brushless servos
Момент Moment	Резко падает с увеличением скорости, максимален при неподвижном вале Decreases rapidly with increasing speed, maximum with a fixed shaft	Высокий на всем диапазоне скоростей, максимален на высоких оборотах High throughout the speed range, the maximum at high speeds
Удельная мощность Specific power	Малая. Шаговый двигатель имеет низкий КПД – при потреблении большого тока основная часть энергии выделяется в виде тепла Low. Stepper drive has a low efficiency. At high currents the main part of the energy is released as heat	Высокая, потребляемый ток пропорционален нагрузке High. Current consumption is proportional to the load
Обратная связь по положению Position feedback	Отсутствует, пропущенный шаг останется незамеченным для системы ЧПУ, однако, при правильном проектировании станка обратная связь не требуется Missed step will remain unnoticed for CNC system, however, with proper design of the machine feedback is not required	Предусмотрена, положение вала будет скорректировано, если же это невозможно (например, вал заклинило), система выдаст ошибку The position of the shaft will be adjusted, if this is not possible (for example, the shaft is jammed), the system will give an error
Точность позиционирования Accuracy of positioning	Не более 5% от величины шага No more than 5% of the step	Определяется установленным энкодером Determined by the encoder
Безопасность Security	Высокая. Если вал двигателя заклинило, он пропускает шаги High. If the drive shaft is jammed, it skips steps	При заклинивании вала сервопривод может сгореть в случае неправильной настройки драйвера In the case of jamming of the shaft and wrong driver settings the servo motor may be damaged
Срок службы Service life	Более 10 лет More than 10 years	Более 10 лет More than 10 years
Резонанс ротора Resonance of the rotor	Подвержены резонансу, что приводит к пропуску шагов, снижению качества обработки и пр. Susceptible to resonance, which leads to skipping of steps, lower quality machining, etc.	Отсутствует None
Шум Noise	Сильный гул Severe hum	Слабый Low
Нагрев Heating	Сильный. Зачастую требуется дополнительное охлаждение с помощью радиатора и вентилятора Strong heating. Often require additional cooling via heat sink and fan	Слабый Low
Перегрузки Overload	При перегрузках пропускает шаги, не способен резко ускориться In case of overload skips steps and isn't capable of fast acceleration	Хорошо переносит перегрузки за счет кратковременного увеличения потребляемой мощности, способен к резким ускорениям Tolerates overloads due to short-term increase in power consumption, is capable of fast acceleration

ОШИБКИ В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ

И.Яминский

Ученый, инженер, конструктор, технолог, рабочий – никто не застрахован от ошибок, и когда он занимается привычным делом, и, тем более, когда он выбирает неизведанный путь создания принципиально новых технологий. Нанотехнологии – это особая область, которой свойственна чрезвычайная сложность систем.

Состояние нанотехнологической системы можно выразить простым уравнением:

$$10^9 \times 10^9 = 1 \quad (1)$$

Читать его следует следующим образом: в объеме материи, созданной нанотехнологией, с характерным размером в 10^{-9} метра содержится информации в 10^9 бит. В одном кубическом нанометре может разместиться примерно одна тысяча атомов водорода. Если мы будем брать любые другие атомы, то для заполнения этого объема понадобится меньшее их количество. Так, для построения кубического нанометра из золота нам понадобится всего 27 атомов. Если мы захотим заполнить объем в один кубический нанометр каждый раз разным атомом, выбирая их из 126 элементов таблицы Менделеева, то получим невероятно большое число различных комбинаций. Если принять средний размер атома в 0,25 нм (64 атома в 1 нм^3) и использовать лишь сто из них, то простой расчет показывает, что мы получим немыслимое количество различных комбинаций:

$$100^{64} = 10^{128} \quad (2)$$

Полученная величина больше, чем гугол (10^{100}) – максимальное число, которое еще имеет наименование. Следует заметить, что строгий расчет числа различных комбинаций заполнения необходимо проводить более аккуратным образом. В чем была ошибка? Приведем простой пример двух различных вариантов: в первом сначала начнем заполнять пространство атомами золота, а в качестве последнего атома возьмем атом серебра, во втором случае, сначала возьмем один атом серебра, а потом будем брать только атомы золота. Последовательность заполнения разная, но на выходе мы получим одно и то же, так как, повернув кубики, можно убедиться в их полной идентичности. Таким образом, число полностью различных кубиков меньше, чем указано в равенстве (2).

В нанотехнологиях при создании нового материала или устройства заполнение каждого нового кубического нанометра не должно происходить идентичным образом, иначе мы возвращаемся к традиционному материаловедению, или к его частному разделу – химии порошковых материалов. То есть по мере увеличения объема обязательно происходит увеличение информационной насыщенности.

Иными словами, конструктор или технолог, следя за каждым атомом, должен знать, в какой нескончаемой различной последовательности они должны прибывать на стройку наносистемы.

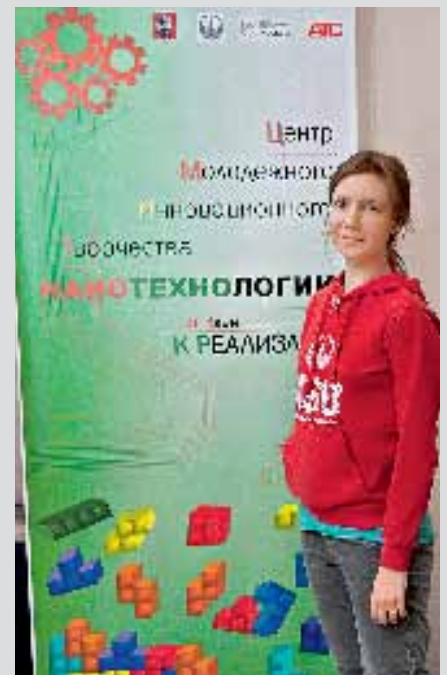
Можно постулировать, что в каждом новом кубическом нанометре материала или устройства должно быть отличие хотя бы в одном атоме. Здесь мы не претендуем на новое определение того, что относится к нанотехнологиям. Определений и так много, и по сути они ничего не меняют. Просто давайте решим, что, если все кубические нанометры будут создаваться различными наборами атомов, то созданная человеком система точно будет продукцией нанотехнологий.

Удивительным образом, по принципу атомной и молекулярной сборки работает живая природа. Так, присоединяя атом за атомом, молекулу за молекулой, природа за 9 месяцев создает человека. Но и после рождения этот процесс не останавливается, и человек продолжает расти еще два десятка лет. Как работает этот слаженный процесс – предмет будущих исследований. Каким образом, создавая столь сложные системы, природа выбирает верный путь, избегая множества ошибок? Вопрос для современной науки во многом открытый. Познавая природу,

мы учимся у нее. Возможно, когда-то наука, работая на уровне атомов и молекул, сможет объяснить, например, почему люди иногда ошибаются или принимают неверные решения. Пока же, для того, чтобы рассчитать эволюцию системы, состоящей всего из несколько тысяч атомов, подчас требуются мощности самых производительных суперкомпьютеров.

Один из изумительных способов избежать ошибки – это постигать законы природы и следовать им в своих действиях.

"Развивай ум смолоду" – девиз созданного нами Центра молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии". Одна из задач центра – помочь молодым совершать меньше ошибок. Но в публикации [4] и мы ошиблись. Обратите внимание: слева на фотографии – ведущая курса сканирующей зондовой микроскопии в ЦМИТ "Нанотехнологии", кандидат химических наук, Ольга Синицына, а справа – Маргарита Шарипова, талантливый ученый, которая активно работала в ЦМИТ по программе "УМНИК". Если сравнить с иллюстрацией из предыдущего номера журнала "Наноиндустрия" (стр.38), то заметна ошибка в подписи. Нашу ошибку мы исправляем.



Слева: ведущая курса сканирующей зондовой микроскопии ЦМИТ "Нанотехнологии", к.х.н. О.Синицына. Справа: победитель программы "УМНИК" М.Шарипова

Left: teacher of the course on scanning probe microscopy in Nanotechnologies YICC, Ph.D. O.Sinityna. Right: The winner of the program "UMNIK" M.Sharipova



без применения насадки аспирации, что важно при использовании четвертой оси;

- применение зубчатых реек с классом точности C7, более устойчивых к пыли, чем шарико-винтовая передача;
- бесщеточные сервоприводы вместо шаговых двигателей (табл.2) по всем осям.

3D-обрабатывающие центры SCHWEDT уже работают на производстве. Наш следующий шаг – создание полнофункциональных цифровых станков для обработки всего спектра конструкционных материалов, в том числе стали, чугуна, титана и пр.

Приходите к нам в ЦМИТ "Нанотехнологии"! Для обучения и практических занятий в вашем распоряжении будет фрезерно-гравировальный цифровой обрабатывающий центр, представленный на рис.4.

Авторы признательны за помощь Центру инновационного развития г.Москвы и Департаменту науки, промышленной политики и предпринимательства г.Москвы.



Рис.4. Ваши 3D-модели в ЦМИТ "Нанотехнологии" можно воплотить в реальные изделия с помощью цифрового обрабатывающего центра

Fig.4. In Nanotechnologies YICC your 3D models can be implemented in real products using digital machining center

ЛИТЕРАТУРА

1. Мешков Г., Сеницына О., Яминский Д., Яминский И. Центр молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии": конкурсы объявлены // Наноиндустрия, 7(50), с. 50-54 (2014).
2. Яминский И., Мешков Г. Центр молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии" // Наноиндустрия, 4(50), с. 60-66 (2014).
3. Яминский И. ЦМИТ "Нанотехнологии": первые шаги // Наноиндустрия, 6(52), с. 44-48 (2014).
4. Федосеев А., Яминский И. Неделя инноваций в Москве: 2-я Всероссийская конференция ЦМИТ "Коммерциализация креативно-
- сти" и открытие ЦМИТ "Нанотехнологии" // Наноиндустрия, 8(54), с. 32-40 (2014).
5. Сеницына О., Мешков Г., Яминский И. Визуализация атомной решетки графита: идеи для практикума // Наноиндустрия, № 1(25), с. 52-54 (2011).
6. Мешков Г., Сеницына О., Швец В., Яминский И. Аномальная проводимость террас на поверхности графита // Наноиндустрия, 1 (19), с. 18-19 (2010).
7. Sinitsyna O.V., Meshkov G.B., Yaminsky I.V. A novel tool for the local anodic oxidation of graphite. - International Conference on Nanoengineering and Nanosystems, 15 April 2010, Edinburgh, Book of abstracts, p. 9

gives the possibility of installing a fourth axis;

- Z-axis provides the spindle stroke outside of the treatment area with margin for the cutter (70 mm) and idling (10 mm), which provides easy replacement of the cutters;
- four drives are used, two of which bear portal of the machine (dual Y-axis). Due to this the rigidity of the construction is increased and automatic alignment of the portal on perpendicular axes is possible;

- the spindle with water cooling ensures low noise and low spread of wastes (no air flow) even without the use of a suction nozzle, what is important when using a fourth axis;
- the use of gear racks with accuracy class C7, more resistant to dust than the ballscrew transmission;
- brushless servo motors instead of stepper motors (table 2) in all axes.

3D machining centers SCHWEDT already working on the factories.

Our next step is to create a full-featured digital machines to handle the entire spectrum of structural materials, including steel, cast iron, titanium, etc.

Join us in the Nanotechnologies YICC! For training and practical exercises at your disposal will be milling and engraving digital machining center, presented on fig.4.

The authors are grateful for the help of Innovation Development Centre of Moscow and Department of Science, Industrial Policy and Entrepreneurship of Moscow. ■

