**22. Материально-техническое оснащение Механического цеха станкостроительного завода**

Механосборочный цех состоит из двух отделений: механического и ремонтного. Они в свою очередь делятся на несколько менее крупных отделений и участков:

* Заготовительное отделение;
* Заточное отделение;
* Ремонтный участок;
* Участок по ремонту приспособлений;
* Инструментально-раздаточная кладовая;

В механическом цехе для работы используются следующие станки:

* Токарные
* Сверлильные и расточные
* Шлифовальные
* Специальные
* Зубо- и резьбообрабатывающие
* Фрезерные
* Строгальные, долбежные, протяжные
* Разрезные

**33. Выбор параметров режимов резания при точении**

Назначение режимов резания основывается на определении глубины, подачи и скорости резания, при которых будет обеспечена наиболее экономичная и производительная обработка поверхности (при условии выполнения заданных технических требований) по точности и шероховатости обработанной поверхности.

Вначале выбирается глубина резания, затем максимально допустимая подача, а потом определяется скорость резания. Такой порядок выбора элементов режима резания определяется тем, что на количество выделяемого при резании тепла, а следовательно, на износ и стойкость резца глубина резания влияет в наименьшей, а подача и особенно скорость резания — в наибольшей степени.

Элементы режима резания должны выбираться так, чтобы режущие свойства инструмента и возможности металлорежущего станка (его мощность и другие динамические и кинематические характеристики) были использованы в достаточной степени. Поэтому для выбора оптимальных режимов резания необходимо знать не только материал обрабатываемой заготовки, но и материал и геометрические параметры резца, допустимую величину его износа, а также характеристики станка, намеченного для выполнения обработки.

*Глубина резания* в основном определяется припуском на обработку, который по возможности стремятся удалить за один проход.

*Величина подачи* определяется требуемым классом чистоты обработки. Величина подачи должна быть больше допустимой этим условием, а также жесткостью обрабатываемой заготовки, жесткостью и прочностью резца и прочностью механизмов станка. Определив силы резания, возникающие при выбранных глубинах резания и подачи, можно путем расчета проверить (на основе зависимостей, известных из сопротивления материалов) соответствие выбранного сечения стружки прочности и жесткости детали, резца и прочности механизма подачи станка.

Практически обычно такие расчеты производить приходится не часто, так как в соответствующих нормативах по выбору режимов резания даны значения подач в соответствии с размерами резцов и характеристик металлорежущих станков.

*Скорость резания* выбирается в соответствии с определенными значениями глубины резания, подачи и стойкости режущего инструмента, геометрических параметров режущей части. Скорость резания назначается по соответствующим нормативам режимов резания или подсчитывается по эмпирическим формулам.

После выбора всех трех элементов режима резания проверяется их соответствие мощности станка по формуле

N ст = (Pz \* v)/(60\*102\*η) квт,

где Рz — сила резания в н (кГ);

v— скорость резания в м/мин;

η — коэффициент полезного действия станка.

Обычно в нормативах по режимам резания имеются готовые таблицы для определения мощности резания (без учета к. п. д. станка) при определенных значениях выбранного режима резания.

**34. Выбор параметров режимов резания при фрезеровании**

Скорость резания V - длина пути (в метрах), которую проходит за одну минуту наиболее удаленная от оси вращения точка главной режущей кромки. За один оборот фрезы точка режущей кромки, расположенная на окружности фрезы диаметром Dмм, прой­дет путь, равный длине окружности, т. е. πDмм.

Чтобы определить длину пути, прой­денного этой точкой в минуту, надо ум­ножить длину пути за один оборот на число оборотов фрезы в минуту, т. е. πDn мм/мин. Если скорость резания выражается в метрах в минуту, то фор­мула для скорости резания при фрезе­ровании будет

Если необходимо определить число оборотов фрезы в минуту, то формула примет вид

При фрезеровании различают следую­щие виды подач (см. рис.): подачу на один зуб, подачу на один оборот и ми­нутную подачу. По направлению раз­личают продольную, поперечную и вер­тикальную подачи.

Подачей на зуб (Sz, мм/зуб) называется величина перемещения сто­ла с обрабатываемой заготовкой или фрезы за время ее поворота на один зуб.

Подачей на один оборот фрезы (So, мм/об) называется вели­чина перемещения стола с обрабатывае­мой заготовкой или фрезы за один обо­рот фрезы.

Подача на один оборот равняется подаче на зуб, умноженной на число зубьев фрезы:

So = Sz \* z

Минутной подачей (Sм, мм/мин) называется величина относи­тельного перемещения стола с обрабаты­ваемой заготовкой или фрезы за одну минуту. Минутная подача равна произведе­нию подачи на один оборот фрезы на число оборотов фрезы в минуту:

Sм = So \* n =  Sz \* z \* n мм/мин.

Как видно из рисунка, каждый зуб фрезы снимает одинаковую стружку в виде запятой. Стружка, снимаемая од­ним зубом, определяется двумя дугами контакта соседних зубьев. Расстояние между этими дугами, измеренное по ра­диусу фрезы, переменное. Оно опреде­ляет толщину среза. Из рисунка видно, что толщина среза изменяется от нуля до максимального значения.

**35. Выбор параметров режимов резания при сверлении**

Выбор режимов резания при сверлении заключается в определении такой подачи и скорости резания, чтобы процесс обработки детали был наиболее производительным и экономичным.

Теоретический расчет элементов режима резания производится в следующем порядке.

1. Выбирают подачу в зависимости от характера обработки, требуемого качества обработанной поверхности, прочности сверла и других технологических и механических данных. Подача, выбранная по справочным таблицам, корректируется паспортными данными сверлильного станка (берется ближайшая меньшая).
2. Определяют скорость резания, допускаемую режущими свойствами сверла. При сверлении сверлом из быстрорежущей стали скорость резания находят по формуле

для инструментов с углом 2<р=3—75°, £>—5—70 мм, /=0,05—4 мм, U =0,05—7 мм; для зенкеров /2=0,05—7 мм; для разверток /2=0,3—0,5 длины калибрующей части.

Обычно в производственных условиях при выборе элементов режима резания, сверления, зенке-рования, развертывания и нарезки внутренних резьб пользуются данными технологических карт и таблиц справочников.

Ниже приводится пример выбора режима резания при сверлении на основании данных официального издания Машгиза «Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на сверлильных станках», 1959 г.

Пример, Исходные данные: деталь — вилка; операция— сверление отверстия диаметром 28 мм под зенкеро-вание; станок— вертикально-сверлильный, модель 2А150; инструмент — сверло спиральное диаметром 28 мм из стали PIS, обрабатываемый материал — сталь 45, предел прочности 0в=68 кГ/мм2; характер заготовки — штамповка; вес детали — 2 кГ; способ установки детали — на столе без кондуктора.

Паспортные данные станка 2А150:

максимальный диаметр просверливаемого отверстия—50 мм;

число оборотов шпинделя в минуту—63,89,125,185, 250,350,500;

мощность на шпинделе станка, кег: по приводу—5,6, по наиболее слабому звену — слабое звено не лимитирует;

подачи шпинделя —0,12; 0,19; 0,28; 0,4; 0,62; 0,9; 1,17; 1,8; 2,65 мм/об]

наибольшее усилие, допускаемое механизмом подачи станка,— 2500 кГ.

Определение режима реза н и я. Выбор формы заточки и геометрических параметров режущей части сверла. По табл. 7 выбирают форму заточки сверла для обработки стали с пределом прочности crD=68 кГ/мм2, ДП — двойная с подточкой перемычки.

Выбор подачи. По приложению 1 определяют величину подачи при обработке стали с пределом прочности ов=68 кГ/мм2 сверлом Л=28 мм. Для жесткой детали при сверлении под последующую обработку устанавливают подачу по группе П, равную 0,45—055 мм/об; принимается ближайшее, имеющееся на станке значение подачи, равное 0,4 мм/об.

Выбранную подачу проверяют по усилию, допускаемому прочностью механизма подачи станка, для чего по приложению 2 устанавливают величину осевой силы резания. При сверлении стали оЕ=68 кГ/мм2 сверлом Г>=28 мм, с подачей s=0,4 мм/об осевая сила />= 1180 кГ. Станок допускает усилие 2500 кГ, следовательно, назначенная подача допустима.

Определение скорости резания. По приложению 3 определяют группу обрабатываемости стали. Углеродистая сталь марки 45 с пределом прочности оъ=68 кГ/мм2 по обрабатываемости относится к группе V.

По приложению 4 устанавливают величину скорости резания для найденной группы V обрабатываемости стали. При сверлении отверстия D=2S мм, длиной 60 мм сверлом из стали Р18, с подачей $=0,4 мм/об, скорость резания t>=27,5 mImuh.

Спасибо большое за предоставление материала, данная статья будет помощником для многих дачников и огородников, которые заинтересуются Выбор режимов резания при сверлении. Про Выбор режимов резания при сверлении только положительные отзывы и характеристика, впечатления при цветениии, выращивании. Еще раз спасибо.

Протяжка относится к классу осевого инструмента, поэтому заготовку для её изготовления получают путём сваривания двух заготовок, полученных путем отрезки из проката. Получение заготовки протяжки путём пластической деформации экономически не выгодно ввиду малого объёма изготавливаемой партии и высокой стоимости технологической оснастки.

Заготовки отрезаются от стандартного проката круглого сечения, очищаются в галтовочном барабане или пескоструйном аппарате, затем производится обработка резанием свариваемых поверхностей (в случае различного диаметра заготовок производится обточка заготовки большего диаметра до получения одинакового размера свариваемых поверхностей). После сварки производится отжиг полученной заготовки, для устранения дефектов структуры в районе сварного шва и правка на прессе.

Расчёт припусков на механическую обработку.

Припуск на обработку должен быть таким, чтобы при его снятии были устранены погрешности обработки и установки, дефекты поверхностного слоя, полученные на предшествующих операциях.

Для расчета припусков аналитическим путём целесообразно определить размер, имеющий наибольшую точность, и для него рассчитать общий минимальный припуск.

Величина симметричных припусков при обработке тел вращения определяется по формуле:

,

где Zmin - минимальный припуск на обработку на сторону;

Rz - шероховатость поверхности;

Та - глубина дефектного поверхностного слоя;

а - суммарное значение пространственных отклонений обрабатываемых поверхностей;

а - погрешность установки на выполняемой операции ( поскольку технологической базой на всех операциях обработки резанием являются центровые отверстия, погрешность установки оказывает влияние на величину снимаемого припуска только при первом обтачивании заготовки, на всех последующих переходах величина аравна нулю.

Результаты расчёта припуска на обработки калибрующих зубьев приведены в следующей таблице:

\*значения допусков и припусков приведены в мкм

Разработка технологических операций.

Протяжка - высокоточный маложёсткий инструмент, ввиду этого применение многоместной, многоинструментальной и параллельной схем обработки затруднительно (возможна значительная деформация заготовки в процессе обработки силами резания). Принимаем одноместную, одноинструментальную, последовательную схему обработки.

Обточка режущей части.

На предыдущих операциях были обработаны центровые отверстия, шейка под люнет (данные поверхности являются технологической базой в разрабатываемой операции), торцы заготовки, хвостовая часть и заднее направление протяжки. На данной операции предстоит произвести предварительную обработку режущей части, подготовить условия для обработки стружечных канавок (формирования зубьев протяжки ). Обработка производится по 12 квалитету, предварительно данная поверхность не обрабатывалась. Согласно таблице расчёта припусков, средний диаметр обработанной поверхности должен быть равен 45,8 мм. Стандартный диаметр поставляемого проката равен 48 мм (допуск 800 мкм). Таким образом снимаемый напуск должен составлять 1,1 мм на сторону (глубина резания t=1,1 мм ).

Величину подачи принимаем равной S=0,4 мм/об (табл. 15 стр. 210[2])

Скорость резания определяем по формуле:

где Т - стойкость резца в мин., m - показатель относительной стойкости, t - глубина резания, S - подача, НБ - твёрдость по Бринелю, С - коэффициент, x и y - показатели степени ( значения С, х и у приведены в таблице 23 стр.214[2]).

Длина обрабатываемой поверхности составляет 525 мм ( см. чертёж ), подача равна, S=0,4 мм/об, скорость вращения шпинделя, n=1000 об/мин. Таким образом машинное время обработки будет определяться величиной:

,

где То - машинное время обработки, l - длина обрабатываемой поверхности, n - скорость вращения шпинделя, S - подача, - снимаемый припуск, t - глубина резания.

Имеем:

V=141 м/мин, t=1,1 мм, S=0,4 мм/об, То=1,3 мин

Обработка стружечных канавок.

На данной операции предстоит сформировать профиль зубьев протяжки. Обработка производится по предварительно обточенной поверхности, с точностью соответствующей 9 квалитету.

Формирование стружечных канавок производится путем врезания фасонного резца в заготовку, ширина резца - 6 мм ( глубина резания 6 мм ), подачу принимаем равной S=0,4мм/об (табл. 15 стр. 210[2]); определяем скорость резания ( при стойкости резца из быстрорежущей стали, Т=25 мин):

машинное время обработки:

,

данная формула определяет машинное время обработки одной стружечной канавки, умножив его на число зубьев, получим общее машинное время обработки: .

Заточка зубьев по передней поверхности.

Заточка зубьев по передней поверхности относится к операциям чистовой абразивной обработки, затачиваемая поверхность была сформирована при обработке стружечных канавок и закалена до твёрдости 65HRC, погрешности точности расположения поверхностей, полученные при токарной обработке, на данной операции исправить невозможно ( заточка с точностью по 4 квалитету, указанная в таблицах, относится к задней поверхности зубьев ), глубина шлифования составляет 0,025 мм. Режимы резания назначаем согласно таблице 122 стр.299[2]

V=35м/с, S=35м/мин, h=0,025мм, t=1,2мм/мин.

Машинное время обработки:

, ( табл.134 стр.306-307[2] ),

где h - снимаемый припуск,

nu - скорость вращения детали, об/мин

t - величина поперечной подачи,

k - поправочный коэффициент, учитывающий потери времени из-за износа круга, недостаточной жёсткости системы и других факторов.

Общее машинное время обработки зубьев:

Заточка зубьев по задней поверхности.

Заточка зубьев по задней поверхности является операцией окончательной обработки. Затачиваемая поверхность прошла многоэтапную предварительную обработку ( точение, закалка, двукратное шлифование, предварительную заточку ), окончательная обработка производится по 4 квалитету. Режимы резания назначаем согласно таблице 10 стр.725 [3].

V=35м/с, S=6 м/мин, h=0,025мм, t=1,2мм/мин.

,

(табл.134 стр.306-307[2]),общее машинное время обработки зубьев:

Выбор станочного оборудования производится с учётом условий обработки, характера обрабатываемой детали и объёмов выпуска. Объём выпуска протяжек составляет 1000 штук в год. Профиль изделия - сложный фасонный. Ввиду этого принимаем для обработки профиля протяжки - универсальный токарно-винторезный станок с ЧПУ модели 16К20Ф3, для абразивной обработки замковой части, заборного конуса, переднего и заднего направлений - круглошлифовальный станок модели 3Т162Ф2, этот же станок можно использовать при обработке зубьев по задней поверхности ( шлифование в размер, заточка ), для заточки зубьев по передней поверхности - заточной станок модели 3601Ф.

Для обработки профиля хвостовой части протяжки, рабочей части, заборного конуса, переднего, заднего направлений принимаем резец 2102-0079-Т15К6-II ГОСТ 18877-73, обработка профиля стружечных канавок производится специальным фасонным резцом, обработка центровых отверстий производится сверлом центровочным комбинированным 3 II ГОСТ 16552-75, при абразивной обработке используются следующие шлифовальные круги: шлифовальный круг ПП 400\*10\*127\* 18А 30 СМ2 6 К5 ГОСТ 2424-83, шлифовальный круг 1Т 100\*10\*20 34А 40 СМ1 6 К5 ГОСТ 2424-83, шлифовальный круг 1А1-1 (ЛПП) 200\*10\*7605020 ГОСТ 17123-79 ЛО 100/80 СМ2 БИ1 35м/с 8.

При обработке деталь устанавливается в упорных центрах ГОСТ 13214-79, поводковом патроне 7102-0003 ГОСТ 14309-69, хомутик поводковый 7101-0066 ГОСТ 164880-70, для поддержки детали используются люнеты ( при обработке стружечных канавок - подвижный, устанавливается перед каждым обрабатываемым зубом, на остальных токарных операциях - неподвижный ). Для контроля размеров детали используется универсальный измерительный инструмент: штангенциркуль ШЦ2-400-0,1 ГОСТ 166-80, микрометр МР 25-50 ГОСТ 4381-80, контроль профиля стружечных канавок осуществляется специальными шаблонами.

**44. Гибкий производственный модуль**

(ГПМ) - *гибкая производственная система* в виде единицы технологич. оборудования, оснащённая автоматизир. устройством программного управления и средствами автоматизации технологич. процесса, автономно функционирующая, осуществляющая многократные циклы и обладающая способностью быстрой переналадки. ГПМ можно встраивать в гибкую производств. систему более высокого уровня: автоматизир. линию, участок, цех, завод. К средствам автоматизации ГПМ обычно относят накопители, приспособления-спутники (палеты), устройства загрузки и выгрузки, замены технологич. оснастки. Частный случай ГПМ -*роботизированный технологический комплекс.*

**45. Гибкий производственный участок**

Гибкий автоматизированный (производственный) участок ( ГАУ) - ГПС, состоящая из нескольких гибких производственных модулей, объединенных автоматизированной системой управления, функционирующая по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.
Виды оборудования гибкой производственной системы с автоматизированной сменой шпиндельных головок.| Схемы применения на станке с ЧПУ специальной головки для обработки инструментами с горизонтальным и вертикальным расположением оси.| Гибкий производственный модуль с промышленным роботом. / - станок с ЧПУ.. 2 - промышленный робот. 3 - кассета с заготовками. 4 - конвейер-накопитель. 5 - роботкара. Гибкий автоматизированный участок ( ГАУ) состоит из двух единиц ( и более) основного оборудования, загрузочно-разгрузочных устройств, устройств автоматической смены инструмента, накопительных устройств. Участок может функционировать автономно. Особенностью обработки на ГАУ является возможность изготовления детали на одном или нескольких станках в любой последовательности.
Гибкий автоматизированный участок ( ГАУ) - ГПС, состоящая из нескольких гибких производственных модулей, объединенных автоматизированной системой управления, функционирующая по технологическому маршруту, в котором предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.
Виды оборудования гибкой производственной системы с автоматизированной сменой шпиндельных головок.| Схемы применения на станке с ЧПУ специальной головки для обработки инструментами с горизонтальным и вертикальным расположением оси. Гибкий автоматизированный участок ( ГАУ) состоит из двух единиц ( и более) основного оборудования, загрузочно-разгрузочных устройств, устройств автоматической смены инструмента, накопительных устройств. Участок может функционировать автономно. Особенностью обработки на ГАУ является возможность изготовления детали на одном или нескольких станках в любой последовательности.
Гибкий автоматизированный участок обслуживается одним УВК типа СМ.
Гибкий автоматизированный участок плазменной резки оснащается средствами вычислительной техники и путевой автоматики, датчиками различного назначения на технологическом и транспортном оборудовании, что обеспечивает автоматизированную работу всех видов оборудования, а также его диагностику и контроль.
При оснащении гибкого автоматизированного участка универсальными сборными приспособлениями время на установку и сборку приспособлений будет так же постоянным для любой обрабатываемой детали.
Гибкий автоматизированный участок типа АСК-0. Программно-математическое обеспечение гибкого автоматизированного участка обеспечивает выработку оперативных решений в зависимости от технологической обстановки, складывающейся на участке в каждый момент времени.
Второй вариант проекта предусматривает создание гибкого автоматизированного участка ( ГАУ), укомплектованного роботизированными комплексами и станками с ЧПУ, а в качестве транспортных средств - использование робоэлектрокаров.
В третьей части приведена методика расчета КПН, ТЭП и величины годового экономического эффекта от внедрения гибкого автоматизированного участка ( ГАУ) механической обработки деталей.
ГПС по организационной структуре подразделяют на следующие уровни: гибкий производственный модуль - первый уровень; гибкая автоматизированная линия и гибкий автоматизированный участок - второй уровень; гибкий автоматизированный цех - третий уровень; гибкий автоматизированный завод - четвертый уровень.
Из совокупности ГПМ могут быть собраны гибкая автоматизированная линия ( ГАЛ) с определенной последовательностью технологических операций, а также гибкий автоматизированный участок с разнообразными возможностями по изменению последовательности технологического оборудования.

**46. Гибкая производственная система**

*Гибкие производственные системы (ГПС)*— наиболее эффективное средство автоматизации серийного производства, позволяющее переходить с одного вида продукции на другой с минимальными затратами времени и труда.

ГПС позволяет снизить потребность в квалифицированных станочниках и станках, повысить качество продукции. Производительность станков с ЧПУ, входящих в ГПС, в 1,5—2 раза выше суммарной производительности такого же количества индивидуально работающих станков с ЧПУ.

*Гибкая производственная система* — это комплекс технологических средств, состоящих из одного-двух (не более) многоцелевых станков с ЧПУ или других металлорежущих станков с ЧПУ, оснащенных механизмами автоматической смены инструмента, автоматической смены заготовок и транспортирования их со склада до зоны обработки с помощью различных транспортных средств, например самоходных роботизированных тележек. Этот комплекс связан с единым математическим обеспечением, способствующим работе оборудования в автоматическом режиме с минимальным участием человека.

*ГПС оснащены современными системами ЧПУ,* управляющими перемещениями механизмов станка, инструментом, транспортом, си стемами загрузки — выгрузки. Такие системы ЧПУ имеют дисплеи, помогающие оператору увидеть отклонения в работе станка, мониторные устройства, обеспечивающие диагностирование режущего инструмента, контроль размеров обрабатываемых заготовок непосредственно на станке и т. д.

Действующие в настоящее время гибкие автоматические системы значительно различаются по уровню технических возможностей. Рассмотрим, например, схематические планировки четырех вариантов ГПС с различными техническими возможностями (рис. 10.30).

*Вариант «а»* представляет собой участок станков с ЧПУ работой которых управляет центральная ЭВМ. Эта же ЭВМ планирует загрузку станков на участке и управляет работой ремонтной службы. Транспортирование заготовок, деталей инструментов и их складирование выполняются с помощью обычных неавтоматических средств. Установка и снятие заготовок на станках осуществляются рабочими.

*Вариант «б»*отличается от варианта «а» только наличием автоматической транспортно-складирующей системы заготовок и деталей.

По *варианту «в»* дополнительно используются промышленные роботы, заменяющие операторов.

Наконец, в *варианте «г»* реализованы все функции развитого ГПС: управление станками с предварительным проектированием и программированием процессов обработки, автоматическое транспортирование, а также установка и снятие заготовок, планирование работы участка, автоматическое обеспечение станков инструментами с помощью второй транспортно-складирующей системы.

Основной составной единицей при создании гибких производств является комплекс оборудования или так называемый гибкий (автоматический переналаживаемый) производственный модуль, представляющий собой комплекс взаимосвязанных машин:

а) металлорежущий станок;

б) промышленный робот;

в) местное транспортно-накопительное устройство для подачи заготовок и удаления деталей, а также для накопления их запаса у станка.

Заготовки в специальных контейнерах 4 (прямоугольные ящики с ячейками) подаются на правую ветвь кольцевого транспортера-накопителя 5, откуда они периодически поступают на тележку 3 робота 2.

Робот берет из ячейки заготовки, устанавливает их на станок 1, снимает после обработки со станка и укладывает в те же ячейки контейнера. Когда заготовки всех ячеек обработаны, тележка робота с контейнерами переходит в крайнее левое положение (показано пунктиром). Здесь стол освобождается от деталей и получает новый контейнер с заготовками.

Контейнер с готовыми деталями передается на левую ветвь кольцевого транспортера-накопителя. Подача контейнеров с заготовками на кольцевой транспортер-накопитель и удаление с него контейнеров с готовыми деталями осуществляются краном-штабелером общей транспортно-складирующей системы ГПС. Такой производственный модуль может использоваться и как отдельный станок-автомат. В этом случае обслуживание кольцевого транспортера-накопителя осуществляется обычным краном или вилочным погрузчиком.

Гибкие производственные модули обычно применяются при изготовлении деталей типа тел вращения. Этому способствует геометрическое подобие заготовок таких деталей.

3.2. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

 ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

 Стремление избавиться от перечисленных в предыдущем разделе недостатков привело к созданию кинематических методов повышения производительности, прочности инструмента и повышения износостойкости, а также за счет применения многозубых лезвийных инструментов.

 Кинематический метод основан на создании определенной кинематики движения инструмента, при которой режущая кромка перемещается относительно поверхностей резания, из-за чего отдельные участки режущей кромки то входят, то выходят из зоны обработки. К этим методам относятся инструменты, работающие по принципу огибания, многозубые, а также ротационные инструменты. Особенностью ротационных инструментов является наличие резцов, имеющих возможность вращения вокруг фиксированной оси.

Вращение происходит принудительно или под действием сил резания. Режущая кромка этих резцов является дугой окружности или дугой фасонной поверхности. К настоящему времени накоплен определенный опыт в использовании такого инструмента, разработано большое количество различного вида инструментов, от простых резцов до торцовых фрез, работающих по принципу протягивания.

 Однако, широкое внедрение этих инструментов в промышленное производство сдерживается тем, что режущие ротационные элементы устанавливаются на подшипники качения, что существенно усложняет конструкцию и увеличивает ее габаритные размеры. Главным недостатком является возникновение вибраций (подшипники качения имеют зазоры между шариками и беговыми дорожками). Кроме того, нельзя обрабатывать поверхности, имеющие буртики или перепады диаметров.

 Заметное повышение производительности произошло, когда стали применяться многозубые инструменты такие, как протяжки, зенкеры, развертки, фрезы. Это связано с тем, что увеличение подачи оказалось возможным за счет распределения припуска между зубьями, в связи с чем усилие резания, приходящееся на один зуб, может быть уменьшено. Так как минутная подача равна произведению числа зубьев и подачи на зуб, то результирующая производительность за счет большого количества зубьев значительно увеличивается. Несмотря на то, что многозубые инструменты являются сложными по конструкции и дорогостоящими в изготовлении, работают с неравномерными нагрузками, они нашли широкое применение в производственной практике.

 Однако не все методы обработки, известные в литературе, нашли свое воплощение в производстве. Из инструментов, применяемых для механической обработки резанием, наиболее производительным является протягивание, позволяющее за один проход протяжки полностью снимать весь припуск с обрабатываемой детали. Высокая производительность этого инструмента обусловлена наличием большого количества зубьев и значительной длиной режущих кромок, одновременно участвующих в процессе резания. При этом, для увеличения срока службы, одновременно снижают подачу на зуб и скорость резания. Подача на зуб конструктивно заложена в самой протяжке, в результате чего достаточно только одного продольного перемещения протяжки относительно детали. Главный недостаток процесса протягивания – наличие больших усилий резания.

 В литературе [63] предлагаются схемы обработки цилиндрических поверхностей, использующих принцип протягивания (рис. 3.1). Для реализации принципа протягивания в предлагаемых схемах необходимо кроме главного движения и подачи обеспечить вращение инструмента. Несмотря на очевидные преимущества обработки показанных схем они не нашли широкого применения в производственной практике. В качестве станков, на которых могут применяться предложенные технологические схемы, могут быть использованы любые токарно-винторезные и горизонтально-расточные станки, для чего необходимо произвести соответствующую их модернизацию. Модернизация имеющихся типов станков позволит реализовать и другие методы обработки с применением вращающегося инструмента: фрезоточение, в том числе и с разделением припуска между резцами, упрочнение чеканкой, центробежное раскатывание и центробежное хонингование.

 Повышение производительности и стойкости режущего многозубого инструмента базируется на следующих соображениях. При непрерывном точении передняя поверхность режущего клина постоянно находится в контакте со сбегающей стружкой. В начале процесса резания в рабочей зоне возникает высокая температура и в течение некоторого промежутка времени процесс является нестационарным. При непрерывном точении температура резания θ вначале быстро возрастает, затем темп роста её снижается и, наконец, достигнув некоторого значения θ = θс – стабилизируется. Если же процесс обработки остановить в момент, когда температура резания не достигла своего наибольшего значения и возобновить его после некоторого перерыва, то предельное значение температуры на поверхности инструмента будет ниже, чем θс. Снижение температуры будет тем больше, чем длительнее цикл τц = τр + τв и чем больше отношение времени вспомогательного хода τв к времени рабочего хода τр инструмента. Это видно из сопоставления кривых 2 и 3.

Кривая 2 соответствует циклу, длительность которого τц = 10 с, причем τр = τв = 5 с. Кривая 3 описывает изменение температуры на контактных поверхностях инструмента в цикле длительностью τц = 33 с, причём рабочий ход и соответствующее ему повышение температуры продолжается 3 с, а вспомогательный ход и остывание резца 30 с. При механической обработке существуют операции, при которых естественно возникают перерывы в работе режущего инструмента. t = 4·10-3м; S = 0,5·10-3об/мин; без охлаждения): 1 – точение непрерывное; 2 – точение прерывистое

 По достижению момента tст – температура в зоне обработки достигает максимального для данных условий стационарного значения Θmax. Скольжение стружки по поверхности лезвия происходит в условиях практически сухого трения, между стружкой и лезвием имеет место схватывание и образование нароста, затрудняющих сход стружки, что вызывает увеличение касательных и нормальных составляющих силы резания.

При охлаждении смазывающе-охлаждающая жидкость не в состоянии проникнуть между стружкой и передней поверхностью. При прерывистом резании в зависимости от скорости протекания процесса режущий клин не успевает нагреться до величины Θ′max и в момент t1 выходит из зоны обработки. За время прохождения резца по дуге окружности от точки t1 до точки t2 и следующего вхождения в зону обработки режущий клин охлаждается до температуры Θmin. Этот процесс периодически повторяется. Разность ΔΘ1 = Θ Бmax − Θ2 является резервом повышения износостойкости.

 Для операций с прерывистым процессом резания может быть применен метод скоростного фрезерования наружных и внутренних крупномодульных резьб, который известен еще как вихревое нарезание резьбы. Для этого при расточке необходимо выбрать такую подачу и ширину резцов, чтобы весь металл срезался целиком, а не только во впадинах витков резьбы. Учитывая, что скоростное резьбофрезерование является эффективным, при условии, когда шаг нарезаемой резьбы не менее 4 мм, а эффективность этого метода в 2,5…3 раза больше по сравнению с обычным резьбофрезерованием, то его применение может значительно повысить производительность расточки отверстий. Для скоростной расточки могут использоваться токарные станки, оснащенные специальным устройством для крепления резцовой головки и приводом, осуществляющим ее вращение. Важным моментом при такой обработке является образование мелкой раздельной стружки, срезаемой отдельно каждым резцом. В этом случае стружка легко удаляется из отверстия вымыванием смазывающе-охлаждающей жидкостью. Появляется возможность автоматизации процесса обработки. Таким образом, проведенный анализ особенностей процесса резания показывает, что в настоящее время возможно повышение производительности в основном на базе выбора и обоснования новых кинематических схем резания, внедрения в производство новых прогрессивных многозубых режущих инструментов, работающих с периодическим смещением режущей кромки в зоне резания или периодической заменой работающих зубьев. Эксперименты показывают, что при этом существенно уменьшается и сила резания при одних и тех же подачах.

Современная тенденция к миниатюризации показала, что вещество может иметь совершенно новые свойства, если взять очень маленькую частицу этого вещества. Частицы размерами от 1 до 100 нанометров обычно называют «наночастицами». Так, например, оказалось, что наночастицы некоторых материалов имеют очень хорошиекаталитические и адсорбционные свойства. Другие материалы показывают удивительные оптические свойства, например, сверхтонкие пленки органических материалов применяют для производства солнечных батарей. Такие батареи, хоть и обладают сравнительно низкой квантовой эффективностью, зато более дёшевы и могут быть механически гибкими. Удается добиться взаимодействия искусственных наночастиц с природными объектами наноразмеров — белками, нуклеиновыми кислотами и др. Тщательно очищенные наночастицы могут самовыстраиваться в определённые структуры. Такая структура содержит строго упорядоченные наночастицы и также зачастую проявляет необычные свойства.

Нанообъекты делятся на 3 основных класса: трёхмерные частицы, получаемые взрывом проводников, плазменным синтезом, восстановлением тонких плёнок и т. д.; двумерные объекты — плёнки, получаемые методами молекулярного наслаивания, CVD, ALD, методом ионного наслаивания и т. д.; одномерные объекты — вискеры, эти объекты получаются методом молекулярного наслаивания, введением веществ в цилиндрические микропоры и т. д. Также существуют нанокомпозиты — материалы, полученные введением наночастиц в какие-либо матрицы. На данный момент обширное применение получил только метод микролитографии, позволяющий получать на поверхности матриц плоские островковые объекты размером от 50 нм, применяется он в электронике; метод CVD и ALD в основном применяется для создания микронных плёнок. Прочие методы в основном используются в научных целях. В особенности следует отметить методы ионного и молекулярного наслаивания, поскольку с их помощью возможно создание реальных монослоёв.

Особый класс составляют органические наночастицы как естественного, так и искусственного происхождения.

# Нанокомпьютеры

Достижения современных информационных технологий и очевидная неизбежность появления в ближайшем будущем принципиально новых разработок порой тесно переплетаются со вчерашней фантастикой.

*Автор: Георгий Жувикин | Раздел:  | Дата: 01 февраля 2005 года*

**Достижения современных информационных технологий и очевидная неизбежность появления в ближайшем будущем принципиально новых разработок порой тесно переплетаются со вчерашней фантастикой.**

Просмотр некоторых популярных сайтов, посвященных будущим компьютерным технологиям, показывает, что в Сети уже закладываются основы нанокомпьютерного сленга. Находим, например, что нанокомпьютер - это:

* квантовый или механический компьютер нанометровых размеров с высокой производительностью;
* компьютер, логические элементы которого имеют молекулярные размеры; контроллер наноробота должен быть нанокомпьютером;
* компьютер микроскопических размеров, разрабатываемый на основе нанотехнологий (Techtarget, whatis.techtarget.com/definition).

Некоторые другие термины, а также картины нанокомпьютерной футурологии можно найти на сайте www.nanonewsnet.ru. Разумеется, терминологические проблемы - не главное, чем озабочены сегодня исследователи, творцы нового компьютерного железа. Изменение физических свойств материалов при уменьшении размеров рабочих элементов логических устройств, способы сборки этих устройств и их системной интеграции, возможность детерминированного управления их функционированием, потери информации и термодинамика наноустройств, физические пределы представления и обработки информации в них, - эти и многие другие важнейшие проблемы составляют сегодня список горячих тем научных исследований и разработок, на поддержку которых правительства развитых стран и крупные корпорации выделяют огромные средства.

Наноэлектроника, нанокомпьютеры, нанороботы и молекулярно-механические автоматы не просто переведут информационные технологии на более совершенную элементную базу, но и создадут совершенно новые социальные проблемы, на фоне которых обсуждаемые сегодня клонирование животных или использование стволовых клеток в медицине покажутся не столь ужасными. С переходом на уровень нанотехнологий станет возможным снижение минимально допустимых размеров компьютера до субклеточного уровня. Плотность хранения информации в искусственных системах уже сейчас может превышать плотность информации, кодирующей наследственность человека. Способы представления информации в системах, созданных человеком, почти достигли физических пределов, установленных фундаментальными законами природы.

Уже понятно, что нанокомпьютеры будут развиваться одновременно по нескольким направлениям, реализующим различные способы представления информации - на основе квантовой логики, классической логики, нейрологики, а также некоторые другие, которым в настоящее время трудно дать определение, - генетические, молекулярно-биологические, молекулярно-механические и др.

Технически в настоящее время наиболее развито направление, в основе которого лежит использование электронных нанотранзисторов, в том числе одноэлектронных (SET, single-electron transistor), включая также транзисторы с поляризованными электронами (спинтронные транзисторы). В таких транзисторах уже достигнут квантовомеханический предел передачи классической информации, налагаемый принципом Паули и принципом неопределенности Гейзенберга. Достигнут также и уровень тепловыделения, определяемый принципом Ландауэра при потере бита информации в необратимых вычислениях. Несмотря на то что до реального применения SET в компьютерной технике еще далеко, проработка различных архитектурных вариантов будущих нанокомпьютеров на их основе идет полным ходом. При этом роль физических критериев, определяющих границы реализуемости вычислительных структур, является, несомненно, определяющей.

## Термодинамика нанокомпьютера

Объемная плотность транзисторов в разрабатываемых интегральных наносхемах предельно высока. В таких условиях вопросы энергетики перспективного нанокомпьютера оказываются чрезвычайно важными. Существует фундаментальное ограничение плотности упаковки логических элементов, связанное уже не с атомной структурой вещества, а с термодинамикой вычислительного процесса как такового. Его суть выражается принципом Ландауэра, согласно которому потеря одного бита информации ведет к выделению тепловой энергии, равной kBT ln2, где kB - постоянная Больцмана, T - температура процессора. В настоящее время просматриваются различные пути решения проблемы перегрева процессора. Например, - реализация обратимых вычислений. Это возможно при организации вычислительного процесса на основе принципов квантовой информатики.

Ближе к воплощению другой путь, позволяющий ориентироваться на уже существующие принципы организации вычислительного процесса. Согласно принципу Ландауэра, при работе в рамках классической логики любое переключение транзистора приводит к выделению тепла, пропорционального температуре транзистора. Если понизить температуру транзистора, можно будет понизить напряжение питания и, следовательно, уменьшить тепловыделение (снижать напряжение питания без снижения температуры процессора нельзя, так как это приведет к сбоям в работе). Как сильно требуется охладить процессор, чтобы добиться существенного выигрыша в тепловыделении? Из основного соотношения Ландауэра видно, что охлаждение процессора даже до температуры жидкого азота (77,4° K) не дает больших преимуществ, так как снижает тепловыделение по сравнению с режимом работы при комнатной температуре всего лишь в четыре раза. То есть если процессор без охлаждения рассеивал, допустим, мощность 60 Вт, то при температуре жидкого азота он будет рассеивать мощность 15 Вт. Охлаждение до температуры жидкого гелия (4,2° К) понижает температуру вычислительного процесса примерно в сто раз, что дает для рассматриваемого случая мощность рассеяния 600 мВт. Производительность нанокомпьютера, охлаждаемого жидким гелием, можно оценить следующим образом. Теплота испарения жидкого гелия примерно равна 3\*103 Дж/л. Таким образом, одного кубического миллиметра жидкого гелия, расходуемого за 1 секунду при температуре 4,2 °K, будет достаточно для отвода ландауэровского тепла от машины с вычислительной производительностью примерно 5\*1019 бит/с. Если предположить, что одновременно будет переключаться 100 млн. одноэлектронных транзисторов, то рабочая частота нанокомпьютера может быть выше 100 ГГц, а тепловыделение - лишь 3 мВт. Создание криогенного наночипа - дело вполне реальное, так как в системе замкнутого оборота криогенного кулера должно быть всего-навсего несколько кубических миллиметров жидкого гелия.

При широком коммерческом производстве гелиевые кулеры для PC будут размером не более воздушных кулеров для современных процессоров. При этом они должны будут отводить тепловую мощность всего несколько милливатт. Для суперкомпьютерных центров будут строиться гораздо более мощные нанокомпьютеры со стационарными криогенными установками. Но и вычислительная мощность у них будет в сотни тысяч раз больше, чем у криогенных PC.

С другой стороны, 3° К - это температура космоса. Почему бы космос с его неограниченными холодильными ресурсами не подключить к решению проблемы роста вычислительных ресурсов на Земле? Суперкомпьютерные центры, расположенные на геостационарных орбитах с дешевым космическим холодом, оснащенные мощными информационными каналами связи с Землей, - новое направление развития IT-бизнеса в будущем.

В принципе, температуру рабочей среды компьютера можно понижать еще на несколько порядков по сравнению с температурой жидкого гелия, однако при этом будут быстро расти и затраты на охлаждение. Ведь холодильный агрегат при работе тоже повышает энтропию. К тому же теплоемкость реальных хладагентов в условиях сверхнизких температур весьма мала.

Известны и другие физические механизмы, используя которые, можно оптимизировать термодинамику классического компьютера. Дело в том, что принцип Ландауэра выводится в предположении, что вычислительная среда характеризуется одной температурой T. Однако в физике известны среды с двумя и более температурами, то есть являющиеся термодинамически неравновесными. Пример - всем хорошо известные газоразрядные лампы дневного света. Атомно-молекулярная подсистема здесь характеризуется комнатной температурой (300° K), а система свободных электронов - температурой в 30–50 раз большей (10000° K). Поэтому в вычислительной среде можно создавать переохлажденную рабочую подсистему с очень низкой температурой, а по завершении вычислительного процесса считывать результат еще до того, как начнут сказываться потери информации в результате возвращения системы к состоянию теплового равновесия. Последовательная реализация такого подхода подводит нас к идее оптимального сочетания квантового и классического компьютинга. Например, можно использовать взаимодействие холодных квантовых пучков легких частиц с массивами более теплых тяжелых частиц.

Такие компьютеры уже существуют. Это - оптические компьютеры. В них низкоэнтропийные пучки света проходят через оптическую систему практически без тепловых потерь. Ландауэровское тепло выделяется лишь в детекторах излучения при считывании результата. В этом и состоит главный "секрет" современного чуда - оптоволоконных систем связи. На данный момент в оптических компьютерах реализуются "самые холодные" вычисления. Что касается электронных компьютеров, то для них тоже можно реализовать вычислительный процесс в термодинамически неравновесных условиях, так как масса электрона во много раз меньше массы атомов. Например, возможно создание вычислительных наноструктур с пучками переохлажденных электронов, распространяющихся в решетке из тяжелых атомов. Транзисторы, в которых электроны пролетают через рабочий канал, практически не испытывая тепловых столкновений с атомами, уже созданы - это баллистические транзисторы. Следующий шаг - создание баллистических транзисторов с холодными электронами.

Каким будет баланс тепловыделения W и вычислительной производительности P, если, наоборот, пойти по энергозатратному пути, увеличивая рабочую температуру T вычислительной среды? Согласно принципу Ландауэра, тепловыделение компьютера, достигшего предельных физических характеристик, пропорционально произведению: W ~ P\*T. В то же время для компьютера, находящегося, например, в космосе, единственный способ отвода тепла - тепловое излучение. На самом деле, излучение фотонов в пространство - это и есть реальный физический механизм "сброса" энтропии, образующейся в процессе необратимых вычислений. Согласно закону Стефана-Больцмана, мощность теплового излучения абсолютно черного тела пропорциональна T4. Условие теплового баланса дает P~ T3, - допустимая вычислительная мощность очень быстро растет с ростом температуры вычислительной среды. Вопрос лишь в том, до какой температуры можно разогревать процессор без угрозы его теплового разрушения.

Разработки высокотемпературных полупроводниковых материалов ведутся уже более четверти века. Самый перспективный из них - алмаз, высокотемпературный полупроводник с шириной зоны около 5 эВ. Созданные на его основе транзисторы являются рекордсменами по рабочим температурам. Уже в конце 1980-х были созданы алмазные транзисторы, способные работать при температуре выше 1000 °K на частоте несколько десятков гигагерц. В настоящее время хорошо отработаны технологии получения нанокластеров алмаза. Их получают как россыпью, так и в тонких нанопленках. Следует лишь помнить, что при температуре выше 1700° K начинается процесс превращения алмаза в графит.
Про "это"

Борьба с накладываемыми на вычислительный процесс фундаментальными ограничениями, - дело чрезвычайно сложное и дорогостоящее, доступное лишь высокоразвитым странам в рамках крупных национальных программ, аналогичных строительству гигантских ускорителей элементарных частиц или полетам к другим планетам. Столь же сложными оказываются и проблемы производства компьютеров на основе нанотехнологий. Для целей полупроводниковой литографии используются даже ускорители элементарных частиц в качестве источников коротковолнового излучения. Однако литография, пусть даже в рентгеновском или электронно-лучевом исполнении, оказывается малопроизводительной из-за большого брака уже при разрешении 10-20 нм. Поиски альтернативных способов изготовления нанотранзисторов и сборки из них компьютеров составляют еще одно важное направление современных исследований в области нанотехнологий. Так, с разработкой сканирующего туннельного микроскопа оказалось возможным манипулировать отдельными атомами и молекулами - захватывать их в одном месте и укладывать в строго определенном порядке в другом. Однако производительность таких наноманипуляторов оказалась слишком низкой, чтобы на нее можно было реально рассчитывать при сборке больших интегральных наночипов.

В настоящее время весьма популярны идеи химического синтеза вычислительных наноструктур, а также их самосборки. Такие технологии привлекательны тем, что позволяют достичь высокой степени параллелизма, автоматического контроля качества и высокой производительности в таких малых пространственных масштабах, где использование технологий макромира невозможно или неэффективно. Ведутся также исследования в области самовоспроизводства наноструктур. Все это должно осуществляться непосредственно под управлением механизмов нанометрового масштаба в среде, содержащей строительные блоки нанометрового и субнанометрового размера. Но возможна ли самосборка хотя бы в принципе?

Окружающая нас действительность наглядно показывает, что в природе самосборка не только возможна, но и успешно осуществляется в виде более сложного процесса - самовоспроизводства. Достаточно вспомнить о механизме репликации молекул ДНК. В 1952 году к теоретическому описанию процесса самовоспроизводства приступил один из величайших кибернетиков ХХ века Дж. фон Нейман (1903–57). Результаты его работы были опубликованы лишь в 1966 году, уже после смерти автора. Нейман показал, что существует некоторая пороговая сложность автомата, начиная с которой самовоспроизводство возможно. Им также была высказана идея, что, начиная с некоторого более высокого уровня сложности такой процесс возможен с нарастанием сложности создаваемых систем. Нейман построил конкретную математическую модель самовоспроизводящейся структуры на основе клеточного автомата. В основе модели Неймана лежало представление о двумерной регулярной среде элементарных ячеек, обладающих конечным числом состояний и определенной функцией переходов. Современные технологии производства наноустройств еще далеки от практической реализации самовоспроизводства в том виде, как его описал Нейман, однако идея синтеза вычислительной среды в виде двумерного массива элементарных транзисторных ячеек начинает сегодня отчетливо прослеживаться в экспериментальных работах, ведущихся в некоторых крупных исследовательских центрах мира (IBM, Bell Labs и др.).

Успеху данного направления во многом способствует стремление нанокластеров некоторых химических элементов к самоорганизации с образованием регулярных структур. Специалисты из Communications Research Laboratory (Япония), ведущие исследования в этом направлении, прямо заявляют, что целью их разработок является создание клеточного автомата - большой матрицы простых идентичных компонентов нанометрового масштаба, или клеток. Клетки сообщаются с помощью сигналов, передаваемых по цепочке от клетки к клетке. Изготовить такую конструкцию в Японии надеются путем химического синтеза. На завершение работы с использованием отдельных молекул в качестве рабочего элемента японские исследователи отпускают себе двадцать лет.
Схемотехника и архитектура

Примеры первых наиболее успешных экспериментов по массовому производству компонентов электронных схем с применением нанотруб, фуллеренов и других "магических" кластеров показали, что основу вычислительной среды будущего нанокомпьютера будет составлять регулярная, для начала - двухмерная, матрица, образованная нанотранзисторами размером 2-10 нм. При этом молекулярно-кластерными методами можно будет создавать наиболее мелкие элементы схем, требующие высокого пространственного разрешения порядка 0,5-1 нм, недоступного для литографии. В первую очередь - это область регулируемого проводящего канала транзистора. Цепи же переноса сигналов между транзисторными ячейками можно будет создавать литографическими методами с шириной проводящей дорожки 5-20 нм. Такой гибридный способ производства транзисторов уже сейчас позволяет исключить из технологической цепочки сложные операции легирования полупроводника. Плотность упаковки электронных компонентов на чипе будет определяться значением 1000-10000 транзисторов на квадратный микрон.

В силу особых сложностей переноса предельно слабых сигналов на большие расстояния, схемотехника нанокомпьютера будет строиться по блочно-модульному принципу. Базовый блок будет представлять собой макроячейку с элементами памяти на несколько бит, программируемой логической матрицей на входе и интерфейсными элементами входа-выхода. Цепи переноса сигнала между макроячейками будут организованы с использованием принципов приборов с зарядовой связью (charge coupled devices, CCD), а также с использованием спинтронных каналов переноса информации в магнитных полупроводниках. Использование механизма кулоновской блокады позволит передавать сигналы предельно малыми пакетами, вплоть до одноэлектронных. Макроячейки можно собирать далее в матрицы и суперматрицы, создавая таким образом универсальные программируемые вычислительные среды типа современных устройств PLD (programmable logic devices) или FPGA (free programmable gate arrays). Использование спинтронной схемотехники позволит создавать на том же чипе быстродействующую энергонезависимую память сверхвысокой плотности, не стираемую при выключении питания.

Несмотря на то что основные рабочие элементы разрабатываемых нанотранзисторов имеют некремниевую основу, уже имеется проработка технологии их изготовления с системной интеграцией на кремниевой подложке. Использование кремния позволяет наиболее эффективно приспособить технологические возможности современной микроэлектроники для нужд нарождающейся наноэлектроники. В частности, базовый кремниевый кристалл может быть использован для создания интерфейсного обрамления наночипа в стандарте TTL. Темп нынешних работ таков, что к тому времени, когда рынок электроники будет наполнен устройствами мезоэлектроники с разрешением 20–30 нм (примерно через десять лет), должны появиться первые экспериментальные образцы универсальных программируемых молекулярно-кластерных и спинтронных чипов с кремниевым интерфейсным TTL-обрамлением. Все это выглядит вполне реальным, так как базисные логические функции типа ИЛИ-НЕ на основе углеродных нанотрубок уже изготовлены и испытаны.

В свою очередь, на их основе можно будет создавать нанопроцессоры, наночипы памяти и полнофункциональные однокристальные нанокомпьютеры. По своему разнообразию мир нанокомпьютеров будет необычайно широк. Нанокомпьютеры минимального размера в несколько микрон смогут содержать сотни тысяч транзисторов. Однокристальные нанокомпьютерные гиганты с размером кристалла порядка дюйма будут содержать уже триллионы транзисторов. Для обеспечения их работы на предельной частоте порядка 1000 ГГц понадобятся специальные меры по снижению ландауэровского тепловыделения.

В заключение следует упомянуть о радиационной опасности, грозящей нанокомпьютерам со стороны обычных материалов, используемых в электронике. Дело в том, что в числе незначительных примесей, всегда присутствующих даже в самых чистых материалах, есть радиоактивные элементы. Особую опасность представляют альфа-активные изотопы тория. Одна альфа-частица с типовой энергией 1 МэВ даже в условиях обычной микроэлектроники при попадании в кристалл способна освободить из связанного состояния миллионы электронов. Для нанокомпьютера это все равно, что атомная бомба для мегаполиса. Сейчас это явление актуально для чипов памяти типа DRAM. С ним борются, применяя помехоустойчивое кодирование.

Основное внимание мы уделили современному состоянию и перспективам развития электронных нанокомпьютеров. История развития физических основ таких приборов насчитывает уже много лет, непосредственно продолжая историю микроэлектронных приборов. Поэтому они оказываются лидерами в области нанокомпьютеростроения. Вместе с тем в последние несколько лет получили интересное развитие и другие подходы, в частности, молекулярно-механические.