

на практике однозначным образом могут быть разделены элементарные погрешности одноступенчатых механизмов, некоторых двухступенчатых ( $U_1 > U_2$ ) и лишь изредка — трехступенчатых, у которых выполняются условия  $U_3 > U_2$  и  $U_3 \gg U_1$ . Для четырехступенчатых передач использование метода дает чрезмерные погрешности вычисления. Таким образом, реально можно говорить об использовании описанного метода к контролю одной-двух конечных ступеней многоступенчатых механизмов.

УДК 621.9.02 (035)

**А.Ф. Присевко, В.В. Веренчук\*, Г.Я. Беляев**

## **ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*Белорусский национальный технический университет,  
ОАО Минский приборостроительный завод\**  
Минск, Беларусь

### *Актуальность*

Резьбовые соединения (РС) в конструкциях машин составляют 15–25% от общего числа соединений из-за простоты, надежности, возможности разборки и сборки без замены деталей, а трудоемкость сборки резьбовых соединений составляет 20–30% от общей трудоемкости сборочных работ.

Процесс сборки РС состоит из следующих этапов: соединение (наживление) резьбовых деталей на 2–3 нитки, их свинчивание, затяжка и стопорение для предохранения отвинчивания. В автоматизированном производстве первые три этапа сборочного прогресса выполняются последовательно одним инструментом (гайковертом, винтоввертом, шпильковвертом). Для удобства наживления на торцах резьбовых поверхностей выполняют фаски под углом 45°. Резьбовые соединения в крупносерийном и массовом производстве выполняют одновременно при помощи многошпиндельных резьбозавертывающих устройств. В мелкосерийном производстве эти операции выполняют в определенной последовательности.

Рекомендуемые нормативы режимов резания при нарезании резьбы позволяют выбрать скорость, глубину резания и подачу в зависимости от вида резьбы, материала, точности и качества резьбовой поверхности, заданного эксплуатационного ресурса и необходимой производительности.

### *Виды резьб*

Резьба характеризуется следующими основными и дополнительными параметрами: профилем (например, метрическая, дюймовая Витворта, трапеце-

идальная и т.д.), наружным диаметром, шагом, направлением винтовой линии, числом витков и полем допуска. Первые три параметра полностью определяют стандартные однозаходные правые резьбы, для других случаев необходимы другие параметры. К этим измеряемым параметрам относятся: угол при вершине профиля, средний диаметр резьбы, внутренний диаметр, радиус на дне впадины, высота профиля резьбы, шаг, угол подъема винтовой линии и рабочая высота профиля. На приведенных ниже схемах различных резьб указано большинство основных и дополнительных параметров. Условно все резьбы можно разделить по области их применения на резьбы общемашиностроительного и нефтяного сортамента. Основной резьбой общемашиностроительного применения на сегодняшний день является **резьба ISO (Рис. 1)** в двух совпадающих по всем размерам исполнениях — Метрическая М, наиболее распространенная в Европе, и Унифицированная Национальная UN, распространенная в США. Эта резьба применяется во всех отраслях промышленности. **Унифицированная национальная резьба с контролируемым радиусом впадины UNJ (Рис. 1 и 1а)** применяется в авиационной и космической индустрии. **Дюймовая резьба Витворта BSW (Рис. 1 б)** применяется для штуцеров и присоединений газовой, водопроводной и канализационной арматуры. Резьба BSW соответствует ГОСТ 6357-81 на трубную цилиндрическую резьбу. Эта резьба рекомендована к замене на резьбу ИСО. **Американская Национальная Трубная резьба NPT (Рис. 1в)** применяется для штуцеров и присоединений (соответствует ГОСТ 6111-82 на коническую дюймовую), также как и **Британская Стандартная Трубная Коническая резьба BSPT (Рис. 1г)** (соответствует ГОСТ 6211-81 на трубную коническую резьбу). **Трапецидальная резьба TR (Рис. 1д)** выполнена по европейским нормам (DIN 103) и предназначена для ходовых винтов в общемашиностроительной индустрии. Очень похожая на нее **трапецидальная резьба ACME (Рис. 1е)** соответствует американским стандартам и предназначена для тех же целей. В тех случаях, когда резьба ACME имеет слишком глубокий профиль, используется **усеченная резьба STUB (Рис. 1ж)**. Для резьбовых соединений в пищевой промышленности и в системах пожаротушения используется **круглая резьба RP по DIN 405**. Резьбы нефтяного сортамента имеют конкретное назначение для различных соединений добывающей и перекачивающей арматуры. Как правило, эти резьбы во всем мире выполняются по стандартам Американского Института Нефти (API). Аналогичные по назначению резьбы, выполненные по отечественному ГОСТу, имеют некоторые параметры резьбы, отличные от резьб API. **Замковые резьбы на вращающейся буровой оснастке выполняются по стандартам API формы V-0.038R (Рис. 1з)** (исполнение с конусностью резьбы 1:6), формы **V-0.040 (Рис. 1к)** (исполнение с конусностью резьбы 1:4) и формы **V-0.050. На-**

осно-компрессорные трубы и некоторые вращающиеся соединения имеют **крупную резьбу API**, соответствующую аналогичным резьбам по ГОСТ 633-80. На обсадных трубах нарезается **резьба API Батресс** или по **ГОСТ 632-80**. Распространена также резьба под названием **американский батресс** [1].

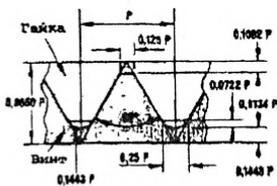


Рис. 1

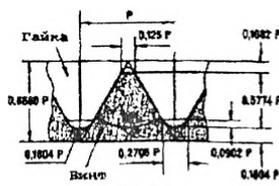


Рис. 1а

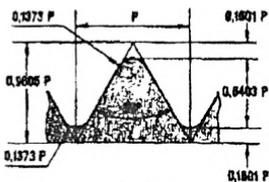


Рис. 16

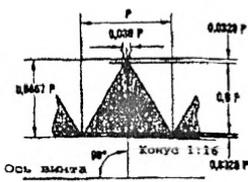


Рис. 1в

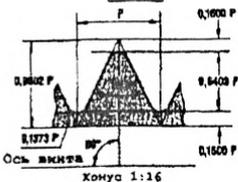


Рис. 1г

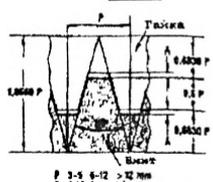


Рис. 1д

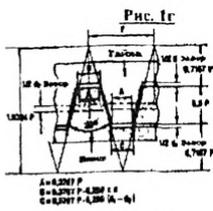


Рис. 1е

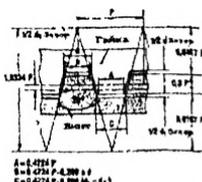


Рис. 1ж

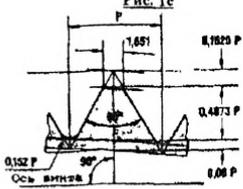


Рис. 1з

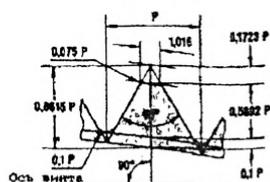


Рис. 1к

Виды резьб общемашиностроительного применения

Полная гамма резьб, применяемых в промышленности, представлена на рис.3.

Сведения о размерах резьбы, ее точности и производительности обработки, а также характеристика различных способов нарезания, шлифования и накатывания наручных и внутренних резьб приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

1. Способы обработки наружных резьб

Способ обработки	Параметры резьбы					Твердость заготовки HRC3, не более	Наибольшая производительность, шт/мин
	Диаметр $d_n$ , мм	Шаг $P$ , мм	Длина $L$ , мм, не более	Степень точности	Сбег, не менее		
<b>1. Нарезание:</b>							
— головками с тангенциальными гребенками;	1,6-235	0,35-6	6000	4-7	1,5P	37	До 20
— головками с круглыми гребенками;	4-400	0,50-6	6000	5-8	1,5P	37	До 20
— резцами;	1-1000	0,25-100	6000	6-8	0,5P	46	До 5
— вихревое нарезание резьбы;	20-1000	2,50-100	2000	7-9	P	46	До 5
— круглыми плашками;	0,2-72	0,08-3	2000	5-8	1,5P	34	До 5
<b>2. Фрезерование:</b>							
— дисковой фрезой;	10-400	0,50-100	2000	6-8	0	46	До 2
— гребенчатой фрезой;	3-200	0,50-6	100	6-8	0	37	До 5
— винтовой (червячной) фрезой;	5-100	0,75-5	75	6-8	0	37	До 10
<b>3. Шлифование:</b>							
— врезное;	1-400	0,40-6	100	Св. 2	0,5P	71	До 3
— продольное;	0,5-400	0,04-100	6000	Св. 2	0,5P	71	До 1
<b>4. Накатывание:</b>							
— роликом-сегментом;	1,6-27	0,40-2,5	100	2-6	1,5P	34	До 2000
— плоскими плашками;	2-70	2,5-3	250	6-8	1,5P	34	40-800
— двумя роликами;	2-250	0,35-20	800	2-6	P	36	10-400
— тремя роликами;	6-100	0,50-5	2000	3-6	P	34	10-100
— осевыми головками;	1,4-150	0,35-8	6000	4-7	1,5P	34	5-150
— тангенциальными головками;	2-52	0,40-2,5	20	4-7	0,5P	26	До 20
<b>5. Литье под давлением (пластмассе)</b>							
	2,8-180	0,70-6	100	6-10	0	—	—

Примечания:

1. Накатыванию подлежат лишь материалы с коэффициентом относительного удлинения  $\delta \geq 8\%$ . На стержне под накатывание резьбы угол фаски следует принимать равным 20–30° (большие значения для резьб с шагами свыше 1,5мм). Начальный диаметр фасок должен быть меньше внутреннего диаметра резьбы на 0,5–0,25 мм.

2. Для накатывания резьб полых деталей, к которым относятся детали с толщиной стенки порядка  $(2+4)h$ , применять способы, обеспечивающие минимальные деформации заготовки: двумя роликами (для него характерно наличие регулируемой радиальной подачи), тремя роликами и осевыми головками с числом роликов от 3 до 6.

3. Наибольшая производительность относится к обработке резьб с минимальными диаметрами, шагами и длинами не более  $2d_n$ .

4. Способы обработки резьб точением резцами, нарезанием круглыми платками, фрезерованием дисковой фрезой и шлифованием применяются в серийном производстве, в том числе на станках с ЧПУ [2-4].

Таблица 2

Способы обработки внутренних резьб

Способ обработки	Параметры резьбы					Твердость заготовки HRC <sub>3</sub> , не более	Наибольшая производительность, шт/мин
	Диаметр $D_n$ , мм	Шаг $P$ , мм	Длина $l$ , мм, не более	Степень точности	Сбег, не менее		
<b>1. Нарезание:</b>							
гачевыми метчиками;	3-52	0,50-3	50	4-7	Сквозная резьба	32	До 80
машинными метчиками;	0,2-300	0,075-8	300	2-7	$P$	46	До 60
головками;	32-300	0,75-100	200	5-8	$2P$	46	До 10
резцами;	10-1000	0,50-100	500	4-8	$0,3P$	46	До 5
вихревое нарезание резьбы;	30-350	3,0-50	300	7-9	$P$	46	До 2
протяжками;	10-150	2,0-10	200	6-7	Сквозная резьба	34	До 5
<b>2. Фрезерование:</b>							
дисковой фрезой;	5-200	0,50-100	100	6-8	0	46	До 2
гребенчатой фрезой;	16-200	0,50-5	100	6-8	0	37	До 5
штифовой (концевой) фрезой;	8-100	0,50-5	50	6-8	0	37	До 10
<b>3. Шлифование:</b>							
презное;	20-400	0,50-5	100	Св.2	$0,3P$	71	До 3
продольное;	20-400	0,50-100	250	Св.2	$0,3P$	71	До 1
<b>4. Накатывание:</b>							
гачевыми метчиками;	3-16	0,50-1,5	20	6-7	Сквозная резьба	20	До 100
машинными метчиками;	1-52	0,25-2,5	200	2-6	$3P$	20	До 70
головками;	50-200	0,50-3	300	4-6	$3P$	20	До 2
<b>5. Радиальная обдирка на резьбовой оправке:</b>							
роликом-сегментом;	3-24	0,50-1,5	50	7-9	$0,5P$	20	100-500
двумя роликами;	3-200	0,50-2	150	7-9	$0,5P$	20	10-150
тремя роликами;	6-100	0,50-1,5	100	6-9	$0,5P$	20	5-50
<b>6. Литье под давлением (пластмасс)</b>	2,8-180	0,70-6	100	6-9	0	-	-

**Примечания:**

1. Наибольшая производительность относится к обработке резьб с минимальными диаметрами, шагами и длинами не более  $D_n$ .

2. Данные по производительности при обработке метчиками и головками приведены для одношпиндельной обработки. Увеличение числа шпинделей существенно повышает производительность. Число шпинде-

лей зависит от типа инструмента и компоновки оборудования. Для гаечных метчиков с изогнутыми хвостовиками применяется, как правило, горизонтальная компоновка станка, при которой число шпинделей равно 1–2 при вращающемся инструменте и 1–8 — при невращающемся. Для прямых гаечных метчиков и головок применяются станки с горизонтальной и вертикальной компоновками с числом шпинделей от 1 до 12. Для машинных метчиков число шпинделей составляет 1–12 для станков с горизонтальной компоновкой и 1–24 — для станков с вертикальной и наклонной компоновками.

3. Способы обработки резб точением, фрезерованием дисковой фрезой и шлифованием применяются в серийном производстве, в том числе на станках с ЧПУ.

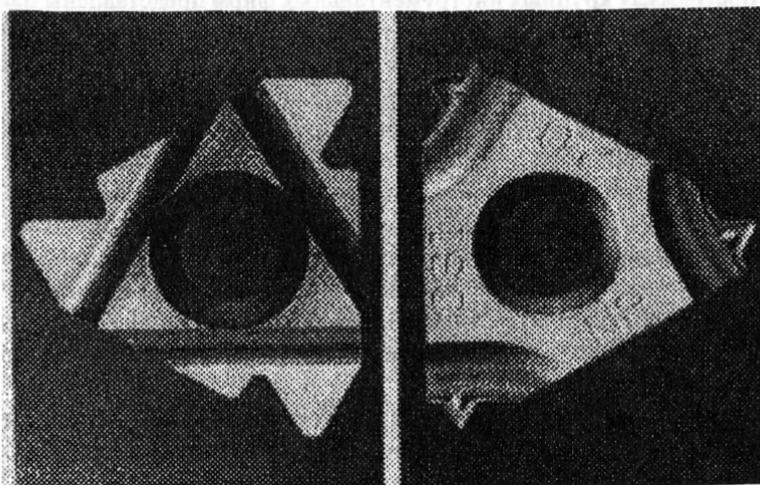
4. Способы радиальной обжимки на резбовой оправке применяются для обработки пластичных материалов на полых листоштампованных заготовках и трубах с толщиной стенки от 0,5 до 3 мм и высотой формируемой резьбы, примерно равной толщине стенки.

## **Обработка резьбы резанием**

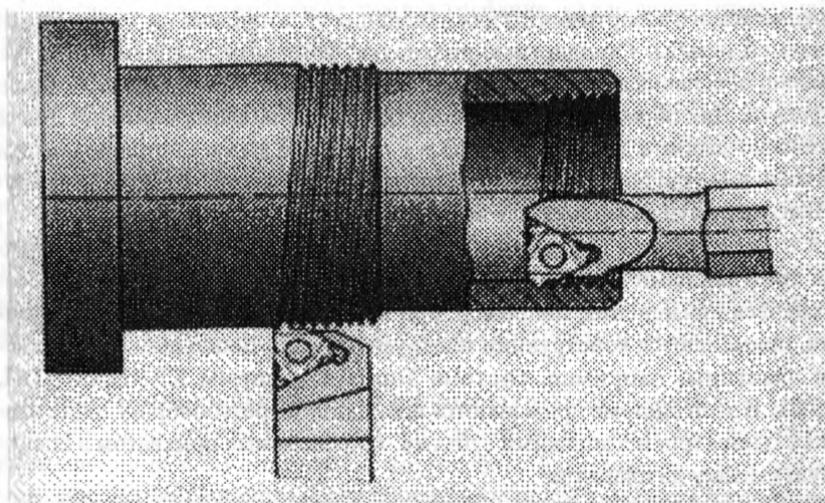
### **Обработка резьбы резцом**

Согласно определению, нарезание резьбы резцом представляет собой винтовое точение, применяемое для изготовления резьбы с помощью однопрофильного инструмента. Профиль резбового резца соответствует профилю витка резьбы. В современной промышленности применяются обычные призматические резцы и дисковые незатылованные и затылованные профильные резцы. Инструментальным материалом для резбовых резцов является быстрорежущая сталь или твердый сплав. Применение твердого сплава обеспечивает увеличение производительности и повышение качества обработки, но требует, как правило, более высоких скоростей резания, что приводит к увеличению скоростей отвода резца. Поэтому, как правило, резцы из твердого сплава применяются на станках с автоматическим отводом резца или на станках с ЧПУ, хотя из этого правила есть и исключения.

Сами резбовые твердосплавные резцы изготавливаются с напайными или сменными многогранными пластинами. Применение сменных многогранных пластин повышает экономическую эффективность процесса резбонарезания. Конструкция сменной многогранной резбонарезной пластины, ставшая сегодня классической, представляет собой трехгранную пластину, на каждой грани которой имеется режущая кромка, совпадающая по форме с полным профилем резьбы (рис. 2,а).



а)



б)

Рис. 2,а,б. Одновременное нарезание наружной и внутренней резьбы (б) резцами со сменными многогранными резбонарезными пластинами (а)

Пластина располагается на державке горизонтально. Пластины для наружной и внутренней резьбы одинаковы по конструкции и отличаются только расположением кромок (рис. 2,б).

В программах крупных инструментальных фирм представлены пластины для нарезания большинства типов резьб. Например, в производственной программе фирмы KENNAMETAL HERTEL представлены все рассмотренные выше типы резьб общемашиностроительного сортамента.

Конструкция самих резцов различается, как правило, только способом крепления пластины. Например, в системе LT фирмы KENNAMETAL HERTEL на каждой державке возможно альтернативное крепление пластины либо винтом, либо прихватом. В той же фирме пластины для нарезания внутренних резьб крепятся винтом, а пластины для наружных резьб - косой тягой, аналогично креплению Fix-Perfect. В обеих системах стандартно выпускаются все общепринятые типоразмеры державок и борштанг для нарезания наружных и внутренних, правых и левых резьб. Пластины двух систем ограниченно взаимозаменяемы.

Для резьб нефтяного сортамента выпускаются также аналогичные по конструкции пластины, но с другим количеством кромок или с несколькими зубьями на каждой грани пластины аналогично резьбовым гребенкам

В обеих системах возможна замена подкладки под пластину (из стандартного предлагаемого ассортимента) для изменения угла подъема винтовой линии нарезаемой резьбы. Стандартные подкладки, которыми комплектуются все державки, обеспечивают нарезание резьбы с углом подъема винтовой линии 1,5 градуса. Для обработки резьбы с другим углом подъема винтовой линии необходимо заказать другую подкладку. Стандартно выпускаются подкладки для изменения угла подъема винтовой линии в диапазоне от -1,5 до +3,5 градусов. Высота режущей кромки для всех подкладок остается неизменной.

Как дополнение к системам инструмента с горизонтально расположенными трехгранными пластинами для резьб с большими шагами и для особых случаев применения, например, при нарезании резьб нефтяного сортамента, применяются конструкции инструмента с вертикальным расположением пластины, например, система Top-Notch фирмы KENNAMETAL HERTEL. В этой системе применяются специальные резьбообразующие пластины с одним или несколькими зубьями, закрепляемые прихватом в специальную канавку на пластине.

В зависимости от расположения суппорта станка (верхний или нижний), типа резьбы (правая или левая) и типа державки выбирается направление вращения шпинделя и направление движения подачи.

Большое влияние на качество поверхности резьбы, стойкость пластины и получаемую стружку оказывает способ врезания при многопроходном нарезании резьбы. Наиболее простой способ радиального врезания заставляет пластину работать сразу двумя сторонами, что равномерно нагружает пластину

ину, но приводит к образованию трудно контролируемой V-образной стружки и к ухудшению качества обработанной поверхности. При подаче вдоль боковой стороны профиля стружка становится геометрически определенной и лучше контролируемой, улучшается качество поверхности. При отклоненном врезании вдоль боковой стороны увеличивается стойкость пластины за счет снижения трения на режущей кромке. Для еще большего увеличения стойкости при обработке крупных резб применяется метод врезания по боковой стороне с изменением стороны врезания.

### **Обработка резьбы резьбовой гребенкой**

Нарезание резьбы резьбовыми гребенками определяется как винтовое точение, применяемое для изготовления резьбы с помощью инструмента, имеющего несколько резьбовых профилей, ориентированных в направлении подачи. Резьбовыми гребенками нарезается однозаходная и многозаходные внутренние и наружные резьбы.

На резьбовой гребенке резьбовые профили располагаются в ряд, расстояние между ними соответствует шагу резьбы. Резьба такими гребенками изготавливается за один проход, так как гребенки, как правило, имеют заборный и профилирующий участки.

В зависимости от установки по отношению к детали, гребенки делятся на тангенциальные и радиальные. Как и при нарезании резьбы резцами, в качестве резьбовых гребенок чаще используются дисковые профильные резцы. Применение твердого сплава привело к появлению сменных многогранных пластин, режущая часть которых выполнена в виде резьбовой гребенки. Такое решение имеется как для плосколежащих пластин, так и для пластин типа Top-Notch. Такими пластинами нарезаются, как правило, резьбы нефтяного сортамента, в первую очередь резьбы на обсадных трубах (типа Батресс) и на насосно-компрессорных трубах (круглая резьба API).

### **Нарезание резьбы плашкой и резьбонарезной головкой**

Нарезание резьбы плашками определяется как винтовое точение для изготовления резьбы с помощью многозубого инструмента, имеющего направление подачи и направление главного рабочего движения (глубокого резания) много зубьев. К этому определению подходят только нарезание резьбы плашками, воротками (клуппами) и резьбонарезными головками. Плашка имеет, как правило, неразъемную конструкцию, хотя применяются и разрезные плашки, вставленные в державку. С помощью регулировочного винта, находящегося в державке напротив разреза в плашке, можно регулировать в небольших пределах диаметр резьбы.

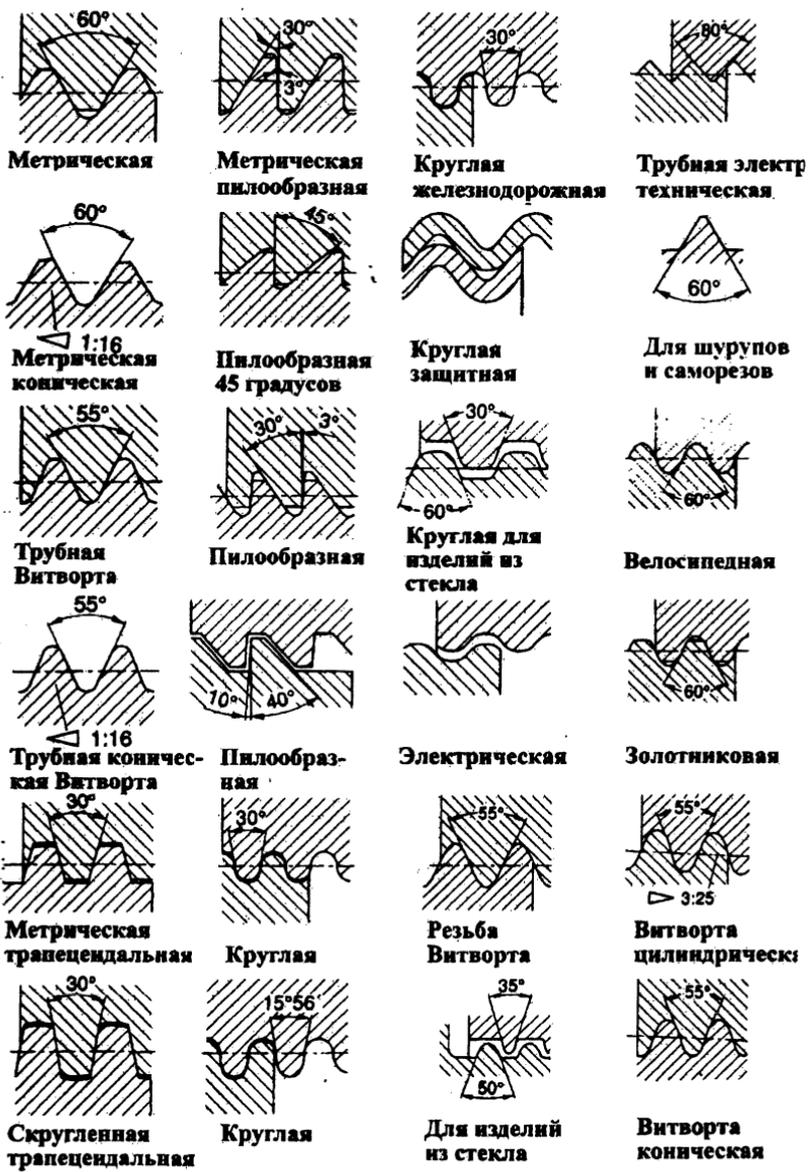


Рис.3. Полная гамма резьб, применяемых в промышленности

Плашки применяются для нарезания резьб с невысоким качеством поверхности и точностью. Подача осуществляется самой плашкой. Во избежании несоосности необходимо обеспечить перпендикулярность положения инструмента при врезании и прямолинейность направления. Передний угол выбирается в зависимости от обрабатываемого материала, угол заборной части на обеих сторонах плашки составляет, как правило, 60 градусов, при обработке цветных металлов — 90 градусов, при обработке труднообрабатываемых материалов — 45 градусов. Нарезание резьбы плашками имеет ограничения; нарезание резьбы диаметром более 30 мм и шагом более 4 мм на сплошных заготовках крайне затруднительно. В таких случаях плашки применяются только для калибрования резьбы. В производственной программе фирм, выпускающих плашки, в обязательном порядке присутствуют плашки для нарезания всех резьб общемашиностроительного сортамента, а также для многих не столь распространенных резьб. К примеру плашки с наружной поверхности в виде шестигранника (а не круглой) под ключ. Такие плашки применяются для восстановления и калибрования резьбы. Недостатком метода изготовления резьбы плашками является появление погрешностей шага при большой длине резьбы. Профиль резьбы, получаемый после врезания, принимает на себя полностью усилия подачи, в результате которых могут возникнуть деформации как резьбы, так и заготовки. Кроме того, возможно появление несоосности и ухудшение качества поверхности резьбы, особенно при обработке вязких материалов. Отвод плашки производится по уже нарезанной резьбе, что приводит к увеличению вспомогательного времени и к возможности повреждения резьбы. Клуппы (воротки) имеют схожую с плашками конструкцию и также применяются для ручного нарезания резьбы. Они имеют четыре радиально или тангенциально расположенные гребенки. Гребенки являются сменными и регулируемы. Благодаря этому можно нарезать резьбы различных диаметров и шагов. Другой особенностью конструкции клуппа является то, что после нарезания резьбы он открывается и нет необходимости в отводе по готовой резьбе. Подача, как и для плашки, осуществляется самим клуппом. Клуппом можно нарезать более крупные резьбы, чем плашкой.

Резьбонарезные головки по своей конструкции аналогичны клуппам, но предназначены для машинного нарезания резьбы. В зависимости от типа и расположения гребенок различают резьбонарезные головки с радиальными и тангенциальными плоскими гребенками и с круглыми гребенками. Головки первого типа компактнее и проще других головок. Однако надо учитывать также особенности применения головок. Гребенки всех типов устанавливаются в головке всегда выше центра на некоторую величину. В результате та-

кой установки возникающие упругие и пластические деформации материала заготовки образуют контактные площадки между резьбовыми поверхностями нарезаемой детали и профильными поверхностями резьбовых элементов гребенок. Эти контактные площадки обеспечивают центрирование и подачу резьбонарезной головки. Чем больше эти площадки, тем меньше погрешности резьбы. Величина площадок зависит от типа и состояния гребенок. Для головок с радиальными гребенками величина площадок уменьшается по мере переточек, что делает сами гребенки недолговечными. Резьбонарезные головки с тангенциальными головками имеют более сложную конструкцию. Эти головки имеют наибольшую величину контактных площадок и, следовательно, наилучшие условия самоподачи. Поскольку переточка гребенок осуществляется с торцевой стороны, то искажения профиля отсутствуют. Резьбонарезные головки с круглыми гребенками также допускают большое количество переточек. Эти гребенки более технологичны и компактны, но имеют наименьшую величину контактных площадок. Резьбонарезные гребенки имеют многопрофильную режущую часть с режущими и направляющими зубьями с заборной частью. Геометрия резания (передние углы) выбирается в зависимости от обрабатываемого материала. Для сокращения вспомогательного времени применяются самооткрывающиеся головки. Они бывают с жестким креплением или вращающиеся. При перемещении головки до упора, соответствующего длине нарезаемой резьбы, гребенки раскрываются и головка отводится на ускоренном ходу, не повреждая нарезанную резьбу. Наиболее часто применяемой является схема обработки на резьбонарезном станке с самооткрывающимися вращающимися резьбонарезными головками при неподвижной заготовке. Станок, на котором установлена резьбонарезная головка, должен соответствовать повышенным требованиям по биению шпинделя и соосности детали и головки.

Методы формирования резьб фрезерованием, шлифованием, накатыванием и другими способами и инструментами достаточно широко освещены в литературе, а некоторые специальные резьбы (в зависимости от их служебного назначения и применения в системе **«Резьба ISO»**) и способы их формирования будут освещены в дальнейших публикациях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Обработка резьбы ИТЦ «Технополис 2100» // Оборудование, рынок, предложение, цены, Вып.2.–2003.–48с.
2. Режимы резания металлов: Справочник /Л.А. Брехман, А.И. Гдалевич и др. –М.: НИИТавтопром, 1995.–456с.
3. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник /В.И.Баранчиков, А.В. Жаринов и др. –М.: Машиностроение, 1990.–

100с. 4. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: в 2т. Т.2 /А.Д.Локтев, И.Ф.Гущин, Б.Н.Балашов и др. – М.: Машиностроение, 1991.–304с.

УДК 621.7.011.56

П.И. Сагайда

## **ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АСУ КЕРАМИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ**

*Донбасская государственная машиностроительная академия,  
Краматорск, Украина*

АСУ сложными технологическими комплексами (ТК), каковым является керамическое производство [1], в настоящее время работают в условиях нечетко определенных критериев эффективности функционирования и оптимизации управляемых процессов и систем управления, нечетких ограничений и неопределенных возмущений, вносимых окружающей ТК средой, недостоверными показаниями датчиков, учитываемыми и неучтенными помехами. Эффективно функционировать в таких условиях, быть адаптивными, а в некоторых случаях и просто сохранять работоспособность САУ могут лишь при условии их интеллектуализации на основе подсистем поддержки принятия решений и экспертных систем [2], а также других средств и методов искусственного интеллекта. Вместе с тем, общепринятая методология представления знаний о предметной области в экспертных системах в настоящее время отсутствует.

Вопрос выбора модели представления знаний часто сводится к нахождению баланса между декларативным («знать, что» — ДП) и процедурным представлением («знать, как» — ПП). ПП основано на предпосылке, что интеллектуальная деятельность есть знание о сущностях и о том, как можно использовать те или иные сущности; ДП — что интеллектуальная деятельность базируется на некотором универсальном множестве процедур, обрабатывающих факты любого типа [2]. Более подробно отличия, достоинства и недостатки двух подходов проанализированы в табл. 1. Необходимость в использовании достоинств ДП и ПП привело к использованию декларативных представлений с присоединенными процедурами. Как известно, фрейм — структура данных, предназначенная