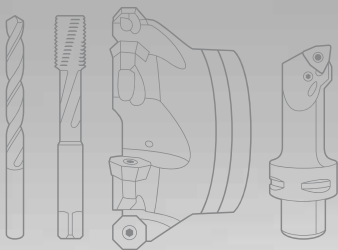


Walter AG

Derendinger Straße 53, 72072 Tübingen
Postfach 2049, 72010 Tübingen
Germany

www.walter-tools.com



ООО „Вальтер“

г. Санкт-Петербург

+7 (812) 334 54 56, service.ru@walter-tools.com

Walter Austria GmbH

Wien, Österreich

+43 (1) 5127300-0, service.at@walter-tools.com

РЕЗЬБОНАРЕЗНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ WALTER PROTOTYP

**Точность, надёжность,
экономическая
эффективность**



СОДЕРЖАНИЕ

Резьбонарезание

2 Алфавитный указатель

4 Общая информация

8 Обзор программы

9 Нарезание резьбы

12 Раскатывание резьбы

13 Резьбофрезерование

14 Информация об инструментах

14 Нарезание резьбы

28 Раскатывание резьбы

34 Резьбофрезерование

40 Выбор инструментов

40 Нарезание резьбы

44 Раскатывание резьбы

46 Резьбофрезерование

48 Техническая информация

48 Общая информация

74 Нарезание резьбы

94 Раскатывание резьбы

101 Резьбофрезерование

112 Приложение

Алфавитный указатель

	Стр.		Стр.
Дефекты обработки, нарезание резьбы	86, 91	Определение крутящего момента, резьбoreзание и раскатывание резьбы	118 - 119
Диаметр отверстия под резьбу, нарезание резьбы	114 - 115	Осевые дефекты обработки резьбы	87, 91
общая информация	70	Особенности, нарезание резьбы	84 - 85
раскатывание резьбы	70 - 71, 96 - 97, 116	Основные виды нарезание резьбы	74 - 75
резьбофрезерование	114 - 115	Отверстие под резьбу, общая информация	70
Допуски	50	нарезание резьбы	114 - 115
Искажение профиля резьбы	106	раскатывание резьбы	71, 96 - 97, 116
Конструктивные особенности, нарезание резьбы	81	резьбофрезерование	114 - 115
Контролируемое стружкообразование нарезание резьбы	90	Охлаждение масляным туманом	62 - 63
Коррекция подачи резьбофрезерование	103	Покрытия,	52 - 55
Методы обработки резьбы раскатывание резьбы	94 - 95	раскатывание резьбы	55
резьбофрезерование	101 - 105	Поперечное сечение стружки нарезание резьбы	77 - 78
Модификации при нарезании резьбы	88 - 89	Программирование станков с ЧПУ, резьбофрезерование	107 - 108
при раскатывании резьбы	98	Проблемы и способы их устранения нарезание резьбы	90 - 92
при резьбофрезеровании	109	раскатывание резьбы	99 - 100
Нарост	93	резьбофрезерование	110 - 111
Номенклатура	8	Программируемый радиус, резьбофрезерование	108
Обработка на станках с возможностью синхронного резьбонарезания	68 - 69	Процесс нарезания резьбы	79 - 80
Обработка без СОЖ, резьбофрезерование	59, 63	Программирование подачи, нарезание резьбы	87

	Стр.
Программа Walter GPS	5, 102 - 103, 107 - 108, 111
Paradur® Eco Cl.	10, 18
Paradur® Eco Plus.	9, 14 - 15
Paradur® HSC	11, 27
Paradur® HT.	10, 19
Paradur® Synchrospeed ...	9, 16 - 17
Paradur® Ti Plus	11, 24 - 25
Paradur® X-pert M.	10, 22 - 23
Paradur® X-pert P	10, 20 - 21
Protodyn® Eco LM.	12, 30
Protodyn® Eco Plus.	28
Protodyn® HSC	33
Protodyn® Plus	29
Protodyn® S Eco Inox.	12, 31
Protodyn® S Eco Plus.	12, 28
Protodyn® S HSC.	12, 33
Protodyn® S Plus.	12, 29
Protodyn® S Synchrospeed ...	12, 32
Prototex® Eco HT	9, 14 - 15
Prototex® HSC.	11, 26
Prototex® Synchrospeed ..	9, 16 - 17
Prototex® TiNi Plus.	11, 24 - 25
Prototex® X-pert M.	10, 22 - 23

	Стр.
Prototex® X-pert P	10, 20 - 21
Резьбонарезные патроны	64
Силы, действующие при резьбонарезании ...	86 - 87
Способы подвода СОЖ.	56 - 57
нарезание резьбы.	58
раскатывание резьбы ...	60 - 61
резьбофрезерование.	59
Сравнение геометрий нарезание резьбы.	82 - 83
Сравнение методов обработки резьбы.	48 - 49
Стратегии резьбофрезерования. .	104 - 105
Твёрдость обрабатываемого материала.	117
TMC	13, 34 - 35
TMD	13, 38 - 39
TME	13
TMG	13, 35
TMO	13, 36 - 37
TMO HRC	13, 37
Типы инструментов.	8
Увеличение твёрдости поверхностной зоны.	72
Формы заборного конуса нарезание резьбы.	76
Формулы.	112

Технологии, тенденции и инновации в нарезании резьбы

Существуют различные способы нарезания резьбы. Настоящее руководство посвящено **нарезанию, накатыванию и фрезерованию резьбы** с помощью инструментов Walter Prototyp. Кроме этого, в данном руководстве представлена общая техническая информация по вопросам резьбонарезания.

Нарезание резьбы метчиком – самый распространенный способ **резьбонарезания** обработки резьбы в глухих отверстиях. При разработке новых инструментов особое внимание уделяется высокой эксплуатационной надёжности, качеству и величине затрат на обработку одного отверстия.

Тщательный подход к вопросам усовершенствования микро- и макрогеометрии, а также покрытий наших инструментов позволяет гарантировать их высокую эксплуатационную надёжность даже при работе в неблагоприятных условиях. Используя наши высокопроизводительные инструменты серий Eco и Synchrospeed, Вы можете существенно сократить затраты на обработку каждого резьбового отверстия. Еще более значительного снижения затрат можно добиться, применяя твёрдосплавные инструменты. Твердосплавные инструменты устанавливают новые стандарты в том числе в обработке сталей. Эти инструменты идеально подходят



для использования в массовом производстве, например при изготовлении гаек, а также в автомобильной промышленности.

Раскатывание резьбы как способ обработки внутренней резьбы стремительно развивается в последние 20 лет. Если раньше при использовании раскатников в качестве СОЖ использовалось преимущественно масло, то сегодня, благодаря целенаправленному усовершенствованию геометрий и покрытий, практически все поддающиеся пластической деформации материалы (в том числе нержавеющие стали) могут обрабатываться на любом обрабатываемом центре с использованием 5%-ой эмульсии. При этом эмульсия способствует улучшению статической и, в особенности, динамической прочности обрабатываемой резьбы.

Лидирующие позиции для раскатников уже давно удерживают твёрдые сплавы. Сегодня мы можем достичь абсолютных высот с инструментами новой серии Protodyn® HSC.

Раскатывание резьбы зачастую является самым экономичным способом обработки внутренней резьбы, конечно, при условии, что данный метод подходит для конкретной детали.

Что касается эксплуатационной надёжности и качества резьбы, то лидирующие позиции занимает **Резьбофрезерование**. Помимо классических технологий обработки за последнее время особую популярность завоевало так называемое «орбитальное» **Резьбофрезерование**. Высочайшая эксплуатационная надёжность этого способа впервые позволила нарезать резьбу в глубоких (например, $3 \times D_N$) отверстиях малого диаметра (например, M1,6) даже в труднообрабатываемых материалах.

Важный совет: при выборе метода обработки резьбы используйте нашу новую программу **Walter GPS**, основанную на проверенной временем программе CCS. Она позволит вам сравнить все методы обработки и выбрать самый экономически-эффективный.

Walter Prototyp – инструменты для высокопроизводительной обработки

В современных условиях стало сложно увеличивать цену продукции из-за постоянно растущих производственных затрат. Повышение себестоимости – тенденция характерная для производителей и товаров широкого потребления, и оборудования. Успешные предприятия компенсируют постоянно увеличивающуюся разницу в доходах и расходах путем целенаправленного повышения производительности.

Как производитель металлорежущих инструментов мы можем немало способствовать этому, что наглядно демонстрирует диаграмма. Хотя расходы на инструмент составляют всего около 3 % от общих расходов на обработку, время обработки оценивается в 30 % от совокупных производственных затрат.

То есть, благодаря использованию эффективных металлорежущих инструментов Walter Prototyp можно существенно сократить расходы на обработку. Повышение режимов резания также ведёт к значительной экономии. Так как расходы на инструменты практически не влияют на общую структуру затрат, то критериями выбора инструментов Walter Prototyp следует выбирать не столько цену, сколько повышение производительности, а значит, получение экономической эффективности.

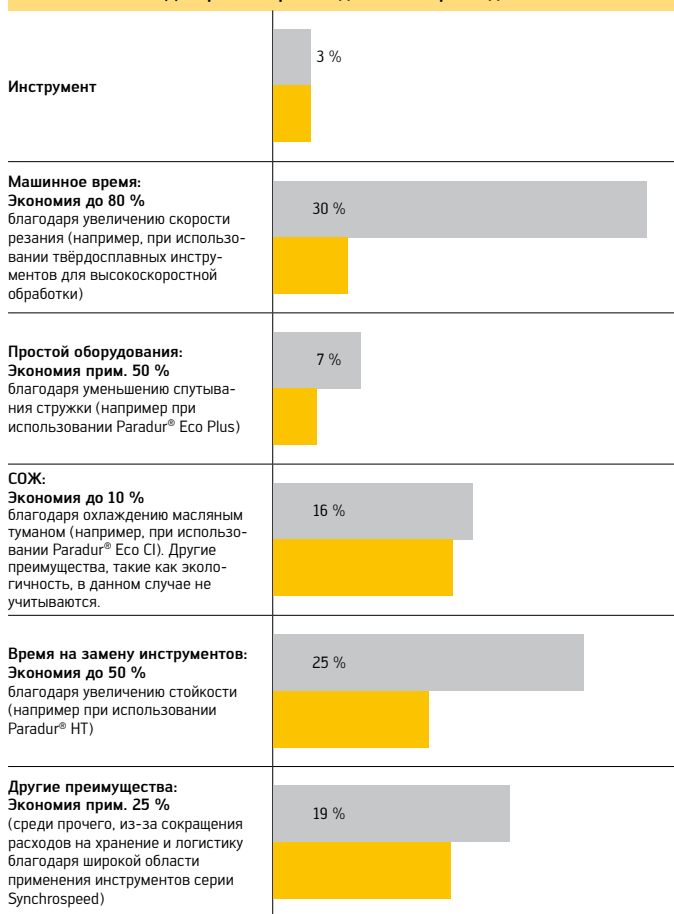
Мы активно дополняем линейку инструментов Walter Prototyp твёрдосплавными инструментами для высокоскоростной обработки (HSC). Поэтому, например, можно увеличить скорость резания при обработке резьбы твёрдосплавными метчиками в низкоуглеродистых сталях до 50 м/мин. Для резьбонарезания это значительный результат! Для особенно взыскательных заказчиков, ориентированных на достижение максимальной производительности, помимо твёрдосплавных инструментов Walter Prototyp предлагает также метчики, специально предназначенные для обработки на станках с возможностью синхронного резьбонарезания.

Диаграмма также демонстрирует, что охлаждение масляным туманом (MMS) – еще один фактор, снижающий производственные расходы при металлообработке. По этой причине Walter Prototyp предлагает своим заказчикам также инструменты со специально адаптированными покрытиями.

Несмотря на то, что доля чистых инструментальных расходов составляет всего 3 % от общих производственных затрат, выбор инструментов оказывает решающее влияние на остальные 97 %.

Наши специалисты продемонстрируют Вам возможность экономии при производстве продукции благодаря использованию инструментов Walter Prototyp.

Диаграмма производственных расходов



Общая
экономия до
45 %

■ существующая технология
■ инструмент Walter Prototyp

Инструменты для нарезания резьбы Walter Prototyp – ассортимент/типы инструментов

Нарезание резьбы*		
		
Prototex®... Метчики со спиральным заборным конусом	Paradur®... Метчики с правыми винтовыми стружечными канавками	Paradur®... Метчики с прямыми стружечными канавками

Раскатывание резьбы		Резьбофрезерование**
		
Protodyn®... Раскатники без канавок для СОЖ	Protodyn® S ... Раскатники с канавками для СОЖ	ТМ ... ТМ = резьбофрезы

* Исключения, нарезание резьбы:

- Paradur® N с формой заборного конуса D, а также Paradur® Combi: Инструменты с винтовыми стружечными канавками для нарезания резьбы в сквозных отверстиях
- Paradur® HT, Paradur® GG и Paradur® Engine: Инструменты с прямыми стружечными канавками для нарезания резьбы в глухих отверстиях (в материалах с хорошим стружколоманием)
- Метчики NPT/NPTF: метчики с правыми винтовыми стружечными канавками для обработки сквозных и глухих отверстий

** Исключения, резьбофрезерование:

- TME (Thread Mill External): инструмент для фрезерования наружной резьбы

Универсальные метчики

Типы инструментов	Страница в справочнике	Обработка	Глубина резьбы	Обрабатываемые материалы						
				Р	М	К	N	S	H	O
				Сталь	Нержавеющая сталь	Чугун	Цветные металлы	Жаропрочные сплавы	Материалы высокой твердости	Другие материалы
 Prototex® Eco HT – Универсальное применение – Для обработки с СОЖ и с охлаждением масляным туманом	14 + 15	DL	$3,5 \times D_N$	●●	●●	●●	●●	●		●
 Paradur® Eco Plus – Универсальное применение – Для обработки с СОЖ и с охлаждением масляным туманом – Преемник проверенного временем Paradur® Eco HT	14 + 15	GL	$3 \times D_N$	●●	●●	●●	●	●		●
 Prototex® Synchrospeed – Обработка на станках с возможностью синхронного резьбонарезания – Универсальное применение – Допуск на хвостовик h6	16 + 17	DL	$3,0 \times D_N$	●●	●●	●●	●●	●●		●
 Paradur® Synchrospeed – Обработка на станках с возможностью синхронного резьбонарезания – Универсальное применение – Допуск на хвостовик h6	16 + 17	GL	$2,5 \times D_N$	●●	●●	●●	●	●		●

GL = обработка глухих отверстий
 DL = обработка сквозных отверстий

●● Основная область применения
 ● Возможная область применения

Специализированные метчики

Обрабатываемые материалы

Типы инструментов	Страница в справочнике	Обработка	Глубина резьбы	P Сталь	M Нержавеющая сталь	K Чугун	N Цветные металлы	S Жаропрочные сплавы	H Материалы высокой твердости	O Другие материалы
 Paradur® Eco CI – Для короткостружечных материалов – Для обработки с СОЖ и с охлаждением масляным туманом	18	GL + DL	$3 \times D_N$			••	••			••
 Paradur® HT – Для сталей средней и высокой прочности, а также материалов, дающих сегментную стружку – Требуется внутренний подвод СОЖ	19	GL	$3,5 \times D_N$	••		••	•			•
 Prototex® X-pert P – Для материалов низкой и средней твердости	20 + 21	DL	$3 \times D_N$	••			•			•
 Paradur® X-pert P – Для материалов низкой и средней твердости	20 + 21	GL	$3,5 \times D_N$	••			•			•
 Prototex® X-pert M – Для нержавеющей сталей и сталей повышенной прочности	22 + 23	DL	$3 \times D_N$	•	••					
 Paradur® X-pert M – Для нержавеющей сталей и сталей повышенной прочности	22 + 23	GL	$2,5 \times D_N$	•	••					

Обрабатываемые материалы

Типы инструментов	Страница в справочнике	Обработка	Глубина резьбы	П Сталь	М Нержавеющая сталь	К Чугун	N Цветные металлы	S Жаропрочные сплавы	H Материалы высокой твёрдости	O Другие материалы
 Prototex® TiNi Plus – Для обработки высокопрочных и склонных к проявлению остаточных упругих деформаций титановых и никелевых сплавов с использованием эмульсии	24 + 25	DL	2 x D _N					●●		
 Paradur® Ti Plus – Для обработки высокопрочных и склонных к проявлению остаточных упругих деформаций титановых сплавов с использованием эмульсии	24 + 25	GL	2 x D _N					●●		
 Prototex® HSC – Для высокопрочных сталей и сталей повышенной прочности – Допуск на хвостовик h6 – Требуется внутренний подвод СОЖ – Твёрдый сплав	26	DL	2 x D _N	●●		●●				
 Paradur® HSC – Для высокопрочных сталей и сталей с высокой прочностью на разрыв до 55 HRC – Допуск на хвостовик h6 – Требуется внутренний подвод СОЖ – Твёрдый сплав	27	GL	2 x D _N	●●		●●			●●	

GL = обработка глухих отверстий
 DL = обработка сквозных отверстий

●● Основная область применения
 ● Возможная область применения

Раскатники

Обрабатываемые материалы

Типы инструментов	Страница в справочнике	Обработка	Глубина резьбы	P Сталь	M Нержавеющая сталь	K Чугун	N Цветные металлы	S Жаропрочные сплавы	H Материалы высокой твёрдости	O Другие материалы
 Protodyn® S Eco Plus* – Для универсального применения – Более высокая производительность по сравнению с Protodyn® S Plus – Для обработки с СОЖ и с охлаждением масляным туманом	28	GL + DL	3,5 x D _N	••	••		••	•		
 Protodyn® S Plus* – Для универсального применения	29	GL + DL	3,5 x D _N	••	••		••	•		
 Protodyn® Eco LM – Со смазывающей способностью для мягких материалов	30	GL + DL	2 x D _N	•			••	••		
 Protodyn® S Eco Inox* – Специально для обработки нержавеющих сталей с эмульсией	31	GL + DL	3,5 x D _N	•	••		•	•		
 Protodyn® S Synchropeed* – Для универсального применения – Для обработки на станках с возможностью синхронного резьбонарезания – Допуск на хвостовик h6	32	GL + DL	3,5 x D _N	••	••		••	•		
 Protodyn® S HSC* – Для обеспечения высоких скоростей обработки – Допуск на хвостовик h6 – Твёрдый сплав	33	GL	3,5 x D _N	••	•		••	•		

* Исполнение с канавками для СОЖ (буква «S» в обозначении)

Резьбофрезы

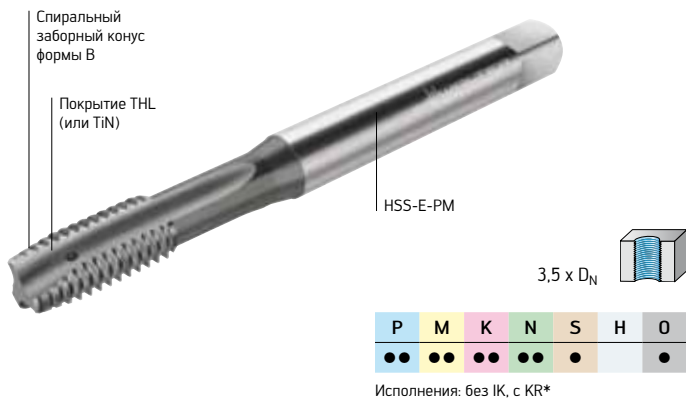
Обрабатываемые материалы

Типы инструментов	Страница в справочнике	Обработка	Глубина резьбы	Р	М	К	N	S	H	O
				Сталь	Нержавеющая сталь	Чугун	Цветные металлы	Жаропрочные сплавы	Материалы высокой твёрдости	Другие материалы
 Резьбофрезы ТМС – С фаскообразующей ступенью для универсального применения	34 + 35	GL + DL	$2 \times D_N$	●●	●●	●●	●●	●●		●
 Резьбофрезы TMG – Без фаскообразующей ступени – Для универсального применения	35	GL + DL	$1,5 \times D_N$ $2 \times D_N$	●●	●●	●●	●●	●●		●
 Орбитальные резьбофрезы ТМО – Универсальные фрезы для глубокой резьбы малого диаметра	36 + 37	GL + DL	$2 \times D_N$ $3 \times D_N$	●●	●●	●●	●●	●●		●
 Орбитальные резьбофрезы ТМО HRC – Для обработки глубокой резьбы малого диаметра в закалённых материалах до 65 HRC	37	GL + DL	$2 \times D_N$	●●				●	●●	●
 Свёрла-резьбофрезы TMD – Для обработки алюминия и серого чугуна	38 + 39	GL + DL	$2 \times D_N$			●●	●●			
 Резьбофрезы TME 20 – Для наружной резьбы	–	Наружная резьба	$2 \times D_N$	●●	●●	●●	●●	●●		●

GL = обработка глухих отверстий
DL = обработка сквозных отверстий

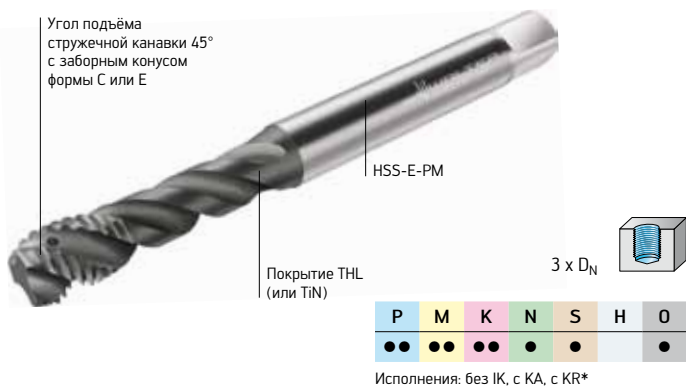
●● Основная область применения
● Возможная область применения

Высокая технологичность и универсальность



Prototex® Eco HT

Тип: E2021342



Paradur® Eco Plus

Тип: EP2051312

Инструмент

- Универсальный высокопроизводительный метчик
- Износостойкое покрытие TiN, препятствующее наростообразованию и гарантирующее высокую стойкость

Prototex® Eco HT:

- Специальный спиральный заборный конус формы В, обеспечивающий высокую эксплуатационную надёжность

Paradur® Eco Plus:

- Низкая склонность к образованию сколов благодаря калибрующей части с обратной конусностью
- Возможность нарезания резьбы на всю глубину отверстия в исполнении с заборным конусом формы Е

Область применения

- Обработка материалов, дающих сливную и сегментную стружку, с пределом прочности от 200 Н/мм² до 1300 Н/мм²
- Подходит для обработки на станках с возможностью синхронного резьбо-нарезания и обработки с использованием патронов с компенсацией

Преимущества

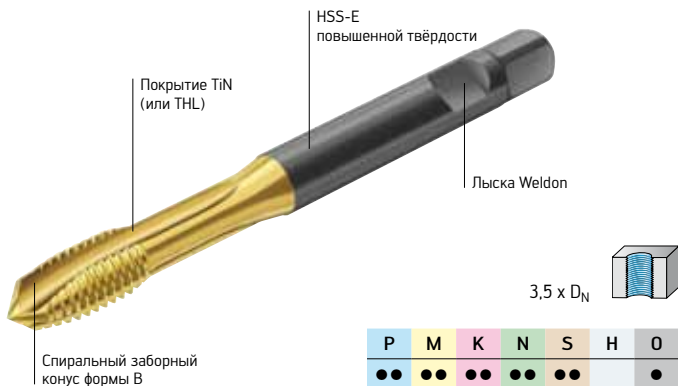
- Сокращение номенклатуры используемых инструментов благодаря широкой области применения
- Увеличение производительности за счёт высокой скорости резания и стойкости
- Специальная геометрия, обеспечивающая эксплуатационную надёжность даже при обработке мягких материалов
- Возможна обработка с охлаждением масляным туманом

* IK = внутренний подвод СОЖ

KA = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

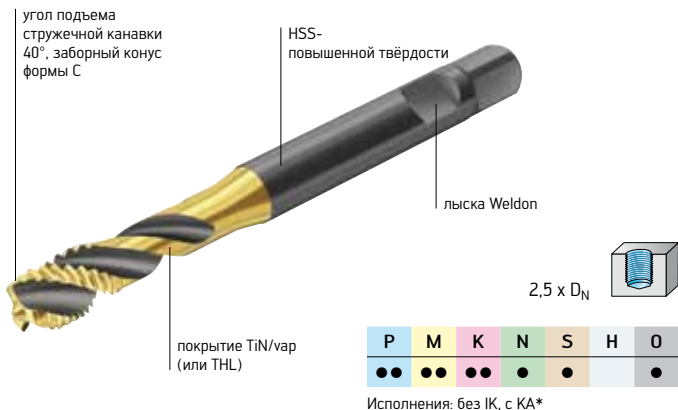
KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Универсальность и износостойкость



Prototex® Synchrospeed

Тип: S2021305



Paradur® Synchrospeed

Тип: S2051305

Инструмент

- Большой угол затылования и короткая калибрующая часть для максимальной скорости резания
- Допуск на хвостовик h6 (например, для использования в патронах с термозажимом)
- Диаметр хвостовика адаптирован к стандартному патрону с термозажимом

Особенности

Paradur® Synchrospeed:

- Исполнение с покрытием TiN/var: стружечные канавки с паротермической обработкой для оптимального формирования и отвода стружки; покрытие TiN для увеличения износостойкости
- Стандартное исполнение с осевыми каналами для внутреннего подвода СОЖ

Совет:

При обработке на станках с возможностью синхронного резьбонарезания рекомендуется использовать зажимные патроны с минимальной компенсацией, например, Protoflex C (преимущество: увеличение стойкости и эксплуатационной надёжности).

Область применения

- Возможность применения на станках с возможностью синхронного резьбонарезания (не подходит для патронов с компенсацией или режущих аппаратов)
- Универсальный инструмент для обработки материалов, дающих сливную и сегментную стружку

Prototex® Synchrospeed:

- Возможность обработки материалов с пределом прочности до 1400 Н/мм²

Paradur® Synchrospeed:

- Возможность обработки материалов с пределом прочности до 1300 Н/мм²

Преимущества

- Увеличение производительности за счёт высокой скорости резания и стойкости
- Снижение инструментальных затрат благодаря универсальному применению при обработке материалов, дающих сливную и сегментную стружку
- Отличное качество обработанной поверхности благодаря очень острым режущим кромкам инструмента
- Отсутствие дефектов резьбы при обработке на станках с возможностью синхронного резьбонарезания

* IK = внутренний подвод СОЖ

KA = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Высокоскоростная обработка материалов, дающих сегментную стружку



Paradur® Eco Cl

Тип: E2031416

Инструмент

- Инновационное покрытие Xtra-treat для улучшения износостойкости при обработке абразивных материалов
- Увеличенное количество зубьев для снижения нагрузки на режущие кромки и получения короткой стружки
- Класс точности 6HX для максимальной стойкости
- Осевые или радиальные каналы для СОЖ для оптимального отвода стружки при нарезании резьбы в глухих и сквозных отверстиях

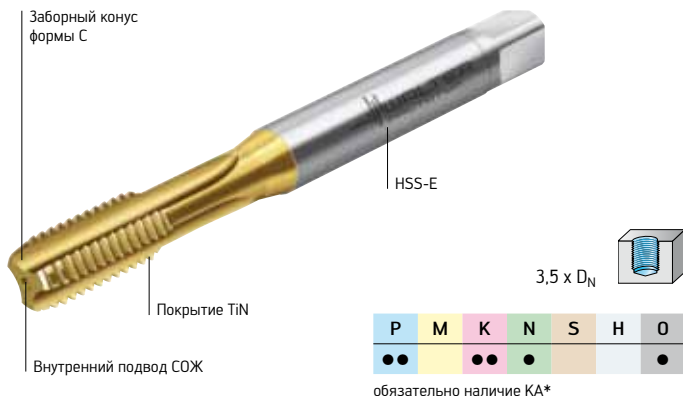
Область применения

- Нарезание резьбы в короткостружечных материалах
- ISO K: преимущественно для обработки материалов GJL (C4), GJS (B4) при глубине резьбы макс. 2 x D_N, чугуна с вермикулярным графитом (например, GJV450)
- ISO N: магниевые сплавы, а также алюминиевые сплавы с содержанием кремния > 12 %

Преимущества

- Минимальные производственные расходы благодаря высокой скорости резания и стойкости
- Равномерный износ, обеспечивающий высокую эксплуатационную надёжность
- Снижение инструментальных затрат благодаря возможности обработки как глухих, так и сквозных отверстий
- Возможна обработка с охлаждением масляным туманом

Высокая производительность, оптимальное стружколомание



Paradur® HT

Тип: 2031115

Инструмент

- Специальная геометрия режущих кромок для получения короткой стружки даже при обработке материалов, дающих сливную стружку
- Осевые каналы для СОЖ и прямые стружечные канавки для оптимального отвода короткой стружки
- Увеличенный угол затылования для более высокой скорости резания
- Стандартное исполнение с удлиненными стружечными канавками

Область применения

- Нарезание резьбы в глухих отверстиях в материалах, дающих сливную и сегментную стружку
- ISO P: стали с пределом прочности 600 – 1400 Н/мм²,
- ISO K: серый чугун (СЧ)
- ISO N: алюминиевые сплавы с содержанием кремния > 12 %, медные и магниевые сплавы

Преимущества

- Более высокая скорость резания и стойкость по сравнению с обычными метчиками для обработки глухих отверстий
- Предотвращение спутывания стружки и, следовательно, сокращение времени простоя станка
- Высокая эксплуатационная надёжность даже при обработке глубоких отверстий
- Инструменты для нарезания резьбы в отверстиях большого диаметра в стандартной программе

- Характерные области применения:
 - Автомобильная промышленность (распределительные валы, коленвалы, шатуны)
 - Нарезание резьбы в отверстиях большого диаметра (общее машиностроение, валы коробов передач, картеры и т.д.)

* IK = внутренний подвод СОЖ

КА = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Широкий ассортимент, высокая экономическая эффективность



Prototex® X-pert P

Тип: P2031005



Paradur® X-pert P

Тип: P2051905

Инструмент

- Малый угол затылования режущего зуба, предотвращающий появление дефектов при обработке мягких материалов

Prototex® X-pert P

- Исполнения с меньшим количеством канавок в стандартной программе

Paradur® X-pert P

- Длинные стружечные канавки для нарезания резьбы в глубоких отверстиях
- Калибрующая часть с обратной конусностью, предотвращающая появление сколов

Область применения

Prototex® X-pert P

- ISO P:
 - исполнение с 3 зубьями: обработка материалов с пределом прочности $< 1000 \text{ Н/мм}^2$
 - исполнение с 2 зубьями: обработка материалов с пределом прочности $< 700 \text{ Н/мм}^2$ (до М6)
- ISO N: алюминиевые сплавы с содержанием кремния от 0,5 до 12 %
- исполнение с уменьшенным количеством канавок, обеспечивающее отличное стружкообразование и поэтому идеально подходящее для обработки мягких длинностружечных материалов (в том числе мягких конструкционных сталей, например Ст35)

Paradur® X-pert P

- ISO P: сталь с пределом прочности $< 1000 \text{ Н/мм}^2$, преимущественно в материалах, дающих сливную стружку
- ISO N: алюминиевые сплавы с содержанием кремния от 0,5 до 12 %

Преимущества

- Экономическая эффективность при мелко- и среднесерийном производстве
- Универсальность и сжатые сроки поставки благодаря широкому ассортименту (на складе метчики для резьбы различных профилей, размеров и классов точности)
- Отличное качество обработки благодаря большому переднему углу

Высокая эксплуатационная надёжность при обработке нержавеющей стали



Спиральный заборный
конус формы В

P	M	K	N	S	H	O
●	●●					

Prototex® X-pert M

Тип: M2021306



Угол подъема стружечной канавки 40°,
заборный конус формы С

P	M	K	N	S	H	O
●	●●					

Paradur® X-pert M

Тип: M2051306

Инструмент

- Увеличенный диаметр сердцевины для нарезания резьбы высокой точности и надёжное удаление заусенцев в резьбовом отверстии, что особенно важно при обработке нержавеющей сталей
- Увеличенный угол затылования режущего зуба для обработки материалов, склонных к проявлению остаточных упругих деформаций

Особенности Paradur® X-pert M:

- Калибрующая часть с обратной конусностью для предотвращения сколов

Область применения

- ISO M: нержавеющие стали с пределом прочности от 350 до 1200 Н/мм²
- ISO P: прекрасно подходит для обработки сталей с пределом прочности от 700 до 1200 Н/мм²

Преимущества

- Высокая эксплуатационная надёжность при обработке материалов, дающих сливную стружку, а также материалов, склонных к проявлению остаточных упругих деформаций
- Высокая экономическая эффективность при мелко- и среднесерийном производстве
- Универсальность и сжатые сроки поставки благодаря широкому ассортименту (постоянно на складе метчики для резьбы различных профилей, размеров и классов точности)
- Сокращение номенклатуры используемых инструментов благодаря возможности обработки материалов из групп обрабатываемости ISO M и ISO P

Прочность для обработки титановых сплавов



Prototex® TiNi Plus

Тип: 2021763



Paradur® Ti Plus

Тип: 2041663

Инструмент

- Геометрия, специально разработанная для обработки жаропрочных сплавов с **эмульсией**
- Очень большой угол затылования режущего зуба для уменьшения трения при обработке материалов, склонных проявлению остаточных упругих деформаций
- Возможность обработки закалённых материалов благодаря малому переднему углу
- Износостойкое покрытие ACN без содержания титана, снижающее вероятность образования нароста

Область применения

- Возможность применения в аэрокосмической и медицинской промышленности
- Специально предназначен для обработки высокопрочных титановых сплавов и титановых сплавов, склонных к проявлению остаточных упругих деформаций, с пределом прочности от 700 до 1400 Н/мм²

Преимущества

- Возможность использования эмульсии вместо масла
- Высокая эксплуатационная надёжность благодаря отличной прочности инструмента
- Высокая стойкость благодаря инновационному износостойкому покрытию и прочным режущим кромкам
- Отличное качество резьбы

Высокая стойкость, максимальная скорость резания



Prototex® HSC

Тип: 8021006

Инструмент

- Специальный твёрдый сплав с высокой износостойкостью и одновременно высокой прочностью
- Увеличенная стойкость благодаря большому числу зубьев
- Допуск на хвостовик h6 (например, для использования в патронах с термозажимом)

Область применения

- ISO P: стали с пределом прочности от 700 до 1400 Н/мм²
- ISO K: преимущественно высокопрочный чугун (ВЧ)
- Минимальные затраты на обработку резьбового отверстия в крупносерийном производстве
- Инструменты для массового производства, ориентированные на увеличение производительности

Преимущества

- Минимальные производственные расходы и максимальная производительность благодаря трёхкратному увеличению скорости резания по сравнению с метчиками из быстрорежущей стали HSS-E
- Оптимальная загрузка оборудования благодаря высокой стойкости инструментов

Необходимые условия:

- Внутренний подвод СОЖ
- Жёсткая система СПИД
- Современные обрабатывающие центры или автоматические линии
- При обработке на станках с возможностью синхронного резьбонарезания твёрдосплавными инструментами рекомендуется использовать зажимные патроны с минимальной компенсацией (например Protoflex C) (это способствует увеличению стойкости и эксплуатационной надёжности)



Paradur® HSC

Тип: 8041056

Инструмент

- Специальная геометрия заборного конуса и уменьшенный угол подъёма стружечной канавки для получения короткой стружки даже при обработке длинностружечных материалов
- Допуск на хвостовик h6 (например, для использования в патронах с термозажимом)

Область применения

- ISO P/H: стали с пределом прочности от 700 Н/мм² до 55 HRC
- ISO K: чугуны, например: BV40, GJV450, ADI800
- Минимальные затраты на обработку резьбового отверстия в крупносерийном производстве
- Инструменты для массового производства, предназначенные на увеличение производительности

Преимущества

- Минимальные производственные расходы и максимальная производительность благодаря трёхкратному увеличению скорости резания по сравнению с метчиками из быстрорежущей стали HSS-E
- Более редкая замена инструмента и оптимальная загрузка оборудования благодаря высокой стойкости
- Высокая эксплуатационная надёжность благодаря оптимальному стружколоманию

Необходимые условия:

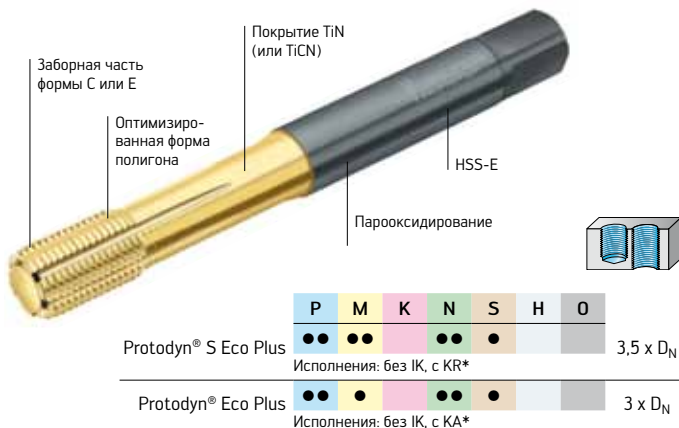
см. Prototex® HSC, стр. 26

* IK = внутренний подвод СОЖ

КА = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Высокотехнологичный раскатник



Protodyn® S Eco Plus

Тип: EP2061745

Инструмент

- Новое покрытие TiN и дополнительное пароокисление для максимальной стойкости без налипания стружки
- Инновационная геометрия заборного конуса, обеспечивающая оптимальную нагрузку и равномерный износ
- Специальное покрытие и оптимизированная форма полигона для более высокой стойкости за счёт уменьшения трения (важно при обработке с охлаждением масляным туманом)
- Исполнения с радиальными каналами для СОЖ для обработки резьбы в глубоких отверстиях

Преимущества

- Более редкая замена инструмента, оптимальная нагрузка оборудования и увеличенная производительность благодаря высокой скорости накатывания и стойкости
- Снижение расходов на охлаждение благодаря возможности обработки с охлаждением масляным туманом
- Более высокая производительность по сравнению с Protodyn® S Plus

Область применения

- Универсальный высокопроизводительный раскатник для обработки материалов, поддающихся пластической деформации, с пределом прочности до 1200 Н/мм²
- Исполнение с покрытием TiCN, специально предназначенное для обработки углеродистых сталей и абразиво-содержащих алюминиевых сплавов

Низкие инструментальные затраты, хорошая производительность



	P	M	K	N	S	H	O	
Protodyn® S Plus	●●	●●		●●	●			3,5 x D _N
Protodyn® Plus	●●	●		●●	●			3 x D _N

Protodyn® S Plus

Тип: DP2061705

Инструмент

- Иновационная геометрия заборного конуса, обеспечивающая оптимальную силу резания и равномерный износ
- Оптимизированная форма полигона для уменьшения трения и увеличения стойкости

Область применения

- Универсальный инструмент для обработки материалов, поддающихся пластической деформации, с пределом прочности до 1200 Н/мм²

Преимущества

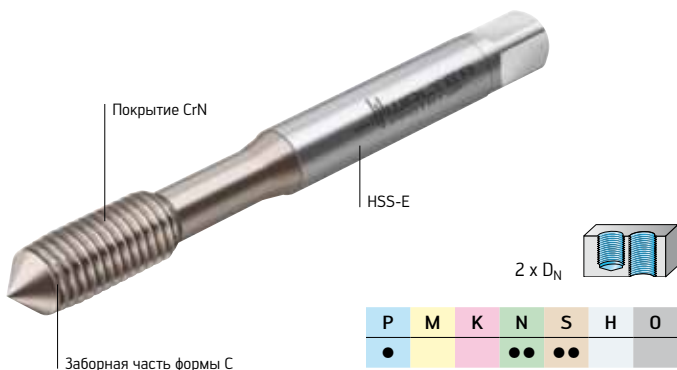
- Более низкая закупочная цена (и более низкая производительность) по сравнению с Protodyn® S Eco Plus
- Сокращение номенклатуры используемых инструментов благодаря возможности обработки широкого спектра материалов

* IK = внутренний подвод СОЖ

KA = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Эффективное решение для мягких материалов



Protodyn® Eco LM

Тип: E2061604

Инструмент

- Покрытие CrN без содержания титана

Примечание:

При накатывании резьбы глубиной более двух диаметров рекомендуется использовать метчики с канавками для СОЖ. Доработка инструмента может быть выполнена в кратчайшие сроки.

Преимущества

- Более высокая эксплуатационная надёжность и стойкость благодаря минимальной склонности к наростообразованию
- Возможность обработки алюминиевых деформируемых сплавов и литейных сплавов с **эмульсией** вместо масла

Область применения

- Для длинностружечных и мягких материалов, а также материалов со смазывающей способностью
- Для материалов с пределом прочности от 200 до 700 Н/мм²
- ISO N: алюминиевые сплавы с содержанием кремния до 12 %, а также длинностружечные медные сплавы
- ISO S: титановые сплавы с пределом прочности до 1100 Н/мм² (при использовании масла «heavy duty»)
- Прекрасно подходит для обработки с малым количеством СОЖ, является альтернативой раскатникам с покрытиями TiN или TiCN, проявляющим повышенную склонность к налипанию
- Подходит для обработки с охлаждением масляным туманом

Специалист в обработке нержавеющей стали



Protodyn® S Eco Inox

Тип: E2061305

Инструмент

- Специальная форма полигона, позволяющая обрабатывать нержавеющие стали с **эмульсией**

Область применения

- Обработка нержавеющей стали с эмульсией

Преимущества

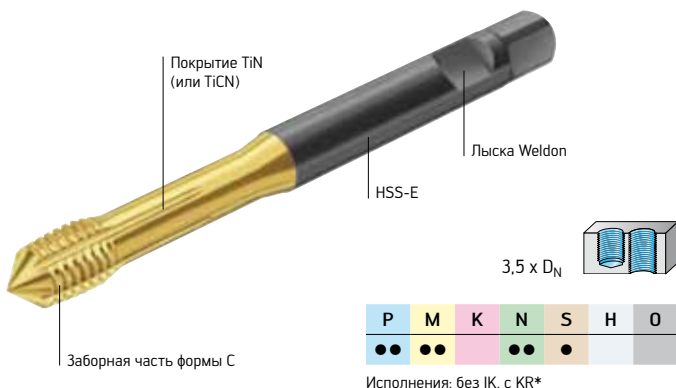
- Уменьшение времени обработки нержавеющей стали благодаря полностью автоматизированному процессу
- Состав эмульсии не изменяется, так как масло не добавляется

Примечание:

Обычно для раскатывания резьбы в нержавеющей сталях используется масло, а в современных станках - в основном эмульсия. Перед раскаткой резьбы надо остановить станок, чтобы вручную залить масло в резьбовое отверстие. При этом, кроме увеличения времени обработки, возможно изменение состава эмульсии из-за добавления масла.

- Возможность обработки материалов, поддающихся пластической деформации, хотя и с более низкой производительностью по сравнению с универсальными раскатниками

Универсальность и эффективность при синхронном резбонарезании



Protodyn® S Synchrospeed

Тип: S2061305

Инструмент

- Короткая калибрующая часть для уменьшения трения и обеспечения высокой скорости накатывания
- Исполнения с радиальными каналами для СОЖ для обработки резьбы в глубоких отверстиях
- Допуск на хвостовик h6 (например, для использования в патронах с термозажимом)

Область применения

- Для станков с возможностью синхронного резбонарезания; не подходит для плавающих патронов и быстросменных цанг
- Универсальный инструмент для обработки материалов, поддающихся пластической деформации, с пределом прочности до 1200 Н/мм²
- Подходит для обработки с охлаждением масляным туманом
- Обычно рекомендуется использовать зажимные патроны с минимальной компенсацией, например, Protoflex C (преимущество: увеличение стойкости и эксплуатационной надёжности).

Преимущества

- Отличная производительность благодаря высокой скорости раскатывания
- Сокращение складских расходов благодаря универсальному применению
- Возможность использования простых, надёжных зажимных патронов без функции компенсации

Высокая стойкость, максимальная скорость резания



	P	M	K	N	S	H	O	
Protodyn® S HSC	●●	●	●●	●●	●			4 x D _N 
Исполнения: с осевым каналом СОЖ*								
Protodyn® HSC	●●	●	●●	●●	●			3 x D _N 
Исполнения: без ИК*								

Protodyn® S HSC

Тип: HP8061716

Инструмент

- Оптимизированная форма полигона, снижающая трение и увеличивающее стойкость
- Оригинальная геометрия заборного конуса, обеспечивающая равномерный износ
- Допуск на хвостовик h6 (например, для использования в патронах с термозажимом)

Protodyn® S HSC:

- канавки для СОЖ и осевой подвод СОЖ для нарезания резьбы в глубоких глухих отверстиях до 4 x D_N

Область применения

- ISO P: сталь с пределом прочности до 1200 Н/мм²
- ISO M: нержавеющая сталь с пределом прочности до 1000 Н/мм² (предпочтительнее использовать масло)
- ISO N: алюминиевые сплавы с содержанием кремния до 12%, а также никелевые сплавы с пределом прочности ниже 900 Н/мм²

Преимущества

- Отличная производительность благодаря увеличенной скорости накатывания
- Более редкая замена инструмента благодаря очень высокой стойкости
- Прекрасное соотношение цены и производительности при применении в крупносерийном производстве
- Обработка резьбы на всю глубину отверстия из-за отсутствия заборного конуса

* ИК = внутренний подвод СОЖ

КА = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Универсальные фрезы с фаскообразующей ступенью



Твёрдосплавные резьбофрезы TMC – Thread Mill Countersink

Тип: H5055016

Инструмент

- Твёрдосплавные резьбофрезы с фаскообразующей ступенью
- Минимальный допуск на concentricity ($< 10 \text{ мкм}$) для превосходного качества резьбы и высокой стойкости

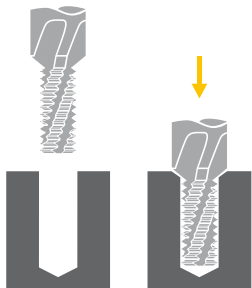
Область применения

- Обработка большинства материалов с пределом прочности до 1500 Н/мм^2 или 48 HRC

Преимущества

- Большая стойкость и высокие режимы резания благодаря улучшенному субстрату
- Оптимизированная геометрия для плавного и мягкого резания

Стратегия обработки:

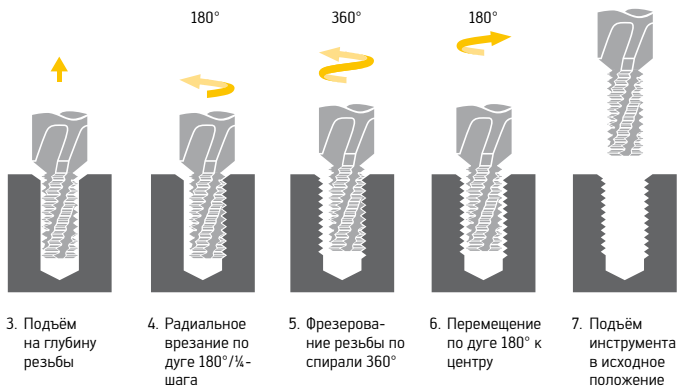




Примечание:

Если не требуется обрабатывать фаску, то рекомендуется использовать резбодфрезы серии **TMG**.
Области применения резбодфрез TMC и TMG совпадают. Стандартная программа включает резбодфрезы TMC, начиная с размера M3, и резбодфрезы TMG, начиная с M6.

Обработка резбодфрезами TMC

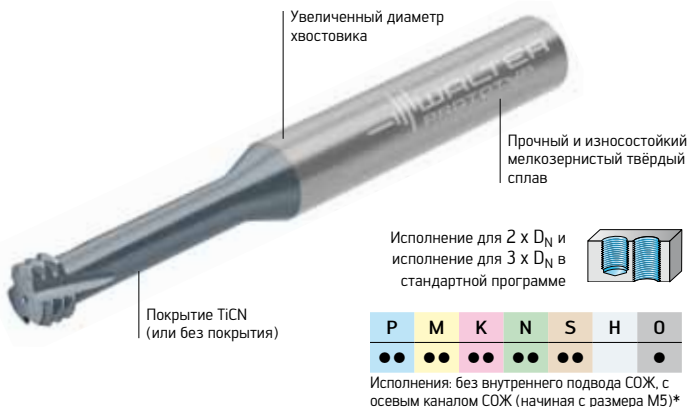


* IK = внутренний подвод СОЖ

КА = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Высокая эксплуатационная надёжность при фрезеровании резьбы малого диаметра



Орбитальные резьбофрезы TMO – Thread Mill Orbital

Тип: H5087016

Инструмент

- Короткая режущая часть, малый угол подъёма стружечной канавки и положительный передний угол для уменьшения усилий и мягкого резания
- Большой диаметр хвостовика для предотвращения вибрации и обеспечения стабильности при большом вылете инструмента
- Прочная базовая конструкция с большим диаметром сердцевины

Область применения

- Универсальный инструмент для обработки большинства материалов с пределом прочности до 1500 Н/мм^2 или 48 HRC
- Отличные результаты даже при обработке высокопрочных и материалов, склонных к проявлению остаточных упругих деформаций (например, высокопрочные нержавеющие стали и титановые сплавы)

Преимущества

- Высокая стойкость благодаря реализации инновационной стратегии фрезерования
- Возможность обработки глубоких резьб малого диаметра (например, M1,6, глубиной $3 \times D_N$) с высокой эксплуатационной надёжностью
- Рекомендуется применять, когда возможности обычных инструментов ограничены:
 - Обработка жаропрочных сплавов, например Inconel
 - Нарезание резьбы в глубоких отверстиях
 - Получение резьбы без конусности, которая может возникать при обработке обычными резьбофрезами



Примечание:

Орбитальные резцофрезы предлагаются также в исполнении TMO HRC. Они специально предназначены для обработки закалённых и высокопрочных материалов.

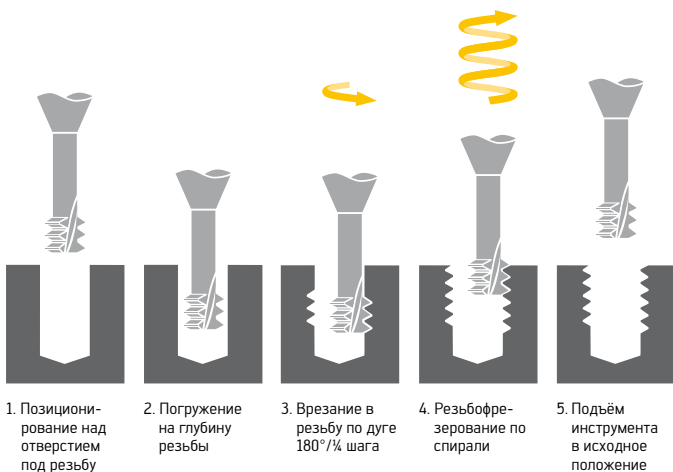
Основная область применения: закалённые стали до 65 HRC, стали и легированные стали с пределом прочности от 1400 до 1600 Н/мм²

P	M	K	N	S	H	O
●●				●	●●	●



Стратегия обработки:

Орбитальные резцофрезы TMO



* IK = внутренний подвод СОЖ

КА = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

Сверление, обработка заходной фаски и нарезание резьбы одним инструментом



Твёрдосплавные свёрла-резьбофрезы TMD – Thread Mill Drill

Тип: H5075018

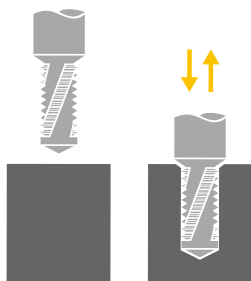
Инструмент

- Твёрдосплавные свёрла-резьбофрезы
- Длина режущей части и фаскообразующая ступень адаптированы к глубине резьбы 2 x D_N
- Покрытие TAX для материалов ISO K
- Покрытие NHC для материалов ISO N

Область применения

- ISO K: чугуны, например C425 (в исключительных случаях возможна обработка высокопрочных чугунов, что потребует изготовления специальных фрез с удвоенным количеством режущих зубьев)
- ISO N: литой алюминий с содержанием кремния от 7 %; короткостружечные медные и магниевые сплавы
- Нарезание резьбы в литых заготовках без предварительной обработки

Стратегия обработки:



Преимущества

- Экономически эффективный метод при обработке менее 8 однотипных резьбовых отверстий на деталь по сравнению с традиционными инструментами**
- Увеличение производительности благодаря сокращению времени обработки до 50 %
- Экономия места в инструментальном магазине
- Высокая concentricность отверстия под резьбу и резьбы

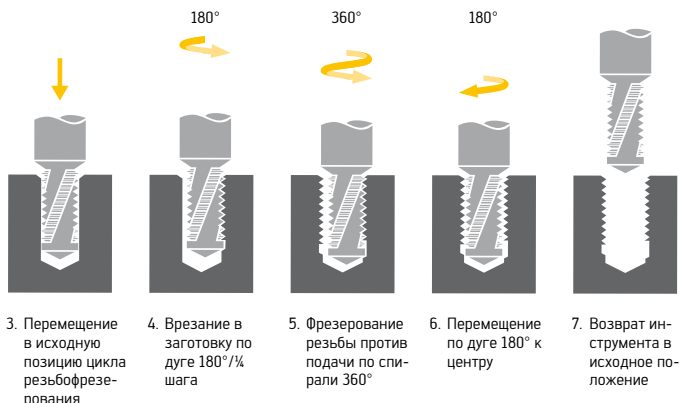
Совет:

Используйте свёрла-резьбофрезы, когда параметры одного резьбового отверстия отличаются остальных отверстий детали.

Пример: необходимо обработать 13 резьбовых отверстий. 12 – размера М8 и 1 – размера М6. Вместо использования сверла для отверстия под резьбу и инструмента для нарезания резьбы, выгоднее применять сверло-резьбофрезу.

** Экономическая эффективность зависит от времени «от стружки до стружки».

Свёрла-резьбофрезы TMD с фаскообразующей ступенью

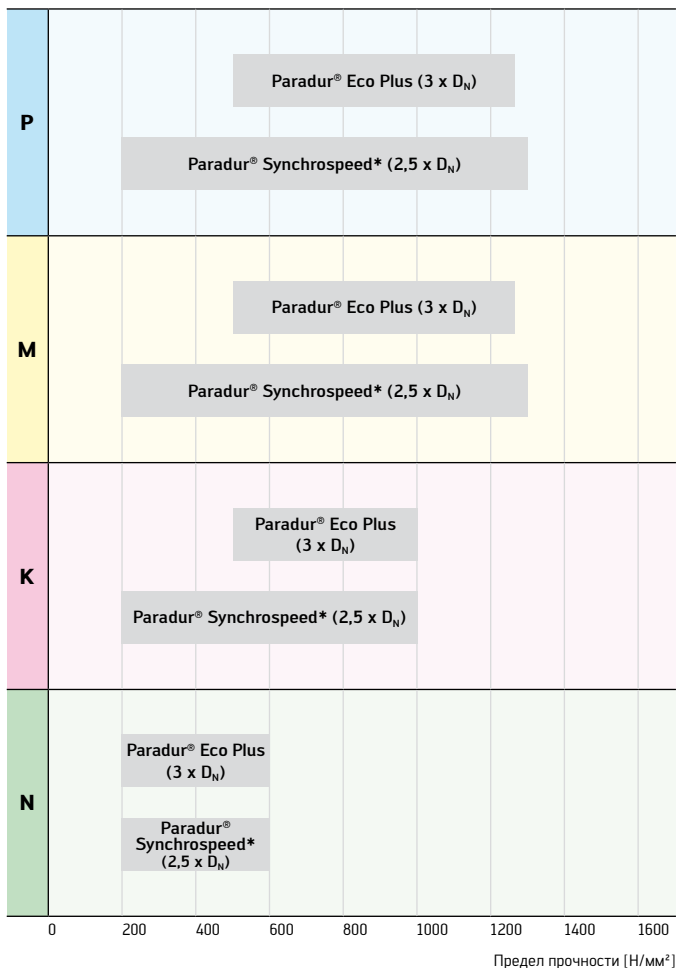


* ИК = внутренний подвод СОЖ

КА = внутренний подвод СОЖ по осевым каналам

KR = внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам

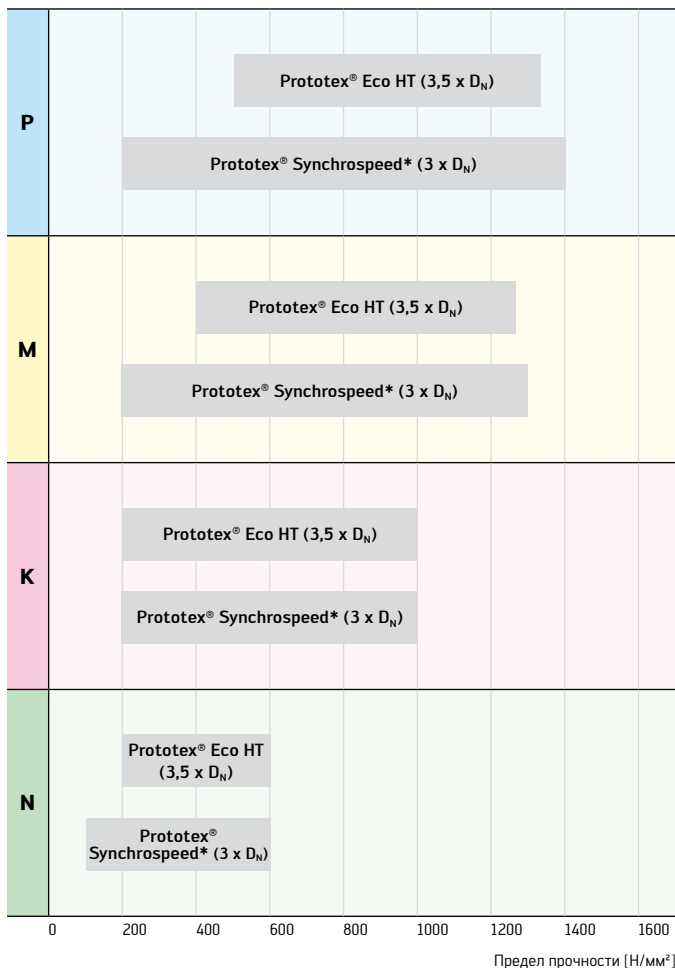
Универсальные метчики для нарезания резьбы в глухих отверстиях



Инструментальный материал – быстрорежущая сталь HSS-E или HSS-E-PM

* только для обработки на станках с возможностью синхронного резьбонарезания

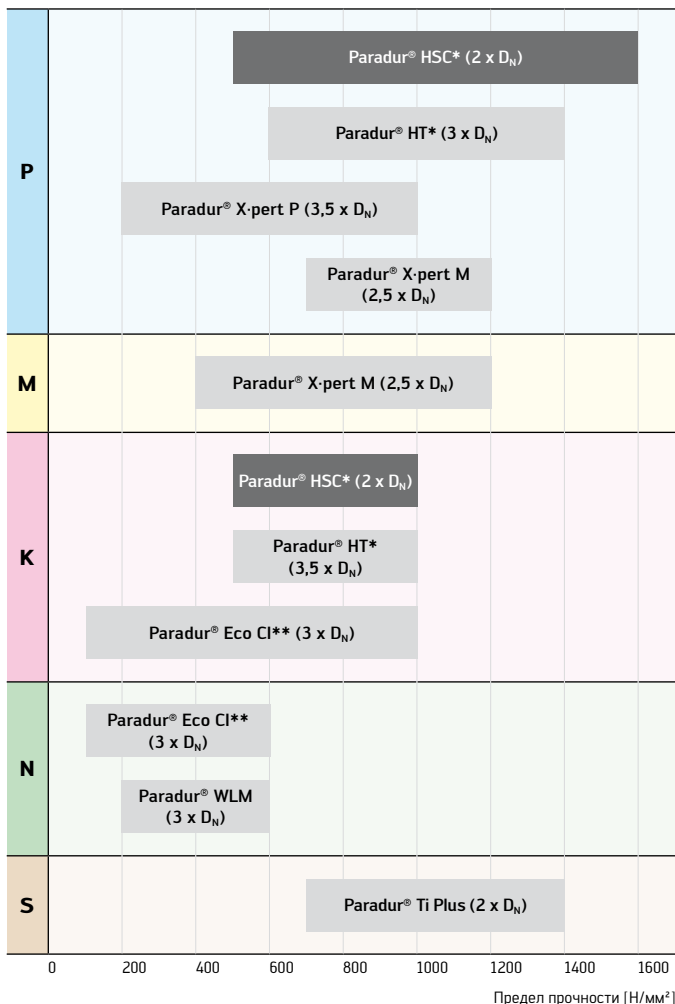
Универсальные метчики для нарезания резьбы в сквозных отверстиях



Инструментальный материал HSS-E или HSS-E-PM

* только для обработки на станках с возможностью синхронного резьбонарезания

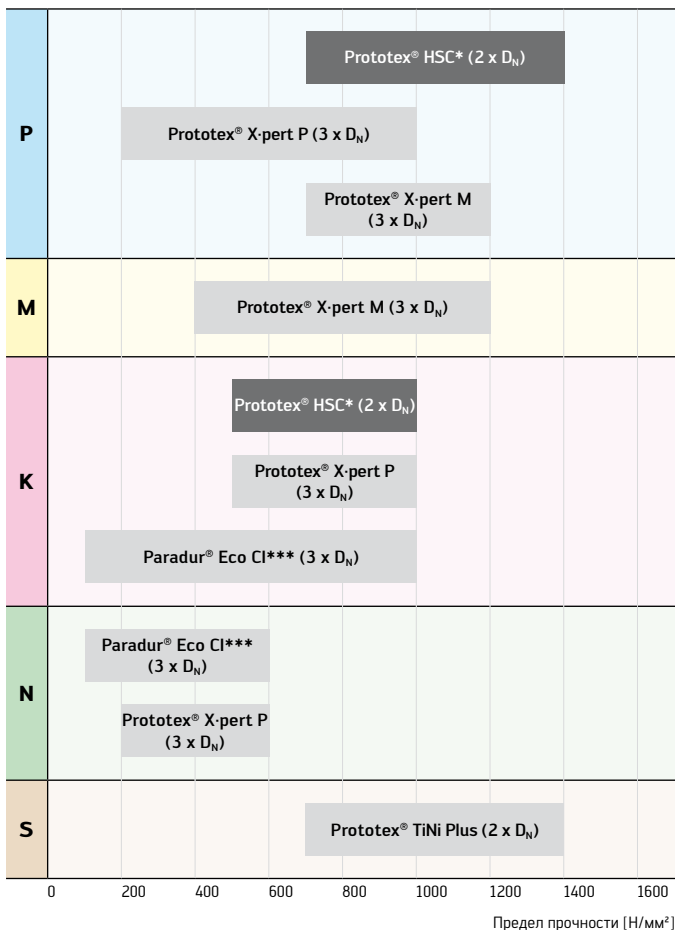
Специализированные метчики для нарезания резьбы в глухих отверстиях



- Инструментальный материал – твёрдый сплав
- Инструментальный материал – быстрорежущая сталь HSS-E или HSS-E-PM

- * требуется внутренний подвод СОЖ
- ** только для материалов, дающих сегментную стружку; рекомендуется внутренний подвод СОЖ

Специализированные метчики для нарезания резьбы в сквозных отверстиях



■ Инструментальный материал – твёрдый сплав

■ Инструментальный материал – быстрорежущая сталь HSS-E или HSS-E-PM

* требуется внутренний подвод СОЖ

*** только для материалов, дающих сегментную стружку

Раскатники

- Основная область применения
- Возможная область применения

Глубина резьбы
Тип
Информация об инструментах: стр.

Группа материалов	Основные группы материалов		Твёрдость по Бринеллю, HB	
	Обрабатываемый материал			
P	Нелегированная и низколегированная сталь	отожжённая (улучшенная)	210	
		автоматная сталь	220	
		улучшенная	300	
		улучшенная	380	
		улучшенная	430	
	Высоколегированная сталь и высоколегированная инструментальная сталь	отожжённая	200	
		закалённая и отпущенная	300	
		закалённая и отпущенная	400	
	Нержавеющая сталь	ферритная/мартенситная, отожжённая	200	
		мартенситная, улучшенная	330	
M	Нержавеющая сталь	аустенитная, дуплексная	230	
		аустенитная, упрочнённая (PH)	300	
K	Серый чугун		245	
	Чугун с шаровидным графитом	ферритный, перлитный	365	
	Чугун с вермикулярным графитом (CGI)		200	
N	Алюминиевые деформируемые сплавы	не упрочняемые термической обработкой	30	
		упрочняемые термической обработкой, упрочнённые	100	
	Алюминиевые литейные сплавы	кремний ≤ 12 %	90	
		кремний > 12 %	130	
	Магниеые сплавы		70	
	Медь и медные сплавы (бронза/латунь)	нелегированная, электролитическая медь	100	
		латунь, бронза, красная латунь	90	
		медные короткостружечные сплавы	110	
		высокопрочные, сплавы Cu-Al-Fe	300	
S	Жаропрочные сплавы	на основе железа	280	
		на основе никеля или кобальта	250	
		на основе никеля или кобальта	350	
	Титановые сплавы	чистый титан	200	
		α- и β-сплавы, упрочнённые	375	
		β-сплавы	410	
	Вольфрамовые сплавы		300	
	Молибденовые сплавы		300	

		2,0 x D _N	3,5 x D _N				
		Protodyn® Eco LM	Protodyn® S Plus	Protodyn® S Eco Plus	Protodyn® S Eco Inox	Protodyn® S Synchrospeed	Protodyn® S HSC
		30	29	28	31	32	33
	Предел прочности R _m H/мм²						
	700	••	••	••	•	••	•
	750	••	••	••	•	••	•
	1010		••	••	•	••	••
	1280		•	•	•	•	••
	1480						
	670		••	••	•	••	•
	1010		••	••	•	••	••
	1360						
	670		••	••	••	••	••
	1110		••	••	••	••	••
	780		••	••	••	••	••
	1010		•	•	•	•	•
	–						
	–						
	–						
	–	••	••	••	•	••	••
	340	••	••	••	•	••	••
	310	••	••	••	•	••	••
	450						
	250						
	340	••	•	•	•	•	•
	310						
	380						
	1010						
	940						
	840		••	••	•	••	••
	1080						
	670	••					
	1260	••					
	1400	••					
	1010						
	1010						

Резьбофрезы

- Основная область применения
- Возможная область применения

Глубина резьбы

Тип

Информация об инструментах: Стр.

Группа материалов	Основные группы материалов		Твёрдость по Бринеллю, HB	
	Обрабатываемый материал			
P	Нелегированная и низколегированная сталь	отожжённая (улучшенная)	210	
		автоматная сталь	220	
		улучшенная	300	
		улучшенная	380	
		улучшенная	430	
	Высоколегированная сталь и высоколегированная инструментальная сталь	отожжённая	200	
		закалённая и отпущенная	300	
		закалённая и отпущенная	400	
	Нержавеющая сталь	ферритная/мартенситная, отожжённая	200	
мартенситная, улучшенная		330		
M	Нержавеющая сталь	аустенитная, дуплексная	230	
		аустенитная, упрочнённая (PH)	300	
K	Серый чугун		245	
	Чугун с шаровидным графитом	ферритный, перлитный	365	
	Чугун с вермикулярным графитом (CGI)		200	
N	Алюминиевые деформируемые сплавы	не упрочняемые термической обработкой	30	
		упрочняемые термической обработкой, упрочнённые	100	
	Алюминиевые литейные сплавы	кремний ≤ 12 %	90	
		кремний > 12 %	130	
	Магниевые сплавы		70	
	Медь и медные сплавы (бронза/латунь)	нелегированная, электролитическая медь	100	
		латунь, бронза, красная латунь	90	
		медные короткожужечные сплавы	110	
высокопрочные, сплавы Cu-Al-Fe		300		
S	Жаропрочные сплавы	на основе железа	280	
		на основе никеля или кобальта	250	
		на основе никеля или кобальта	350	
	Титановые сплавы	чистый титан	200	
		α- и β-сплавы, упрочнённые	375	
		β-сплавы	410	
	Вольфрамовые сплавы		300	
Молибденовые сплавы		300		
H	Закалённая сталь		50 HRC	
			55 HRC	
			60 HRC	

		1,5 x D _N 2,0 x D _N	2,0 x D _N			2,0 x D _N 3,0 x D _N
		TMG	TMC	TMO HRC	TMD	TMO
		35	34	37	38	36
	Предел прочности R _m Н/мм ²					
	700	●●	●●			●●
	750	●●	●●			●●
	1010	●●	●●			●●
	1280	●●	●●			●●
	1480	●●	●●	●●		●●
	670	●●	●●			●●
	1010	●●	●●			●●
	1360	●●	●●	●●		●●
	670	●●	●●			●●
	1110	●●	●●	●		●●
	780	●●	●●			●●
	1010	●●	●●			●●
	-	●●	●●		●●	●●
	-	●●	●●		●●	●●
	-	●●	●●		●●	●●
	-	●●	●●		●●	●●
	340	●●	●●		●●	●●
	310	●●	●●		●●	●●
	450	●●	●●		●●	●●
	250	●●	●●		●●	●●
	340	●●	●●		●●	●●
	310	●●	●●		●●	●●
	380	●●	●●		●●	●●
	1010	●●	●●		●●	●●
	940	●●	●●			●●
	840	●●	●●			●●
	1080	●●	●●			●●
	670	●●	●●			●●
	1260	●●	●●			●●
	1400	●●	●●			●●
	1010	●●	●●	●		●●
	1010	●●	●●	●		●●
	-			●●		
	-			●●		
	-			●●		

Сравнение методов обработки резьбы

Преимущества	
Нарезание резьбы	– Нет специальных требований к станку – Возможность обработки большинства материалов
Раскатывание резьбы	– Высокая эксплуатационная надёжность • Отсутствие стружки и, следовательно, проблем с её отводом: это гарантирует надёжный результат при обработке резьбы даже в глубоких отверстиях • Низкий риск поломки из-за хорошей жесткости инструмента – Высокое качество резьбы • Более высокая статическая и динамическая прочность резьбы благодаря обработке методом пластической деформации • Отличное качество поверхности резьбы с малой шероховатостью – Более высокая стойкость по сравнению с резбонарезанием – Очень широкий спектр применения инструментов – Раскатывание резьбы GL и DL с помощью одного инструмента
Резьбофрезерование	– Высокая универсальность • Возможность обработки самых различных материалов • Один инструмент для обработки как глухих, так и сквозных отверстий • Возможность фрезерования резьбы различного размера (при одинаковом шаге) с помощью одного инструмента • Возможность фрезерования резьбы любого класса точности с помощью одного инструмента • Возможность фрезерования одно- и многозаходной, а также левой и правой резьбы с помощью одного инструмента – Высокая эксплуатационная надёжность • Отсутствие риска спутывания стружки • Отсутствие брака при поломке инструмента • Низкий крутящий момент даже при обработке резьб большого диаметра • Лёгкий вход и выход в наклонные поверхности • Возможность обработки тонкостенных деталей благодаря низким усилиям резания – Низкая нагрузка на шпиндель благодаря плавному процессу обработки – Отличное качество поверхности резьбы

Недостатки

- Сложности с эвакуацией стружки нередко являются причиной расширения номенклатуры применяемых инструментов, а также специальных модификаций (прежде всего, при нарезании резьбы в глубоких глухих отверстиях в материалах, дающих длинную стружку)
- Снижение прочности инструмента из-за стружечных канавок; риск поломки
- Риск возникновения брака при поломке инструмента
- Возможность применения определяется относительным удлинением при разрыве, пределом прочности и шагом резьбы
- Риск возникновения брака при поломке инструмента
- Более жёсткий допуск отверстия под резьбу, являющийся причиной увеличения производственных расходов; обязательно требуется оценка экономической эффективности по сравнению с резьбонарезанием
- Не допускается использование в пищевой, медицинской и аэрокосмической промышленности
- Высокие инструментальные затраты по сравнению с метчиками и раскатниками из быстрорежущей стали
- Обязательное использование 3-координатного станка с ЧПУ
- Дорогостоящее программирование
- В массовом производстве резьбофрезерование нередко уступает резьбонарезанию и накатыванию резьбы при оценке экономической эффективности

	Эксплуатационная надёжность	Скорость обработки	Универсальность	Стойкость	Инструментальные затраты	Глубина резьбы	Размер партии
Нарезание резьбы	–	+	–	–	–	+	от маленькой до очень большой
Раскатывание резьбы	+	+	+	++	+	++	от маленькой до очень большой
Резьбофрезерование	++	–	++	+	+	–	от маленькой до средней

– базовое значение

+ выше, чем базовое значение

++ значительно выше, чем базовое значение

Допуски метчиков и раскатников

Поле допуска внутренней резьбы зависит не только от размеров инструмента, но и от свойств материала и условий обработки. Во многих случаях целесообразно выбирать инструменты с допусками, отличными от стандартных. Такие допуски обозначаются буквой «Х» (например 6НХ вместо 6Н). Следует учитывать, что положение поля допуска может отличаться у различных производителей, так как они основываются исключительно на заводских стандартах.

Метчики Walter Prototyp, предназначенные для обработки вязких материалов, изготавливаются с допуском «Х», который позволяет компенсировать упругие свойства обрабатываемого материала. Для метчиков Walter Prototyp это означает смещение поля допуска среднего диаметра на половину значения класса точности. Поэтому инструменты серии Xpert M, предназначенные для обработки нержавеющей стали, изготавливаются с допуском «Х». По той же причине метчики для высокопрочных титановых и никелевых сплавов также имеют допуск «Х».

Для обработки абразивных материалов, например, серого чугуна, также целесообразно использовать инструменты с допуском «Х». Благодаря смещенному положению поля допуска стойкость инструмента увеличивается, так как износ медленнее достигает той степени, при которой не проходит проходной калибр. Поэтому, например, метчики Paradur® Eco CI изготавливаются именно с допуском «Х».

Раскатники всегда изготавливаются с допуском «Х», так как упругое восстановление после раскатывания резьбы сильнее, чем после нарезания. Несмотря на то, что допуски «Х» для раскатников и метчиков отличаются, это не влияет на точность обработанной резьбы, что демонстрирует приведенная ниже таблица.

Поле допуска		Поле допуска для внутренней резьбы	
Обозначение для метчиков по DIN	Заводской стандарт для метчиков и раскатников		
ISO1/4H	4HX	4H	5H
ISO2/6H	6HX	4G	5G
ISO3/6G	6GX	–	–
7G	7GX	–	–

Класс точности инструмента (например, 4Н) соответствует полю допуска внутренней резьбы, для которой предназначен инструмент. Также при обработке данными инструментами возможно получить резьбовые отверстия с другими допусками, что отражено в таблице ниже.

Если после обработки внутренней резьбы требуется нанести покрытие, то это важно учесть при выборе метчика. Дополнительный припуск рассчитывается по формуле:

$$A = T \times f \text{ при } f = \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

«А» обозначает вычисляемый припуск, «Т» – толщину слоя наносимого покрытия, а «α» – угол профиля.

Пример:

Метрическая резьбы, гальваническое покрытие толщиной 25 микрон

При угле профиля 60° получается:

$$f = \frac{2}{\sin \frac{60^\circ}{2}} = \frac{2}{0,5} = 4$$

из этого следует

$$A = 0,025 \text{ мм} \times 4 = 0,1 \text{ мм}$$

Если необходимо получить обычное резьбовое соединение, следует выбрать инструмент с допуском 6Н + 0,1.

Примечание:

При резьбофрезеровании одним инструментом можно обработать резьбовые отверстия с любым допуском, так как допуск зависит от программирования.

Поле допуска для внутренней резьбы			Область применения
–	–	–	Соединение с натягом
6Н	–	–	Соединение по переходной посадке
6G	7H	8H	Резьбовое соединение с зазором
–	7G	8G	Прослабленная резьба под нанесение покрытия

Покрyтия и поверхностная обработка

	Без покрытия	Паротерм. обработка	nid (nit + vap)
Основные области применения	– Очень глубокие глухие отверстия в мягких сталях – При проблемах с отводом стружки	– В основном для обработки нержавеющей сталей – Для мягких, вязких и склонных к адгезионному схватыванию материалов – Для обработки резьбы в глубоких глухих отверстиях	– DL: для стали с пределом прочности до 1200 Н/мм², чугуна и алюминия; – GL: только для материалов, дающих сегментную стружку (серый чугун, алюминиевые сплавы с содержанием кремния > 7 %); высокоуглеродистые стали; – Не подходит для нержавеющей сталей, склонных к проявлению остаточных упругих деформаций
Особенности	– Более низкая скорость резания/стойкость по сравнению с инструментами с покрытием – Стружка сворачивается в узкую спираль	– Улучшает адгезию СОЖ и, тем самым, снижает склонность к адгезионному схватыванию – Более низкая скорость резания/стойкость по сравнению с инструментами с покрытием – Оптимизированный отвод стружки	– Более высокая стойкость за счёт увеличенной твёрдости поверхности – Увеличенная твёрдость – Азотирование и пареокидирование
Изображение			

	CrN	NHC	DLC
Основные области применения	– Нарезание резьбы в алюминиевых и медных сплавах – Раскатывание резьбы в титановых сплавах – Обработка сталей, склонных к налипанию	– Цветные металлы (медные, латунные, бронзовые и титановые сплавы) – Алюминиевые сплавы с содержанием кремния до 12 %	– Алюминиевые сплавы со склонностью к налипанию
Особенности	– Снижает склонность к налипанию	– Уменьшает наростообразование – Высокая стойкость к абразивному износу – Острые режущие кромки из-за тонкого слоя покрытия	– Возможно значительное увеличение стойкости
Внешний вид			

GL = обработка глухих отверстий
DL = обработка сквозных отверстий

TiN	TiCN	THL
– Для низколегированных сталей – Для нержавеющей сталей – Подходит для никелевых сплавов	– Для легированных и нелегированных сталей – Для абразивных материалов, таких как серый чугун, алюминиево-кремниевые (с содержанием кремния > 5 %) и медно-бронзовые сплавы – Универсальное покрытие для резьбофрез до 48 HRC – Подходит для никелевых сплавов	– Для сталей, в основном для нержавеющей – Для обработки глухих отверстий – Для обработки с охлаждением масляным туманом – Для высокопрочных чугунов
– Универсальное покрытие – Подходит для большинства материалов – Не подходит для титановых сплавов	– Высокая износостойкость при обработке абразивных материалов – Подходит для твёрдосплавных инструментов – Не подходит для обработки титановых сплавов	– Улучшенное стружкообразование по сравнению с покрытиями TiN и TiCN – Склонность к налипанию при обработке материалов с содержанием марганца
		

ACN	TAX	Алмазное
– Титановые сплавы – Никелевые сплавы	– Универсальный инструмент для резьбофрезерования – Подходит также для обработки закалённых сталей и высокоскоростной обработки	– Абразивные материалы, например алюминиевые сплавы с содержанием кремния > 12 %
– Отсутствие сродства к титановым сплавам, так как покрытие не содержит титан	– Высокая теплостойкость – Универсальное покрытие	– Высокая стойкость к абразивному износу
		

Покрyтия и поверхностная обработка

		Предел прочности от низкого до среднего				
Материал	P	X	X	X		
	M		X	X		
	K		X	X		
	N	X	X	X	X	X
	S				X	
	H					
Покрyтие		без покрытия	паротерм. обработка	TiN	CrN	NHC
Нарезание резьбы		X	X	X	X	
Раскатывание резьбы				X	X	
Резьбофрезерование						X
Обработка сверлом-резьбофрезой					X	

			Предел прочности от среднего до высокого		Предел прочности от низкого до высокого		Предел прочности от низкого до очень высокого
			X		X	X	X
			X		X	X	X
			X		X	X	X
	X	X			X		
				X			
					X		X
	DLC	Алмазное	nid	ACN	TiCN	THL	TAX
	X		X	X	X	X	
	X				X		
	X	X		X	X		X
							X

Выбор покрытия для раскатывания резьбы

Материал	TiN	TiCN
Электротехническая сталь	●●	●
Конструкционная сталь	●●	●
Углеродистая сталь	●	●●
Легированная сталь	●●	●
Улучшенная сталь	●●	●
Нержавеющая сталь	●	●●
Аустенитная	●	●●
Ферритная, мартенситная, дуплексная	●	●●
жаропрочная	●	●●
Алюминиево-магнийевый сплав, нелегированный	●●	●
Алюминий, легированный, содержание кремния < 0,5 %	●	●●
Алюминий, легированный, содержание кремния < 0,5 % - 10 %	●	●●
Алюминий, легированный, содержание кремния > 10 %	●	●●

●● рекомендовано ● возможное применение

Способы подвода СОЖ

Как правило, употребляется термин «смазочно-охлаждающая жидкость», или «СОЖ», хотя для нарезания и, в особенности, для раскатывания резьбы смазывание имеет большее значение, чем охлаждение. Принято различать следующие способы подвода СОЖ:

- внешний подвод СОЖ
- внешний подвод СОЖ через параллельные каналы в патроне
- „внутренний“ подвод СОЖ через канавки на хвостовике
- внутренний подвод СОЖ (Innere Kühlmittelzufuhr = **IK**) по осевым каналам (Kühlmittelaustritt axial = **KA**)
- внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам (Kühlmittelaustritt radial = **KR**)

В большинстве случаев используется внешний подвод СОЖ. При вертикальной обработке резьбы в глухих отверстиях СОЖ заливается прямо в отверстие под резьбу (кроме отверстий с малым диаметром), что улучшает качество обработки резьбы.

При обработке резьбы в сквозных отверстиях СОЖ невозможно залить в отверстие, так как при нарезании резьбы стружка удаляется в направлении подачи, а при раскатывании резьбы вообще не образуется. Однако при обработке резьбы в глубоких отверстиях СОЖ может доходить до режущей части. Подача СОЖ должна быть направлена параллельно оси инструмента.

Определенную сложность составляет внешний подвод СОЖ при обработке глубоких отверстий с горизонтальным расположением шпинделя. В этом случае СОЖ может не всегда доходить до режущей кромки. При нарезании резьбы в глухих отверстиях подвод СОЖ также затрудняет образующаяся стружка.

Подвод СОЖ по канавкам на хвостовике обладает ощутимыми преимуществами, так как СОЖ всегда поступает в зону резания независимо от длины инструмента. Однако при низком давлении СОЖ и большой частоте вращения инструмента СОЖ будет разбрызгиваться в радиальном направлении.

Внутренний подвод СОЖ гарантирует, что СОЖ будет непрерывно поступать в зону резания. Это создаст оптимальные условия для охлаждения и смазывания, а также для отвода стружки.

Группа материалов	Материал	Нарезание резьбы	Раскатывание резьбы	Резьбофрезерование
Р	Сталь	Эмульсия 5 %	Эмульсия 5 - 10 %	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
	Сталь 850 - 1200 Н/мм ²	Эмульсия 5 - 10 %	Эмульсия 10 % или масло (Protofluid)	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
	Сталь 1200 - 1400 Н/мм ²	Эмульсия 10 % или масло (Protofluid)	Эмульсия 10 % или масло (Protofluid или Hardcut 525)	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
	Сталь 1400 - 1600 Н/мм ² соответствует 44 - 49 HRC	Масло (Protofluid или Hardcut 525)	Обработка раскатником, как правило, невозможна	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
М	Нержавеющие стали	Эмульсия 5 – 10 % или масло (Protofluid)	Масло (Protofluid) [эмульсия 5-10 % возможна только со специальными инструментами (Protodyn® S Eco Inox)]	Эмульсия
К	Серый чугун (СЧ)	Эмульсия 5 %	Обработка раскатником невозможна	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
	Чугун с шаровидным графитом (ВЧ)	Эмульсия 5 %	Эмульсия 10 %	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
Н	алюминий с содержанием кремния до 12 %	Эмульсия 5 - 10 %	Эмульсия 5 - 15 %	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
	Алюминий с содержанием кремния более 12 %	Эмульсия 5 - 10 %	Эмульсия 5 - 10 % Обработка раскатником только в исключительных случаях	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
	Магний	Масло (Protofluid)	Обработка раскатником при комнатной температуре невозможна	Без СОЖ
	Медь	Эмульсия 5 - 10 %	Эмульсия 5 - 10 %	Эмульсия/масляный туман/сжатый воздух
С	Титановые сплавы	Эмульсия 10 % или масло (Protofluid или Hardcut 525)	Масло (Hardcut 525)	Эмульсия
	Никелевые сплавы	Эмульсия 10 % или масло (Protofluid или Hardcut 525)	Масло (Protofluid или Hardcut 525)	Эмульсия
Н	Сталь > 49 HRC	Масло (Hardcut 525), только при обработке твёрдосплавным инструментом	Обработка раскатником невозможна	Без СОЖ/с масляным туманом
О	Пластмассы	Эмульсия 5 %	Обработка раскатником не позволяет получать точную резьбу	Эмульсия/масляный туман

Способы подвода СОЖ. Нарезание резьбы

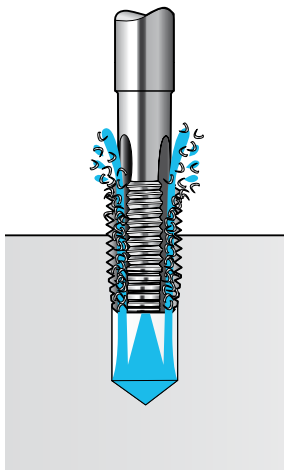
При нарезании резьбы в глухих отверстиях возможны два варианта:

Вариант 1: короткая стружка

Лучшие результаты с точки зрения производительности и эксплуатационной надёжности достигаются, если возможно получить короткую стружку, так как она беспрепятственно вымывается из отверстия с помощью СОЖ. Короткая стружка образуется лучше всего при применении метчиков с прямыми стружечными канавками (например Paradur® HT). При обработке резьбы в глухих отверстиях рекомендуется выбрать метчики с каналами для СОЖ.

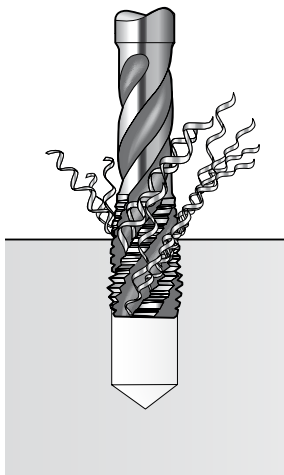
Примечание:

При обработке резьбы метчиками без внутреннего подвода СОЖ в глухих отверстиях в короткостружечных материалах стружка скапливается на дне отверстия. При недостаточной глубине отверстия под резьбу метчик может сломаться при контакте со стружкой.



Вариант 2: длинная стружка (не ломается)

При обработке сталей с пределом прочности менее 1000 Н/мм², а также нержавеющей сталей и других материалов высокой прочности, как правило, не удастся получить короткую стружку. В этом случае следует выбирать метчики со спиральными канавками для обеспечения нормального отвода стружки. При использовании метчиков с внутренним подводом СОЖ, СОЖ только поддерживает процесс отвода стружки. В отдельных случаях можно также использовать метчики с меньшим углом подъема винтовой канавки, что увеличивает стойкость.



Способы подвода СОЖ. Резьбофрезерование

При **резьбофрезеровании** зачастую рекомендуется использовать обработку с СОЖ, но только при условии равномерного охлаждения. Иначе возможны тепловые удары, вызывающие образование микротрещин, которые, в свою очередь, ведут к возникновению сколов и снижению стойкости инструмента. При обработке с внешним подводом СОЖ зачастую невозможно обеспечить равномерное охлаждение. Обработка без СОЖ с использованием сжатого воздуха хотя и принципиально возможна при резьбофрезеровании, однако отрицательно влияет на стойкость инструмента.

При обработке глухих отверстий в основном рекомендуется использовать инструменты с осевым каналом для СОЖ. При этом рекомендуется использовать эмульсию. Так как инструмент омывается СОЖ со всех сторон, тепловые удары не возникают. Кроме этого, поток СОЖ способствует нормальному отводу стружки и, тем самым, обеспечивает надёжность процесса. В качестве альтернативы возможно использовать внутренний подвод сжатого воздуха или охлаждение масляным туманом, что, однако, ведет к снижению стойкости инструмента. При обработке глухих отверстий внешний подвод СОЖ не рекомендуется, так как при определенных условиях стружка скапливается в отверстии, что отрицательно влияет на стойкость. Кроме этого, при внешнем подводе СОЖ существует высокий риск тепловых ударов.

При обработке сквозных отверстий рекомендуется использовать внешний подвод СОЖ (эмульсия), масляный туман или, как альтернативу, сжатый воздух. Однако, при определенных условиях обработка с СОЖ может вызвать проблемы, так как при внешнем подводе СОЖ равномерное охлаждение инструмента не гарантировано. Прежде всего, при обработке отверстий малого диаметра существует риск, что СОЖ не будет проникать в отверстие малого диаметра в полном объеме и, соответственно, равномерное охлаждение инструмента не будет обеспечиваться.

Примечание:

При резьбофрезеровании отсутствие охлаждения представляет собой меньшую проблему, чем периодическое охлаждение.

Способы подвода СОЖ. Раскатывание резьбы

При раскатывании резьбы охлаждение и, прежде всего, смазывание инструмента имеет решающее значение. При недостаточном смазывании качество поверхности резьбы резко ухудшается, что демонстрируют следующие иллюстрации:

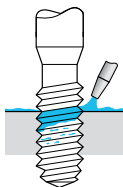


Задиры на поверхности резьбы из-за недостаточного количества СОЖ. Способ устранения: канавки для СОЖ

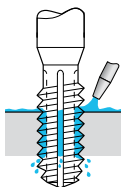


Гладкая поверхность при достаточной подаче СОЖ

Различают два основных типа инструментов: **раскатники с канавками для СОЖ** и **раскатники без канавок для СОЖ**. Ниже представлены возможные области применения раскатников.



без канавок для СОЖ



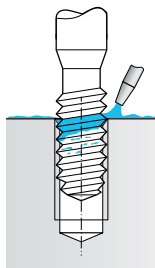
с канавками для СОЖ

Ограничения возможностей применения раскатников без канавок для СОЖ:

- Раскатывание резьбы в листовом металле
- Обработка резьбы глубиной до $1,5 \times D_N$ в сквозных отверстиях (так как СОЖ не может скапливаться в отверстии под резьбу)
- Обработка резьбы в глухих отверстиях при вертикальном расположении шпинделя (для глубоких отверстий рекомендуется раскатники с внутренней подачей СОЖ)

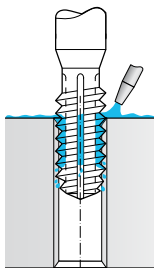
Канавки для СОЖ обеспечивают равномерное смазывание на всей поверхности глубокой резьбы, поэтому раскатники с канавками для СОЖ универсальны. При вертикальном расположении шпинделя раскатниками с канавками для СОЖ можно обработать сквозную резьбу глубиной до $3,5 \times D_N$ даже без внутреннего подвода СОЖ.

Возможные варианты применения раскатников:



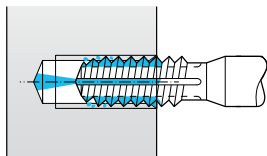
Обработка вертикальных глухих отверстий

Канавки для СОЖ и внутренний подвод СОЖ не требуются, достаточно внешнего подвода СОЖ (для обработки резьбы в глубоких отверстиях рекомендуется применять раскатники с каналами для СОЖ).



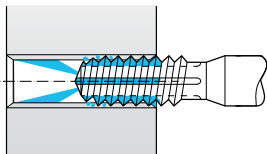
Обработка вертикальных сквозных отверстий ($> 1,5 \times D_N$)

Канавки для СОЖ обязательны; внутренний подвод СОЖ не требуется. Подводимая снаружи СОЖ поступает по смазочным канавкам на режущие кромки (при обработке резьбы в глубоких отверстиях рекомендуется применять раскатники с каналами для СОЖ).



Обработка горизонтальных глухих отверстий

Канавки для СОЖ и внутренний подвод СОЖ обязательны; достаточно осевого канала для СОЖ.



Обработка горизонтальных сквозных отверстий

Канавки для СОЖ обязательны; рекомендуется внутренний подвод СОЖ по радиальным каналам.

Охлаждение масляным туманом

СОЖ (смазочно-охлаждающие жидкости), используемые при обработке резьбы, служат для уменьшения степени износа инструментов, отвода тепла от инструмента и заготовки, а также для оптимизации стружколомания и отвода стружки. Кроме того, СОЖ смывает оставшуюся стружку с заготовки, инструмента и приспособления. Все эти факторы являются необходимыми и достаточным условием для обеспечения эффективного, бесперебойного и экономичного технологического процесса.

Однако расходы на приобретение, обслуживание и правильную утилизацию СОЖ постоянно растут. Также все больше критикуются экологически небезопасные свойства СОЖ и отрицательное влияние на здоровье операторов станков. Как уже было представлено на стр. 7, расходы на СОЖ составляют около 16 % общих производственных расходов. Поэтому снижение объемов потребления СОЖ имеет важное значение с экономической и экологической точек зрения для успешного функционирования предприятий, нацеленных на дальнейшее устойчивое развитие.

Снизить потребление СОЖ можно, перейдя на систему охлаждения масляным туманом (MMS). При обработке с MMS небольшое количество высокоэффективной смазочно-охлаждающей жидкости смешивается со сжатым воздухом. Даже при минимальном дозировании СОЖ (около 5-50 мл/ч), возможно предотвратить налипание материалов, склонных к адгезионному схватыванию. Кроме того, при использовании MMS вследствие снижения трения снижается температура в зоне резания.

Самый простой вариант - наружная подача СОЖ. Этот экономически эффективный способ можно использовать для действующе-

щего оборудования, но здесь существуют свои ограничения: для резьбы глубиной $0,15 \times D_N$. Подача СОЖ через шпиндель предпочтительнее и это необходимо учитывать при выборе новых станков. При проектировании инструментов необходимо принимать во внимание возможность их адаптации к работе с применением MMS. Например, инструменты должны быть спроектированы таким образом, чтобы при обработке образовывалось как можно меньше тепла – поэтому следует избегать уменьшенного или даже отрицательного переднего угла. Также геометрия инструментов должна обеспечивать надёжный отвод стружки, в том числе без участия СОЖ. При обработке с MMS приоритетное значение имеет, прежде всего, покрытие – ведь износостойкое покрытие в большей степени выполняет смазочную функцию. Кроме того, покрытие служит для снижения трения, а также для теплоизоляции инструмента.

Необходимым условием для использования MMS при обработке резьбы глубиной $> 0,15 \times D_N$ становится возможность внутреннего подвода СОЖ по радиальным каналам. Более того, внутренние каналы для СОЖ должны быть изготовлены таким образом, чтобы не возникало разделения воздушно-масляной смеси.

Walter Prototyp для обработки с MMS рекомендует использовать для метчиков специально разработанное покрытие THL. Это стандартное покрытие для инструментов серии Paradur® Eco Plus (преемник проверенного временем Paradur® Eco HT), Prototex® Eco HT, а также Paradur® и Prototex® Synchrospeed. Поверхностный слой покрытия THL в комбинации с MMS обеспечивает оптимальные антифрикционные характеристики и дополнительно

предотвращает наростообразование. По мере эксплуатации инструмента поверхностный слой непрерывно полируется.

Для раскатывания резьбы с применением охлаждения масляным туманом (MMS) подходят инструменты серии Protodyn® Eco Plus, Eco LM и Synchrospeed.

Преимущества

от использования MMS с инструментами Walter Prototyp:

- Снижение производственных расходов и повышение конкурентоспособности выпускаемой продукции.
- Сокращение расходов на приобретение, обслуживание и утилизацию СОЖ.
- Снижение энергозатрат.
- Уменьшение негативного влияния на здоровье рабочих.
- Нет потери производительности по сравнению с обработкой с СОЖ.
- Вогнутые поверхности заготовки не заполняются СОЖ.
- Минимальные усилия на очистку деталей.

Примечание:

При резьбофрезеровании в отличие от резьбонарезания и раскатывания, как правило, возможна обработка без СОЖ, но при этом уменьшается стойкость инструмента. При обработке без СОЖ для обеспечения удаления стружки рекомендуется использовать сжатый воздух. При резьбофрезеровании использование MMS – в отличие от СОЖ – в большинстве случаев предпочтительнее, так как в этом случае инструмент не подвергается тепловым ударам.

Материалы, которые подходят для обработки с MMS

- Нелегированные/низколегированные стали, а также стальное литье < 1000 Н/мм²
- Серый чугун
- Латунь
- Алюминиевые сплавы
- Медные сплавы

Материалы, которые не подходят для обработки с MMS

- Высокопрочные, высоколегированные стали
- Титановые и никелевые сплавы
- Нержавеющие стали

Примечания:

- Возможно применять резьбофрезерование с MMS для обработки высокопрочных и закалённых материалов.
- На практике возможны отклонения от предложенной классификации.

Резьбонарезные патроны

Резьбонарезные патроны, которые также называют адаптерами, являются связующим звеном между шпинделем и инструментом.

Функции адаптеров при нарезании и раскатывании резьбы:

- передача крутящего момента;
- при необходимости, осевая и/или радиальная компенсация отклонения шпинделя от заданной позиции инструмента.

Функции адаптеров при резьбофрезеровании:

- передача крутящего момента;
- минимизация отклонения инструмента (патрон должен быть устойчив к воздействию на него радиальным силам);
- гашение вибраций.

Общие функции:

- передача СОЖ от шпинделя на инструмент;
- защита подшипников шпинделя в случае поломки инструмента;
- защита инструмента от поломки (только с ограничениями).

При резьбонарезании и раскатывании резьбы важно обеспечить синхронизацию частоты вращения шпинделя и подачи инструмента

Примечание:

Для резьбофрезерования подходят любые стандартные фрезерные патроны. Для нарезания и раскатывания резьбы предлагаются специальные патроны, представленные далее.

Основные виды адаптеров для метчиков и раскатников

Быстросменный патрон с осевой компенсацией

Преимущества:

- Использование на станках с возможностью синхронизации и без.
- Компенсация осевых и радиальных отклонений.
- Надёжное исполнение.

Недостатки:

- Более сложная конструкция по сравнению с патронами для жёсткого резьбонарезания
- Трудно избежать дефектов профиля резьбы, так как при врезании инструмент сам себя направляет

Быстросменные патроны входят в стандартный ассортимент продукции Walter.



Патроны для синхронизированного резьбонарезания с минимальной компенсацией

Преимущества:

- Компенсация осевых сил и, как следствие, значительное повышение стойкости.
- Комбинация преимуществ патронов для жёсткого резьбонарезания и патронов с компенсацией.

Недостатки:

- Более высокая стоимость по сравнению с патронами для жёсткого резьбонарезания.
- Использование только на станках с синхронизацией.

Патроны для синхронизированного резьбонарезания с минимальной компенсацией входят в стандартный ассортимент продукции Walter.



Основные виды адаптеров для метчиков и раскатников

Резьбонарезной патрон с автоматическим реверсом

Преимущества:

- Использование на станках с синхронизацией и без
- Защита шпинделя, так как реверсивное движение выполняет патрон. Сокращение цикла обработки, так как шпиндель не должен ускоряться или замедляться, поэтому данный патрон оптимален для массового производства.

Недостатки:

- Сложная конструкция.
- Высокие эксплуатационные расходы.
- Необходимо установить момент от проворачивания.
- Высокая цена.



Патрон с термозажимом, цанговый патрон, патрон Weldon (слева направо)

Преимущества:

- Простое, недорогое и надёжное исполнение.
- Патрон с термозажимом: очень высокая concentricity.

Недостатки:

- Только для станков с синхронизацией.
- Минимальные погрешности синхронизации между шпинделем и инструментом вызывают осевые силы, действующие на заднюю поверхность, что уменьшает стойкость инструмента.



Патроны с термозажимом, цанговые патроны и патроны Weldon входят в стандартный ассортимент продукции Walter.

Обработка на станках с возможностью синхронного нарезания/раскатывания резьбы

Для сокращения машинного времени нарезания резьбы обработка производится при более высоких частоте вращения и скорости резания (HSC). Для обеспечения высоких скоростей резания рекомендуется обработка на станках с синхронизацией.

Встроенный цикл резьбонарезания предполагает наличие станка с синхронизацией вращения шпинделя и движения подачи. Инструмент для нарезания резьбы направляется не самостоятельно с учетом его геометрии, а только подачей и частотой вращения шпинделя станка. Большинство современных обрабатывающих центров приспособлено для синхронного резьбонарезания.

Как правило, возможно использовать любые метчики и раскатники. Специально для синхронного резьбонарезания Walter Prototyp предлагает оптимальные варианты инструментов серии «Synchrospeed». Характерными особенностями инструментов данной серии являются очень большой угол затылования и очень короткая режущая часть. Инструменты серии Synchrospeed могут использоваться только для синхронного резьбонарезания. В отличие от них инструменты серии Eco могут применяться как для синхронной, так и для стандартной обработки, демонстрируя очень хорошие результаты.

Метчики для синхронной обработки могут зажиматься как в обычные патроны Weldon, так и в цанговые

патроны (когда возможна передача крутящего момента через квадрат). Недостаток обоих зажимных патронов заключается в отсутствии возможности компенсации возникающих осевых сил.

Более удачным вариантом является резьбонарезной патрон Protoflex C с минимальной компенсацией. Protoflex C – специальный патрон для обрабатываемых центров с возможностью синхронного резьбонарезания. Он обеспечивает строго определённую минимальную компенсацию и разработан с учётом геометрии инструментов Synchrospeed.

Особенности патрона Protoflex C

В отличие от стандартных патронов для станков с возможностью синхронного резьбонарезания основу Protoflex C составляет прецизионный гибкий элемент («флексор») с высокими упругими свойствами, который компенсирует минимальные позиционные отклонения в радиальном и осевом направлениях. Запатентованный микрокомпенсатор изготавливается из специального сплава, разработанного для NASA, и выгодно отличается своей долговечностью и отсутствием необходимости в проведении технического обслуживания. В стандартных патронах данного типа используются пластиковые детали, со временем утрачивающие свою упругость, в результате чего компенсация в микродиапазоне не обеспечивается.

Силы, действующие на режущую часть метчика, при использовании резьбонарезного патрона Protoflex C значительно понижаются, в результате чего:

- обеспечивается более высокая надёжность технологического процесса благодаря снижению риска поломок инструментов, особенно мелкоразмерных;
- увеличивается стойкость инструментов для резьбонарезания за счёт снижения трения;
- повышается качество обработки поверхности на боковых поверхностях профиля резьбы.

Для потребителей использование резьбонарезного патрона Protoflex C означает максимальную производительность наряду с минимальными инструментальными затратами как при нарезании, так и при раскатывании резьбы.



Патрон Protoflex C для станков с возможностью синхронного резьбонарезания

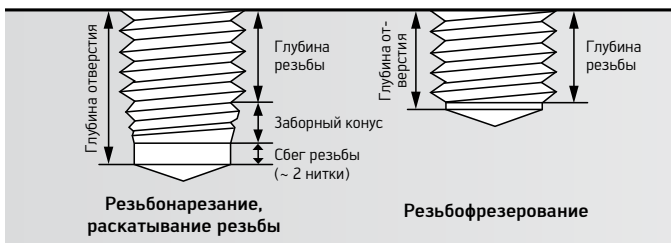


Флексор с минимальной компенсацией

Выбор отверстия под резьбу

Глубина отверстий под резьбу

Глубина отверстия $\geq$ эффективная глубина резьбы (+ длина заборного конуса) + сбеги резьбы



Примечание:

При расчёте требуемой глубины отверстия под резьбу необходимо учитывать наличие заостренного технологического центра у некоторых инструментов для обработки резьбы. Возможны сплошной и ступенчатый технологические центры. Резьбофрезы в отличие от

метчиков и раскатников не имеют ни заборной части, ни заостренных технологических центров, поэтому резьба может доходить вплоть до дна отверстия. При резьбофрезеровании дефекты обработки исключены, поэтому нет необходимости в увеличении глубины отверстия за счет сбега резьбы.

Диаметр отверстия под резьбу при резьбонарезании и резьбофрезеровании

Правило:

Диаметр отверстия = номинальный диаметр – шаг резьбы

Пример: раскатывание резьбы M10

Диаметр отверстия = 10,0 мм – 1,5 мм = **8,5 мм**

Диаметр отверстия под раскатывание резьбы

Правило:

Диаметр отверстия = номинальный диаметр – $f \times$ шаг резьбы

– Допуск 6H: $f = 0,45$

– Допуск 6G: $f = 0,42$

Пример: раскатывание резьбы M10

Диаметр отверстия = 10,0 мм – $0,45 \times 1,5$ мм = 9,325 мм = **9,33 мм**

Рекомендации по раскатыванию резьбы

Примечание:

Рекомендуемый диаметр отверстия под резьбу нанесён на хвостовик раскатников Walter Prototyp.



Выбирая инструменты для обработки отверстий, следует учитывать допуски на отверстия под резьбу для обеспечения надёжности процесса раскатывания резьбы и оптимальной стойкости.

Шаг резьбы	Допуск на диаметр отверстия под резьбу
≤ 0,3 мм	± 0,01 мм
от > 0,3 мм до < 0,5 мм	± 0,02 мм
от ≥ 0,5 мм до < 1 мм	± 0,03 мм
≥ 1 мм	± 0,05 мм

Так как под раскатывания резьбы требуется изготовить отверстие с более жёстким допуском, то раскатывание резьбы оказывается не всегда экономичнее резьбонарезания.

Совет:

При раскатывании внутренний диаметр резьбы образуется в результате пластической деформации, поэтому зависит от предела прочности обрабатываемого материала. В отличие от этого внутренний диаметр резьбы при резьбонарезании и резьбофре-

зеровании определяется диаметром отверстия под резьбу, поэтому после обработки раскатником необходимо измерить внутренний диаметр резьбы! Допуски на внутренний диаметр резьбы, стр. 116.

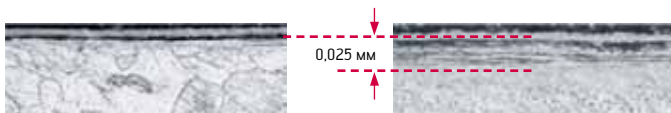
Примечание:

В ассортимент продукции Walter Titeх входят свёрла для обработки отверстий под резьбу для резьбонарезания и раскатывания резьбы.

Увеличение твёрдости поверхностной зоны

Зачастую обработка резьбы рассматривается как отдельный процесс. Это не верно, так как предшествующая обработка отверстия оказывает значительное влияние на последующую операцию резьбонарезания.

При обработке отверстия под резьбу поверхностная зона обрабатываемого материала подвергается механическим и термическим воздействиям. Возникающие вследствие этого структурные изменения представлены на рисунках:



Новый метчик:
поверхностная зона почти без изменений

Изношенный метчик:
структурное изменение приповерхностной зоны

Деформационное упрочнение поверхностной зоны после обработки изношенным метчиком заметно выше, чем после обработки новым инструментом. Также к деформационному упрочнению приводят завышенные режимы резания при обработке отверстия. Хотя увеличение твердости возникает только в поверхностных слоях отверстия, это влияет на стойкость инструментов для обработки резьбы (ср. пример).

Вывод:

- Стойкость инструмента для обработки резьбы снижается с увеличением твердости поверхностной зоны обрабатываемого материала.
- Упрочнение поверхностной зоны увеличивается по мере износа инструмента для обработки отверстия, а также при высоких режимах резания либо изношенных режущих кромок.

Пример: материал Ст70, диаметр отверстия 8,5 мм, глубина отверстия 24,5 мм

	Изношенный метчик	Новый метчик
Твёрдость поверхностной зоны	450 HV	280 HV
Толщина поверхностной зоны	0,065 мм	≈ 0
Стойкость метчика	70 резьб	> 350 резьб

Совет:

В случае проблем со стойкостью помимо соблюдения технологии обработки резьбы следует обратить внимание на предшествующую операцию обработки отверстия, а также проверить инструмент для обработки отверстия!



Основные виды

Глухое отверстие

Материалы, дающие сегментную стружку

Метчики с прямыми канавками не отводят стружку, поэтому они подходят только для обработки материалов, дающих сегментную стружку, либо для обработки короткой резьбы.

Примечание:

Стружка скапливается на дне отверстия под резьбу, если не используется внутренняя подача СОЖ. При неправильном расчёте длины сбега резьбы инструмент может ударяться о стружку и поэтому ломаться.

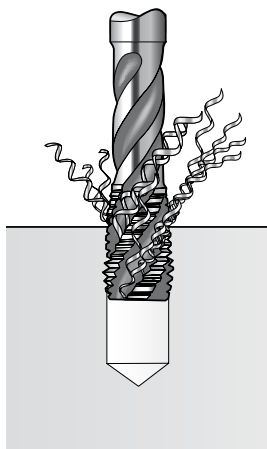
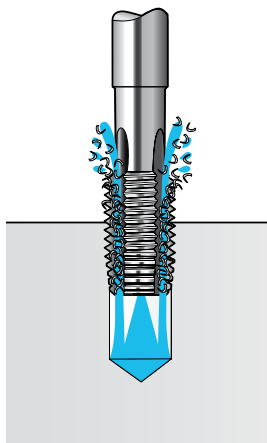
Глубокую резьбу возможно обработать метчиками с прямыми канавками, если конструкцией предусмотрен подвод СОЖ через корпус инструмента, т. к. стружка будет отводиться (вымываться) против направления подачи. Разумеется, необходимо, чтобы стружка была сегментной (например: Paradur® HT, глубина резьбы до $3,5 \times D_N$).

Метчики с прямыми канавками отличаются более высокой стойкостью по сравнению с метчиками с винтовыми канавками.

Некоторые метчики с прямыми канавками могут использоваться для нарезания резьбы в сквозных отверстиях в материалах с хорошим стружколоманием (например, Paradur® Eco CI).

Материалы, дающие сливную стружку

Метчики с правой спиралью обеспечивают отвод стружки в направлении хвостовика. Чем выше прочность (больше длина сливной стружки) обрабатываемого материала и чем глубже резьба, тем больше должен быть угол наклона винтовых канавок.

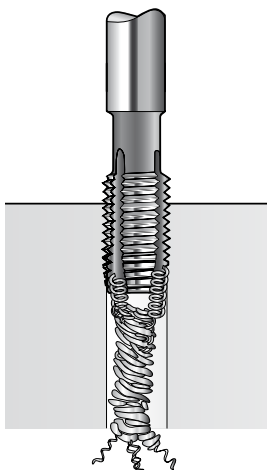


Сквозное отверстие

Материалы, дающие сливную стружку

Метчики со спиральным заборным конусом обеспечивают отвод стружки вперед в направлении подачи.

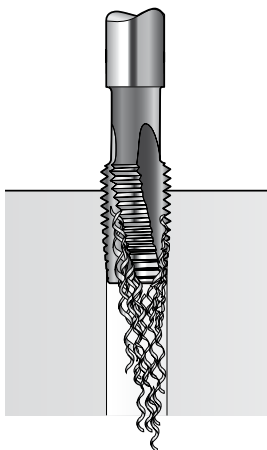
Это правильный выбор, в первую очередь, для изготовления резьбы в сквозных отверстиях в материалах, дающих сливную стружку.



Метчики с левой спиралью

(как и метчики со спиральным заборным конусом) обеспечивают отвод стружки в направлении подачи.

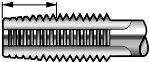
Инструменты с левой спиралью целесообразно использовать лишь в том случае, если со спиральным заборным конусом не обеспечивается оптимальный отвод стружки. Пример: Paradur® N, тип 20411 и 20461



Формы заборного конуса по DIN 2197

Обратите внимание:

- Увеличение длины заборного конуса повышает стойкость.
- При удлинённом заборном конусе снижается нагрузка на режущие кромки, что важно при обработке материалов повышенной прочности.
- Метчики с укороченным заборным конусом позволяют нарезать резьбу почти до дна отверстия.
- При удлинённом заборном конусе требуется более высокий крутящий момент.

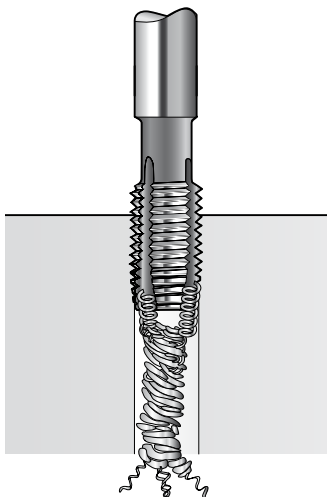
Форма	Число ниток заборного конуса	Исполнение и основное назначение	
A	6 - 8 ниток 	с прямыми канавками	для материалов, дающих сегментную стружку
			для нарезания короткой резьбы в сквозных отверстиях в материалах, дающих стружку средней длины или сливную стружку
B	3,5 - 5,5 ниток 	с прямыми канавками со спиральным заборным конусом	 для материалов, дающих стружку средней длины или сливную стружку
C	2 - 3 нитки 	с правой спиралью	 для материалов, дающих стружку средней длины или сливную стружку
		с прямыми канавками	 для материалов, дающих сегментную стружку
D	3,5 - 5 ниток 	с левой спиралью	 для материалов, дающих сливную стружку
		с прямыми канавками	для материалов, дающих сегментную стружку
E	1,5 - 2 нитки 	с правой спиралью	 короткий сбег резьбы в материалах, дающих стружку средней длины или сливную стружку
		с прямыми канавками	короткий сбег резьбы в материалах, дающих сегментную стружку
F	1 - 1,5 нитки 	с правой спиралью	 очень короткий сбег резьбы в материалах, дающих стружку средней длины или сливную стружку
		с прямыми канавками	очень короткий сбег резьбы в материалах, дающих сегментную стружку

Поперечное сечение стружки

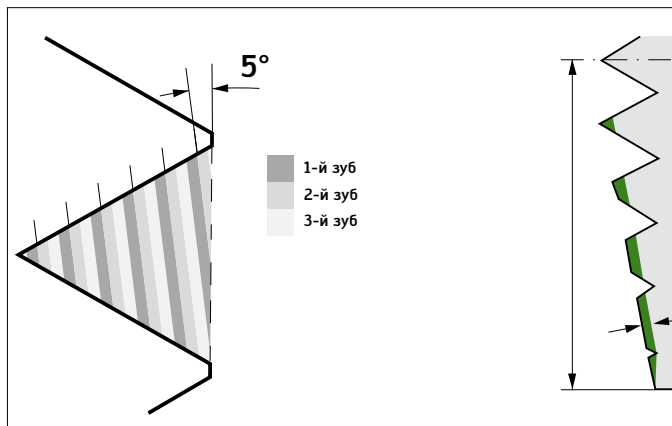
Для нарезания резьбы в сквозных отверстиях преимущественно применяются метчики с удлинённым заборным конусом.

Длинный заборный конус (форма В) обеспечивает:

- повышенную стойкость;
- высокий крутящий момент;
- небольшое поперечное сечение стружки;
- незначительную нагрузку на зубья конуса.



Форма В

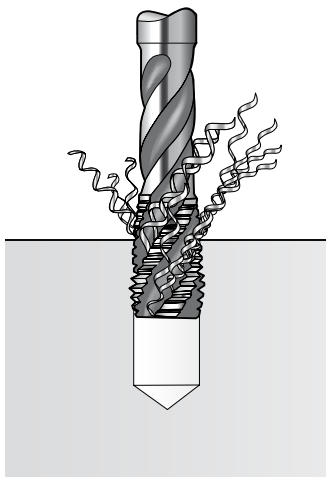


Поперечное сечение стружки

При нарезании резьбы в глухих отверстиях преимущественно используются метчики с укороченным заборным конусом, что объясняется не только лишь тем, что резьба часто должна доходить до дна отверстия.

Отрезка стружки при нарезании резьбы в глухих отверстиях представляет определённую трудность. Когда стружка становится слишком тонкой, она не срезается при реверсивном движении метчика, а попадает в зазор между заготовкой и задней поверхностью режущего зуба. Это может привести к поломке инструмента, поэтому длинные заборные конусы форм А, В и D не подходят для нарезания резьбы в глухих отверстиях, так как при обработке метчиками с данными заборными конусами образуется тонкая стружка.

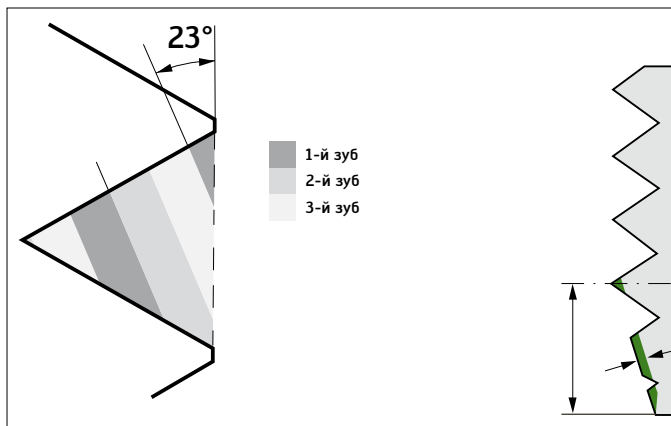
Преимуществом коротких заборных конусов является то, что при обработке образуется меньшее количество стружки. К тому же, благодаря большому поперечному сечению стружки оптимизируется отвод стружки.



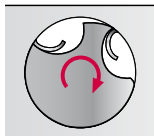
Короткий заборный конус (форма Е) обеспечивает:

- невысокий крутящий момент;
- большое поперечное сечение стружки;
- высокую нагрузку на зубья конуса;
- снижение стойкости;
- оптимизированный отвод стружки.

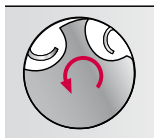
Форма Е



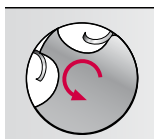
Процесс нарезания резьбы в глухих отверстиях



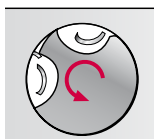
Метчик, нарезающий резьбу, сейчас остановлен. В момент остановки все режущие кромки заборной части находятся в процессе образования стружки!



Начинается реверсивное движение инструмента. Образовавшаяся ранее стружка остаётся несрезанной. При этом крутящий момент приблизительно равен нулю.



Стружка касается спинки следующего зуба метчика. При этом крутящий момент резко увеличивается. Происходит скалывание стружки. Поскольку режущий зуб метчика затылован и, кроме того, при обратном вращении заборный конус выходит из резьбового отверстия в осевом направлении, невозможно срезать стружку непосредственно у основания. Для того, чтобы стружка была срезана, она должна иметь определенную толщину.



Стружка обрезана, и крутящий момент снижается до значения силы трения между инструментом и нарезанной резьбой.

Примечание:

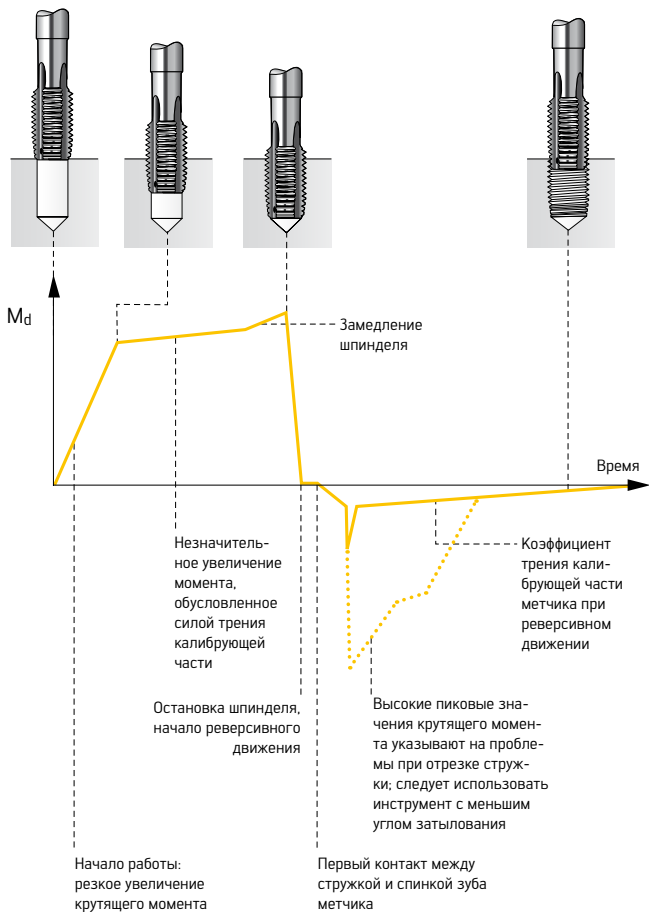
Поэтому метчики с длинной заборной частью не подходят для нарезания резьбы в глухих отверстиях из-за большого угла затылования. Если такой метчик все же будет использован, то существует большая вероятность, что слишком тонкая стружка не будет срезана, а замнётся и окажется между заборной частью и деталью. Это может привести к

повреждению режущей кромки или к разрушению метчика.

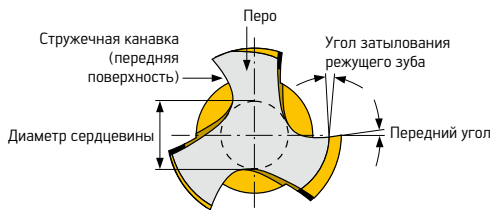
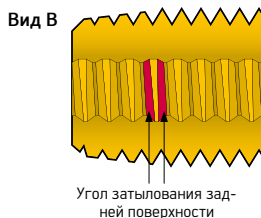
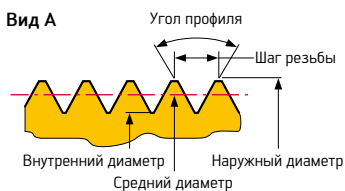
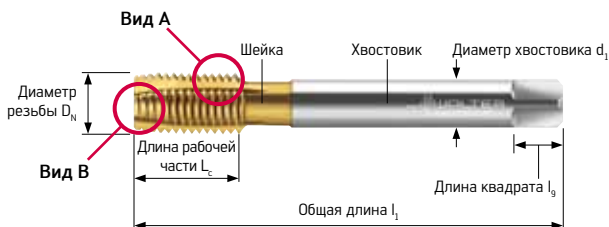
Поэтому угол затылования у метчиков для глухих отверстий всегда меньше, чем у метчиков для сквозных отверстий, так как метчики для глухих отверстий при реверсивном движении должны срезать стружку непосредственно у её основания.

Процесс нарезания резьбы в глухих отверстиях

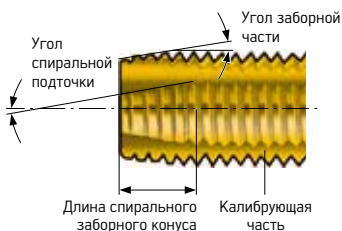
Эпюра распределения крутящего момента при нарезании резьбы в глухих отверстиях



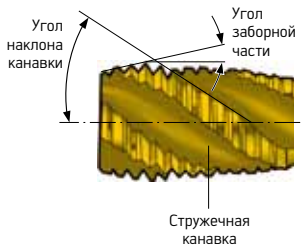
Конструктивные особенности метчика



Метчик для сквозных отверстий со спиральным заборным конусом



Метчик для глухих отверстий с правой спиралью

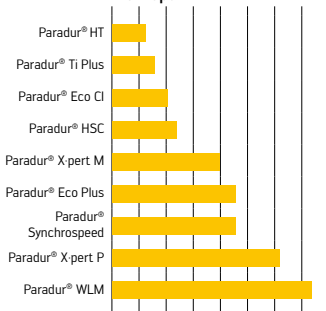


Сравнение геометрий

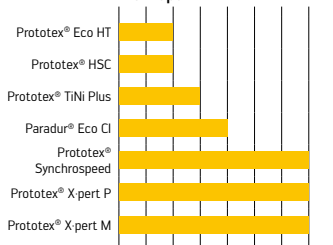
Уменьшение переднего угла:

- Повышает прочность режущих кромок (при большом переднем угле возможны сколы в области заборного конуса).
- Как правило, оптимизирует стружкообразование.
- Ухудшает качество обработанной резьбы.
- Увеличивает момент резания.
- Подходит для обработки материалов высокой твёрдости.
- Влияет на склонность обрабатываемого материала к пластической деформации, поэтом из-за остаточных упругих деформаций резьба получается более тугой.

Передний угол метчиков для глухих отверстий



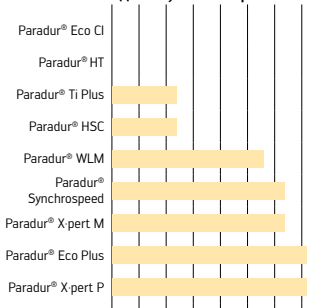
Передний угол метчиков для сквозных отверстий



Увеличение угла подъёма винтовой канавки:

- Оптимизирует отвод стружки.
- Уменьшает прочность инструмента и ограничивает максимальный момент резания.
- Снижает прочность зубьев.
- Сокращает стойкость.

Угол подъёма винтовой канавки метчиков для глухих отверстий



Угол затылования:

Угол затылования должен соответствовать обрабатываемому материалу. Для обработки материалов с повышенной прочностью, а также материалов, склонных к проявлению остаточных упругих деформаций, требуются метчики с большим углом затылования. При обработке мягких материалов с использованием патронов с компенсацией и увеличении угла затылования могут образовываться зарезы на профиле резьбы, связанные с проблемами направления метчика в отверстие.

Совет:

Проверка угла затылования

Метчик должен легко вворачиваться в нарезанную резьбу, без дополнительных усилий. Иначе необходимо использовать инструмент с большим углом затылования.

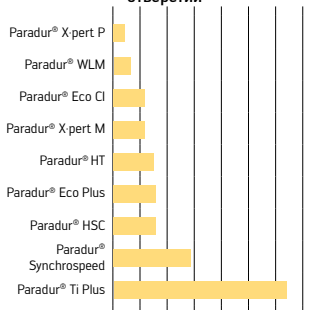
Угол спиральной подточки:

Угол спиральной подточки ограничен длиной заборного конуса и количеством стружечных канавок, так как с увеличением угла спиральной подточки уменьшается ширина зуба в первой нитке заборного конуса. Это вызывает снижение стойкости режущей кромки (повышается риск выкрашивания в области заборного конуса). Увеличенный угол спиральной подточки оптимизирует отвод стружки в направлении подачи. Если угол спиральной подточки слишком мал, то могут возникнуть проблемы с отводом стружки. Решить их может использование метчиков с левой спиралью.

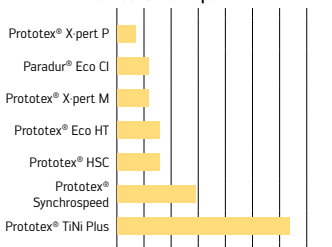
Угол затылования режущей части:

Метчики для сквозных отверстий имеют примерно в 3 раза больший угол затылования режущей части, чем метчики для глухих отверстий. Подробную информацию см. на стр. 80.

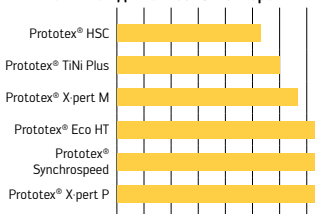
Угол затылования метчиков для глухих отверстий



Угол затылования метчиков для сквозных отверстий



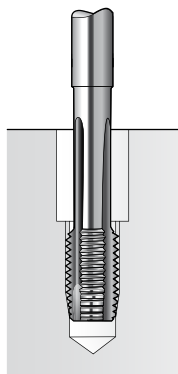
Угол спиральной подточки метчиков для сквозных отверстий



Особенности резьбонарезания

Нарезание резьбы в глухих отверстиях большой глубины

- По возможности использовать метчики с прямыми канавками с осевой подачей СОЖ или метчики для глухих отверстий с большим углом подъёма винтовой канавки и стружечной канавкой без поверхностной обработки/с паротермической обработкой:
 - Paradur® HT (с прямыми канавками)
 - Paradur® Synchrospeed с покрытием Tin/var (спираль)
- Для нержавеющей стали обычно рекомендуется раскатывание резьбы; для нарезания резьбы в нержавеющей сталях необходимо использовать спиральные метчики:
 - Раскатывание резьбы: Protodyn® S Eco Inox
 - Резьбонарезание: Paradur® X-pert M



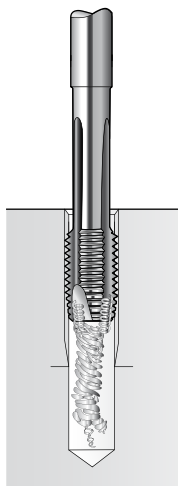
Нарезание резьбы в более глубоких отверстиях, чем глубина самой резьбы

- Использовать метчики для сквозных отверстий с модифицированной спиральной заборной частью:
 - уменьшить угол затылования режущей части до величины для угла для метчиков для глухих отверстий;
 - уменьшить длину заборного конуса прим. до 3 ниток.

Преимущества: повышение стойкости по сравнению с метчиками для глухих отверстий с большим углом подъёма винтовой канавки.

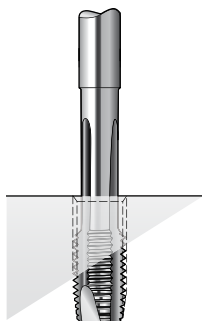
Недостатки: стружка остается внутри отверстия.

- Для материалов, дающих сегментную стружку, например СЧ25, возможно использование метчиков с прямыми канавками без спирального заборного конуса:
 - Paradur® Eco CI
- Разумеется, для подобной обработки также возможно использование метчиков для глухих отверстий с большим углом подъёма стружечной канавки.



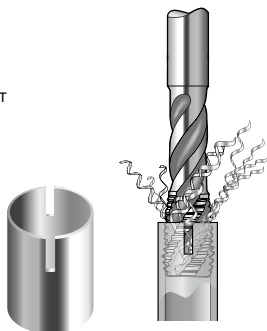
Резьбонарезание под углом к обрабатываемой поверхности

- Использовать метчики с макс. длиной калибрующей части и макс. прочностью (например, Prototex® X-pert P, Prototex® X-pert M)
- Наклон поверхности до 30° практически не вызывает проблем
- Альтернатива: резьбофрезерование



Резьба в отверстиях с пазом

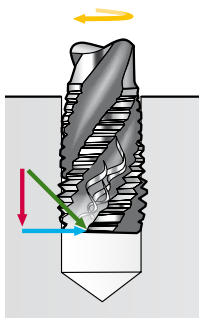
- Нарезать резьбу в отверстиях с пазом следует инструментами с большим углом подъёма винтовой канавки:
- Paradur® X-pert M
- Paradur® X-pert P
- Paradur® Eco Plus



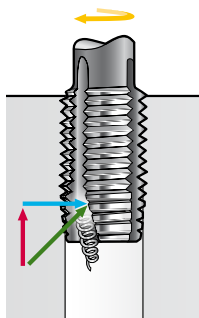
Силы, действующие при резьбонарезании

При нарезании резьбы возникают осевые силы, обусловленные режущим инструментом. При работе метчиками с правой спиралью осевое усилие возни-

кает в направлении подачи. У метчиков со спиральным заборным конусом это усилие, напротив, направлено против направления подачи.



Силы, действующие при использовании метчиков с правой спиралью



Силы, действующие при использовании метчиков со спиральным заборным конусом

- Направление вращения
- Силы резания
- Осевые силы
- Радиальные силы

При использовании плавающих патронов осевые силы могут стать причиной осевых дефектов обработки, в результате чего шаг резьбы может быть увеличен. Возникновение осевых дефектов обработки обусловлено использо-

ванием инструментов с большим углом подъема винтовой канавки и с большим углом затылования при обработке мягких материалов либо наличием дефектов режущих кромок метчика.

Заготовка

Метчик



Резьба с осевыми дефектами обработки при использовании инструментов с правой спиралью: дефекты обработки на нижней поверхности профиля

Заготовка

Метчик



Резьба с осевыми дефектами обработки при использовании метчиков с левой спиралью или метчиков со спиральным заборным конусом: дефекты обработки на верхней поверхности профиля

Подробную информацию о дефектах обработки и мерах по их предупреждению см. на стр. 91 (Проблемы и способы их устранения: резьбонарезание).

Программирование подачи при использовании плавающих патронов

При использовании резьбонарезных патронов с продольной компенсацией необходимо учитывать возникающие при обработке осевые силы, обусловленные режущим инструментом.

У спиральных метчиков для глухих отверстий осевые силы возникают в направлении подачи. Это усилие должно компенсироваться при программировании в отрицательном направлении.



Обычные параметры подачи для этого случая находятся в диапазоне 90–98 % от теоретической подачи. Теоретическая подача рассчитывается по следующей формуле:

$$v_f = n \times p$$

n = частота вращения; p = шаг резьбы

У инструментов с левой спиралью или метчиков со спиральным заборным конусом параметры меняются наоборот – осевые силы действуют против направления подачи.



В этом случае рекомендуется запрограммировать теоретическую подачу.

Модификации

	Отрицательная фаска (Secur Fase)	Укороченный заборный конус
		
Формирование стружки	Стружка сворачивается в узкую спираль, уменьшается её длина	Стружка сворачивается в узкую спираль, уменьшается её количество
Стойкость		
Качество резьбы		
Толщина стружки		
Крутящий момент		
Пример использования	Предотвращение спутывания стружки при обработке конструкционных сталей 17ГС, Ст45 и т. д.	Нарезание резьбы на всю глубину отверстия, улучшенная эвакуация стружки
Стандартные инструменты с соответствующей модификацией	Paradur® Secur Paradur® HSC Prototex® HSC	Любые инструменты с формой заборного конуса E/F



повышается



остается неизменным



понижается



резко понижается

Уменьшение угла подъёма канавки в заборном конусе	Резьба с обратной конусностью	Стружечная канавка без поверхностной обработки
		
Стружка сворачивается в узкую спираль, уменьшается её длина	Без изменений	Стружка сворачивается в узкую спираль, уменьшается её длина
без покрытия:  с покрытием: 		
без покрытия:  с покрытием: 		
		
		
Оптимизация формирования стружки при обработке различных сталей и алюминия	Проблемы, обусловленные сколами или наростом на калибрующей части	Оптимизация формирования стружки при обработке различных сталей, коленвалов
Paradur® Ni 10 Paradur® HSC	Paradur® Eco Plus Paradur® X-pert M Paradur® Synchrospeed	Любые инструменты без покрытия, а также Paradur® Synchrospeed (TiN-vap)

Проблемы и способы их устранения

Контролируемое стружкообразование:

Стружкообразование при нарезании резьбы в глухих отверстиях, прежде всего, в отверстиях большой глубины в материалах, дающих сливную стружку, имеет очень большое значение. Проблемы со стружкообразованием проявляются в виде спутывания стружки, периодических скачках крутящего момента, сколах зубьев в калибрующей части и/или полной поломке.

Способ устранения:

Для оптимизации стружкообразования возможны модификации* стандартных метчиков или изготовление метчиков новой конструкции:

- Подточка с целью уменьшения угла подъёма винтовой канавки для получения сегментной стружки.
- Уменьшение переднего угла для получения сегментной стружки, свернутой в узкую спираль.
- Для метчиков с небольшим углом подъёма винтовой канавки или с прямыми канавками возможна комбинация вышеуказанных мер с осевым подводом СОЖ, благодаря чему улучшается эвакуация сегментной стружки; это проверенный способ подходит, прежде всего, для серийного производства и направлен на повышение эксплуатационной надёжности и производительности.
- Растачивание стружечной канавки или уменьшение угла подъёма винтовой канавки без поверхностной обработки, вследствие чего формируется легко удаляемая стружка.
- Замена покрытий TiN/TiCN на покрытие TiAlN, так как покрытие TiAlN оптимизирует формирование стружки; использование инструментов без поверхностной обработки либо с паротермической обработкой вместо инструментов с покрытием

Основное правило:

Чем выше прочность материала и меньше его относительное удлинение, тем процесс стружкообразования более контролируемый. При обработке конструкционных, низколегированных и нержавеющей сталей с низким пределом прочности стружкообразование является наиболее проблематичным.

Чем больше факторов влияют на формирование стружки, тем хуже качество поверхности резьбы. Поэтому важно адаптировать предпринимаемые меры к требованиям заказчика.

- Укорачивание заборного конуса (модификация) – как следствие, формируется меньшее количество стружки, и она становится толще.
- Уменьшение числа канавок (новое исполнение) – стружка становится толще, повышается стойкость инструмента.
- Использование инструмента с отрицательной фаской (например, Paradur® Secur).
- Раскатывание резьбы или резьбофрезерование: материалы, при обработке которых образование стружки при нарезании резьбы в глухих отверстиях является проблемой, чаще всего обрабатываются раскатыванием (бесстружечная технология пластической деформации). Если раскатывание резьбы невозможно, используется технология резьбофрезерования. В этом случае образуется сегментная стружка.



Пример: сколы из-за проблем со стружкообразованием

* Модификации подробно описаны и наглядно представлены на стр. 88–89.

Дефекты обработки:

Геометрия метчиков предназначена для определенных областей применения. При неправильном использовании может образовываться резьба с увеличенным шагом или диаметром – в этом случае говорят о дефектах обработки.

Примечание:

Подобные дефекты исключены при раскатывании резьбы, резьбофрезеровании и при синхронизированном цикле резьбонарезания.

Дефекты обработки возникают чаще всего при использовании метчиков для глухих отверстий с большим углом подъема винтовой канавки. Возникающее вследствие угла наклона винтовой канавки осевое усилие, действующее в направлении подачи, может втягивать метчик в отверстие быстрее, чем это допускает заданный шаг резьбы – в этом случае говорят об эффекте «штопора» и так называемых **осевых дефектах обработки**. В случае метчиков для сквозных отверстий осевые силы действуют против направления подачи, что также может привести к появлению **осевых дефектов обработки**. Возникновение осевых дефектов обработки обусловлено использованием метчиков с большим углом затылования для обработки мягких материалов либо присутствуют дефекты режущих кромок.

Если вследствие вышеназванных причин возникают дефекты обработки, то метчики регулярно нарезают резьбу с недопустимо большим шагом. Единичные дефекты обработки могут возникать, если вследствие затора стружки или наростообразования на инструмент воздействуют односторонние радиальные силы – в этом случае говорят о **радиальных дефектах обработки**.

Способы устранения:

- Обработка на станках с возможностью синхронного резьбонарезания
- Использование инструмента, пригодного для обработки данного материала.
- Выбор подходящего покрытия (для предотвращения радиальных дефектов обработки).
- Оптимизация стружкообразования (для предотвращения радиальных дефектов обработки).
- Использование метчиков с меньшим углом подъема канавки.
- Использование метчиков со специальной поверхностной обработкой:
 - Paradur® X-pert P; Paradur® Eco Plus
 - Prototex® X-pert P; Prototex® Eco HT
- Резьбофрезерование
- Раскатывание резьбы



Осевые дефекты резьбы в глухом отверстии



Осевые дефекты резьбы в сквозном отверстии

Проблемы и способы их устранения

Поверхность резьбы:

Качество поверхности резьбы определяется:

- технологией изготовления: нарезание, раскатывание, фрезерование;
- износом инструмента;
- геометрией;
- покрытием;
- обрабатываемым материалом;
- СОЖ и её достаточностью в зоне резания.

Примечание:

При нарезании и раскатывании резьбы практически невозможно повлиять на качество поверхности с помощью режимов резания. Однако, при резьбофрезеровании можно отдельно устанавливать скорость резания и подачу.

Оптимизация качества поверхности резьбы при резьбонарезании:

- Замена резьбонарезания раскатыванием резьбы или резьбофрезерованием.
- Увеличение переднего угла.
- Уменьшение толщины стружки за счет выбора метчиков с длинным заборным конусом или большим количеством стружечных канавок (однако, при использовании метчиков для глухих отверстий ухудшается стружкообразование).
- Как правило, покрытия TiN и TiCN позволяют добиться наилучшего качества поверхностей при обработке сталей (в алюминии – при обработке инструментами без покрытия или с покрытием CrN и DLC).



Метчик с покрытием TiCN в AISi7



Метчик с покрытием DLC в AISi7

- Использование обогащенной эмульсии/масла вместо обычной эмульсии.
- Подвод СОЖ непосредственно в зону резания.
- Раньше заменять используемый инструмент на новый.

Хотя некоторые меры и приводят к улучшению качества поверхности, но наряду с этим ухудшается стружкообразование, что представляет проблему, прежде всего, при нарезании резьбы в глубоких глухих отверстиях. В данном случае необходимо находить компромисс.

Износ:

Высокая твёрдость обеспечивает высокую износостойкость и тем самым долгий срок службы. Но увеличение твёрдости, как правило, приводит к снижению прочности.

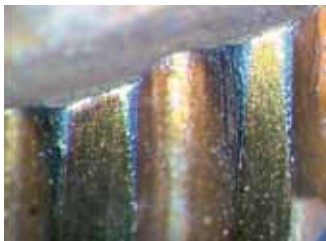
Для метчиков малого диаметра с большим углом подъёма винтовой канавки требуется высокая прочность, иначе возможна поломка инструмента.

Как правило, без проблем можно увеличивать твёрдость раскатников, метчиков с прямыми канавками и небольшим углом подъёма винтовой канавки, а также при обработке абразивных материалов с низким пределом прочности.

Нарост на инструменте:

Можно использовать специальные покрытия и поверхностную обработку в зависимости от обрабатываемого материала:

- Алюминий и алюминиевые сплавы: без покрытия, CrN, DLC, WC/C
- Мягкие и нержавеющие стали: паротерм. обработка
- Мягкие конструкционные стали: CrN



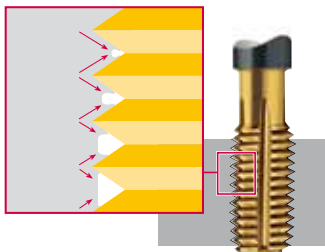
Пример абразивного износа



Пример нароста

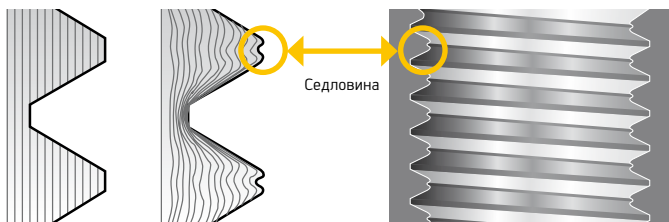
Методы обработки резьбы

Раскатывание резьбы представляет собой бесстружечный способ изготовления внутренней резьбы путем холодной пластической деформации. Под действием сил происходит смещение слоев материала. В результате образуется профиль упрочненный профиль резьбы. Поэтому необходимые при резбонарезании стружечные канавки становятся ненужными, что повышает стабильность работы инструмента.



Из-за пластической деформации и непрерывной структурой волокон профиля резьбы (см. изображение внизу справа) заметно повышаются как прочность на разрыв при статической нагрузке, так и усталостная прочность

при динамической нагрузке. В отличие от этого резьбы, полученной резбонарезанием и резбофрезерованием, характерна прерывистая текстура волокон (см. изображение внизу слева).



Следует отметить, что у резьбы, полученной раскатыванием, в области вершины профиля всегда образуется седловина. По этой причине существуют ограничения области применения раскатывания резьбы. Рассмотрим некоторые ограничения раскатывания.

- Пищевая и медицинская промышленность (скопление бактерий в кратере седловины)
- Автоматическая сборка резьбовых соединений деталей (возможно заклинивание резьбы из-за седловины)
- Аэрокосмическая промышленность

Раскатывание резьбы используется для серийного производства, например, в автомобилестроении. Бесстружечная геометрия раскатника и профиль в форме многоугольника со скруглёнными вершинами обеспечивают экстремально высокую стойкость и надёжность инструмента. Кроме того, в противовес резбонарезанию зачастую допустимы более высокие режимы резания наряду с увеличением стойкости инструмента. По сравнению с резбонарезанием раскатывание резьбы требует примерно на 30 % больший крутящий момент.

Примечание:

Под раскатывание резьбы в отличие от резбонарезания и резбобрезерования необходимо изготовить более точное отверстие под резьбу. Поэтому раскатывание резьбы не всегда является экономически выгодным методом. С учетом вышесказанного настоятельно рекомендуется рассматривать каждый случай отдельно. Формулы для расчёта диаметра отверстия под резьбу см. на стр. 70 - 71.

Различные формы заборного конуса целесообразны для следующих областей применения:

- Форма D, 3,5 - 5,5 нитки: сквозное отверстие
- Форма D, 2 - 3,5 нитки: глухое и сквозное отверстие
- Форма D, 1,5 - 2 нитки: глухое отверстие

Пластической деформации поддаются 65 % всех конструкционных материалов, используемых в промышленности. Ограничения представлены ниже:

- Хрупкие материалы с относительным удлинением менее 7 %, например
 - Серый чугун
 - Сплавы с содержанием кремния > 12 %
 - Медно-цинковые сплавы, дающие сегментную стружку
 - Реактопласты
- Шаг резьбы > 3 мм (раскатывание экономически-эффективно при шаге резьбы $\leq 1,5$ мм)
- Предел прочности > 1200 - 1400 Н/мм²

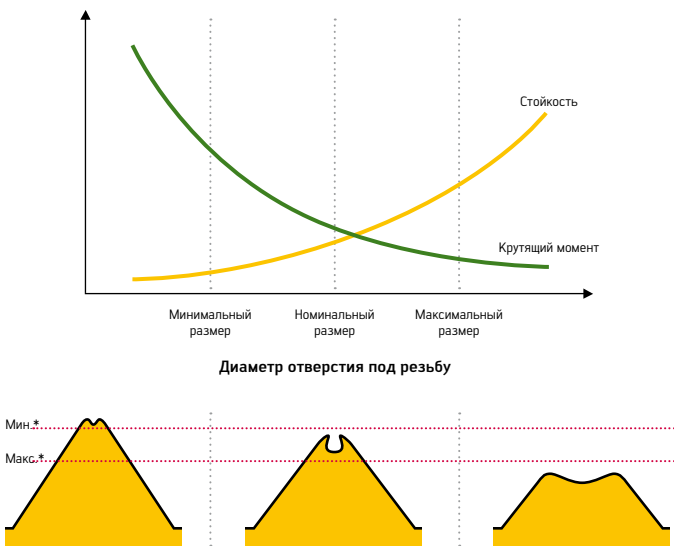
Основные материалы для раскатывания резьбы:

- Сталь
- Нержавеющая сталь
- Мягкие медные сплавы
- Алюминиевые деформируемые сплавы

Выбор диаметра отверстия под резьбу

Диаметр отверстия имеет большое значение для всего процесса раскатывания резьбы. С одной стороны, им определяется требуемый крутящий

момент и стойкость раскатника, с другой – формирование профиля резьбы. Эти взаимосвязи наглядно представлены на графике.



* Допуск на внутренний диаметр резьбы по DIN 13-50

Пример: M16 x 1,5-6H, 42CrMo4; Rm = 1100 Н/мм²

Предв. Ø: 15,22 мм
→ Внутр. Ø: 14,37 мм



Предв. Ø: 15,3 мм
→ Внутр. Ø: 14,51 мм



Предв. Ø: 15,34 мм
→ Внутр. Ø: 14,62 мм



Примечание:

Зависимость внутреннего диаметра резьбы от диаметра отверстия:

Если отверстие под резьбу увеличить на 0,04 мм, то внутренний диаметр резьбы (после раскатывания) увеличивается на 0,08 мм – т. е. в 2 раза.

Для обработки резьбы по DIN 13-50 необходимо обрабатывать отверстие большего диаметра под раскатывание, чем для резбонарезания. Например, для раскатывания резьбы с классом точности 6H минимальное значение

диаметра отверстия должно соответствовать классу точности резьбы 6H, однако максимальный диаметр отверстия соответствует по классу резьбе с полем допуска 7H. Эта зависимость представлена на диаграмме.



Совет:

Для серийного производства, прежде всего, следует оптимизировать диаметр отверстия под резьбу. При этом действует следующее правило:

диаметр отверстия под резьбу должен быть максимально большим, но не больше, чем допустимо.

Чем больше диаметр отверстия, тем:

- выше стойкость инструмента;
- легче и надёжнее процесс накатывания;
- меньше требуемый крутящий момент.

Следует учесть, что точность резьбы сохраняется!

Рекомендуемые значения диаметра отверстия под резьбу см. в таблице на стр. 116.

Модификации

	Графическое представление	Цель	Побочный эффект
Заборный конус, форма D		Увеличение стойкости	Незначительное увеличение машинного времени
Заборный конус, форма E		Обработка резьбы до самого дна отверстия и незначительное уменьшение машинного времени	Снижение стойкости
Радиальные каналы для СОЖ		Оптимальные условия для подвода СОЖ в зону резания (для глубокой резьбы и материалов с особыми характеристиками)	Увеличение инструментальных затрат
Канавки для СОЖ на хвостовике		Оптимальные условия подвода СОЖ в зону резания (менее эффективные, чем внутренние каналы для СОЖ)	—
Увеличение общей длины		Возможность обработки, когда требуется большой вылет инструмента	—
Покрытие и поверхностная обработка		Выбор покрытия, подходящего для данной области применения	Возможно увеличение инструментальных затрат

Проблемы и способы их устранения

Как правило, раскатывание резьбы отличается исключительно высокой технологической надёжностью. Преимущества раскатывания резьбы очевидны, прежде всего, при обработке резьбы в глубоких глухих отверстиях в мягких и вязких материалах, при обработке которых резьбонарезанием возможны проблемы с отводом стружки. Поэтому раскатывание резьбы является оптимальным решением для ряда случаев. Те материалы, которые чаще всего вызывают проблемы с эвакуацией стружки, например 19ГС, 18ХГ, Ст15, легко поддаются обработке раскатыванием.

Раскатывание резьбы также целесообразно, когда требуется высокое качество обработанной поверхности. Шероховатость поверхности резьбы после раскатывания, как правило, значительно меньше, чем после резьбонарезания.

Несмотря на преимущества, которые обеспечивает бесстружечная технология обработки резьбы, следует учитывать некоторые особенности в целях обеспечения технологической надёжности процесса раскатывания:

- Более жёсткий допуск на диаметр отверстия под резьбу в сравнении с резьбонарезанием (например, при М6 $\pm 0,05$ мм).
- В отверстиях под резьбу не должно оставаться никакой стружки после сверления. Для этого используйте спиральные свёрла с внутренним подводом СОЖ или раскатники с внутренними радиальными каналами для СОЖ. В крайнем случае, раскатник перед началом обработки следует на короткое время устанавливать над отверстием под резьбу.

- Для раскатывания требуется больший крутящий момент, чем для нарезания резьбы, поэтому следует изменить предварительные настройки патрона.
- При раскатывании следует уделять внимание выбору и способу подвода СОЖ — обработка с недостаточным количеством СОЖ или без СОЖ может иметь более серьезные последствия, чем при резьбонарезании. Это связано с тем, что при раскатывании действуют более высокие усилия, а канавки для СОЖ раскатников имеют меньшее поперечное сечение, чем стружечные канавки метчиков. Благодаря небольшим канавкам для СОЖ для раскатников характерна более высокая прочность, что необходимо для обработки с увеличенным крутящим моментом. Канавки для СОЖ с большим поперечным сечением были бы причиной сколов и выкрашиваний вследствие воздействия высоких нагрузок. Подробную информацию о СОЖ см. на стр. 60.
- С повышением температуры в зоне резания уменьшается коэффициент трения любого покрытия, поэтому увеличение скорости при раскатывании может увеличивать стойкость.
- Известные автопроизводители часто требуют соблюдения определенной несущей способности резьбы, что при использовании стандартных инструментов не всегда возможно.

Примечание:

Walter Prototyp предлагает инструменты для обработки посредством специальных профилей резьбы, соответствующие требованиям надёжности автопроизводителей.

Проблемы и способы их устранения

Ограничения использования раскатывания:

Достаточно сложно чётко определить пределы использования раскатывания резьбы, так как всегда существуют исключения, при которых ограничения успешно преодолеваются, либо конкретные значения вообще не определены.

– Предел прочности

В зависимости от материала и условий подвода СОЖ предельное значение составляет 1200 Н/мм². Однако, известны случаи, когда нержавеющая сталь хорошо поддавалась обработке раскатниками HSS-E, а жаропрочный сплав Inconel 718 – обработке твёрдосплавными раскатниками. При этом оба материала имели предел прочности 1450 Н/мм².

– Относительное удлинение

Обычно для относительного удлинения указывается минимальное значение 7 %. Однако известны случаи, когда выполнялось раскатывание ВЧ70, относительное удлинение которого 2 %. В результате обработки появились выкрашивания боковых поверхностей профиля резьбы, которые были допустимы в данном случае. В подобных случаях рассчитывать на повышенную прочность резьбы, полученную раскатыванием, не приходится.

– Шаг и профиль резьбы

При шаге >3-4 мм необходимо уменьшить указанные ранее допустимые значения предела прочности. Возможность обработки резьбы с боковыми поверхностями профиля под острым углом (например, 30° при трапецидальной резьбе) следует рассматривать индивидуально.

– Содержание кремния

Алюминиево-кремниевые сплавы могут

обрабатываться раскатыванием, если содержание кремния в них не более 10 %. Однако также известны случаи обработки, при которых содержание кремния составляло 12-13 %. Разумеется, в данном случае важно учитывать ухудшение качества поверхности резьбы, а также ее прочности на разрыв.

– Седловина

Неизбежно образующаяся седловина на вершине профиля резьбы может вызывать проблемы при автоматической сборке и очистке резьбы. Первые нитки резьбы могут деформироваться при врезании в седловину. Использование резьбы, полученной раскатыванием, не допускается в оборудовании для пищевой и медицинской промышленности, так как загрязнения в седловинах невозможно удалить промыванием.

Примечание:

Walter Prototyp предлагает специальные инструменты, при использовании которых исключается образование седловин. Известны случаи, когда заказчики, изначально настроенные против раскатывания резьбы, изменяли решение.



Профиль резьбы с использованием стандартного раскатника



Профиль резьбы с использованием специального раскатника

– Авиационная промышленность

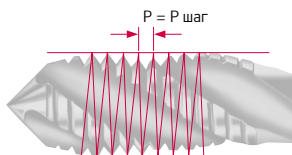
В авиационной промышленности использование технологии раскатывания резьбы недопустимо. Структурные изменения, возникающие при раскатывании резьбы или сварке, здесь просто недопустимы.

Методы обработки резьбы

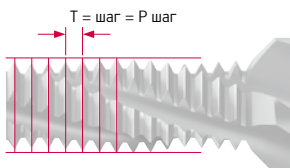
Основные аспекты резьбофрезерования:

- Трёхкоординатный станок с ЧПУ (что считается стандартом).
- Стандартные резьбофрезы для обработка резьбы глубиной $2,5 \times D_N$, орбитальные резьбофрезы применяются для обработки резьбы глубиной $3 \times D_N$.
- Увеличение инструментальных затрат по сравнению с резьбонарезанием.
- Зачастую для изготовления резьбы большего диаметра с небольшим шагом эффективнее использовать резьбонарезание и раскатывание резьбы.

В отличие от резьбонарезания и раскатывания при резьбофрезеровании шаг резьбы определяется программированием.



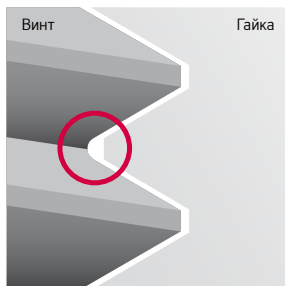
Резьбонарезание: шаг резьбы P формируется метчиком/раскатником.



Резьбофрезерование: шаг резьбы P определяется программированием (обработка по винтовой интерполяции).

Теоретически резьбофрезы для внутренней резьбы можно использовать для обработки наружной резьбы. Но подобная резьба не будет соответствовать стандарту, так как чтобы исключить зарезы на внутренний диаметр, наружный диаметр уменьшается в результате обработки.

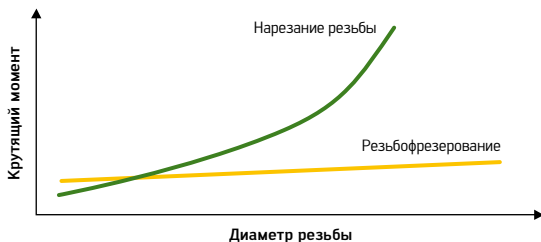
Но так как точность резьбы проверяется калибром по среднему диаметру, то точность резьбы обеспечивается.



Методы обработки резьбы

В отличие от резьбонарезания и раскатывания резьбы при резьбофрезеровании требуемый крутящий момент с увеличением диаметра резьбы увеличива-

ется незначительно. Поэтому обработка резьбы большого диаметра возможна и на станках с небольшой мощностью привода.

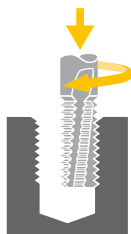


Резьбофрезерование — это исключительно надёжный технологический процесс.

При резьбофрезеровании обычно образуется сегментная стружка, поэтому не возникает никаких проблем с ее отводом.

Кроме того, для резьбофрезерования не требуется использование какого-либо специального зажимного патрона — практически все стандартные фрезерные патроны могут использоваться также и для резьбофрезерования.

Различают два основных вида фрезерования:



Встречное фрезерование

(при нарезании правой резьбы сверху вниз) Встречное фрезерование предпочтительно для обработки закалённых материалов или для устранения недопустимой конусности резьбы.



Попутное фрезерование

(при нарезании правой резьбы снизу вверх) Попутное фрезерование увеличивает стойкость и предотвращает дробление, но при этом повышается конусность резьбы.

Примечание:

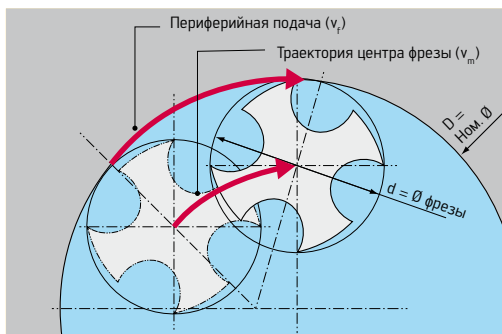
Система Walter GPS автоматически выбирает вид обработки для конкретного случая с соблюдением как специфики инструмента, так и самой технологии.

Коррекция подачи

Так как резбобфреза перемещается по круговой траектории, и режущая кромка проходит больший путь, чем центр инструмента, различают периферийную подачу и подачу центра инструмента. Так как под подачей инструмента всегда понимается подача центра, необходимо уменьшить подачу резбобфрезы.

Примечание:

При обработке наружной резьбы всё наоборот.



Программа Walter GPS автоматически пересчитывает значение подачи при генерировании программы для станка с ЧПУ. Однако некоторые системы ЧПУ также автоматически уменьшают подачу. Поэтому следует отменить автоматическое уменьшение подачи на стойке ЧПУ посредством специальной команды с кодом G. Чтобы определить корректирует ли станок подачу автоматически, необходимо сравнить время цикла, рассчитанного программой GPS, с фактическим.

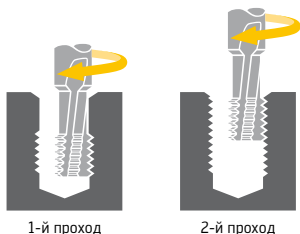
Совет:

Чтобы определить, выполняет ли станок автоматическую корректировку подачи, можно запустить операцию в тестовом режиме без детали. Сравнение фактического времени цикла со временем, рассчитанным программой Walter GPS, покажет необходимость корректировки подачи в программе ЧПУ.

Методы обработки резьбы

Для уменьшения действующих на инструмент радиальных сил возможны различные стратегии обработки:

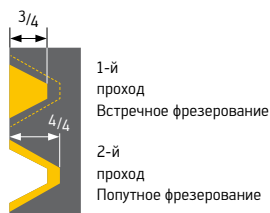
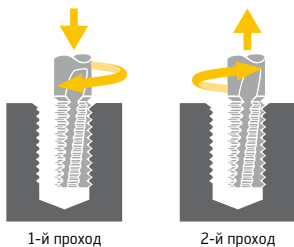
Осевая стратегия



Примечание:

При осевой стратегии необходимо учесть, что резьбофреза всегда смещается на кратное шага резьбы.

Радиальная стратегия



Преимущества:

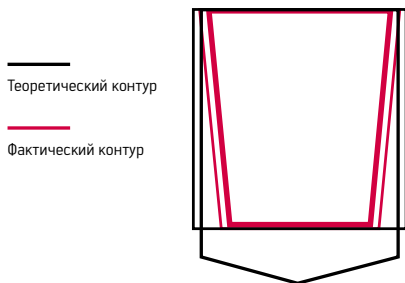
- Возможна обработка глубокой резьбы.
- Снижение риска поломки инструмента.
- Резьбофрезерование возможно при относительно нежёстком закреплении заготовки.
- Не образуется конусность резьбы.

Недостатки:

- Повышенный износ инструмента.
- Увеличение машинного времени.

Степень воздействия сил резания на режущую часть обычно больше, чем на хвостовик резьбофрезы. Это приводит к образованию конусности резьбы. Поэтому при использовании обычной резьбофрезы при обработке стали сле-

дует учитывать образование конусности примерно на 1/1000 мм на каждый миллиметр глубины резьбы. Это вызвано действием радиальных сил на резьбофрезу.



Чтобы противостоять законам физики, в конструкции резьбофрез уже предусмотрена небольшая конусность. При сложных условиях обработки может потребоваться принятие одной из следующих мер:

- Несколько радиальных проходов.
- Выполнение всех радиальных проходов в противоположном направлении.
- В завершении технологического процесса выполнение холостого прохода без дополнительного радиального перемещения.

Примечание:

В качестве альтернативы возможно использование орбитальных резьбофрез (ТМО), применяемых для обработки цилиндрической резьбы вплоть до дна отверстия.

Хотя вышеназванные меры приводят к увеличению машинного времени, иногда они необходимы, если обеспечить точность резьбы иными способами невозможно.

Конусность, прежде всего, представляет проблему для обеспечения точности резьбы с жестким допуском, а также при нарезании резьбы в материалах, трудно поддаются механической обработке (например, сплав Inconel).

Искажение профиля

При перемещении инструмента по спирали в результате копирования профиля на заготовку образуется профиль

резьбы с искажением. Так называемое искажение профиля представлено на рисунках.



Нет наклона – нет искажения



Наклон $P=12$ – искажение профиля

Примечание:

Чем ближе диаметр фрезы к номинальному диаметру резьбы и чем больше шаг резьбы, тем сильнее искажение профиля резьбы.

Для обеспечения точности резьбы необходимо соблюдать следующие правила:

Метрическая резьба:

Диаметр фрезы $\leq \frac{2}{3}$ х ном. диаметр резьбы

Метрическая резьба, мелкая:

Диаметр фрезы $\leq \frac{3}{4}$ х ном. диаметр резьбы

Искажение профиля на примере резьбы M18 x 1,5

Диаметр резьбофрезы, мм	Искажение профиля резьбы, мм
16	0,0386
14	0,0167

Теоретически, резьбофрезами малого диаметра можно нарезать любую резьбу. Однако с увеличением диаметра резьбы снижается стойкость инстру-

мента, ограничивающими факторами являются также стабильность и длина режущей части резьбофрезы.

Примечание:

Из-за искажения профиля необходимо оценивать техническую возможность обработки специальной резьбы, а также резьбы с небольшим углом профиля.

Программирование станков с ЧПУ

Программа Walter GPS для программирования станков с ЧПУ

Как правило, рекомендуется использовать Walter GPS для генерирования программы ЧПУ. Это целесообразно, так как система GPS в отличие от стандартных встроенных циклов обработки учитывает прочность инструмента и на случай его возможной перегрузки предусматривает снижение режимов резания или переход на радиальную стратегию обработки.

Примечание:

Рекомендуется выбирать радиальную стратегию с одинаковой подачей на зуб для каждого прохода, а не задавать большую подачу для первого прохода с последующим уменьшением подачи на зуб. При малом значении подачи на зуб износ режущей кромки становится непропорционально высоким.

В программе Walter GPS даже неопытные пользователи смогут быстро и легко сгенерировать программу резьбофрезерования для 7 различных систем управления. В отличие от предшественника, программы CCS, в новой версии значительно оптимизирован интерфейс. Кроме того, автоматически предлагается наиболее экономичная стратегия по обработке резьбы.

Каждая программная строка дополнена комментариями, благодаря чему понятны все движения инструмента (меню на различных языках). Ниже представлен пример программы ЧПУ для фрезерования внутренней резьбы по DIN 66025.

Comment	Code
Tool radius presetting	G19. G17 R=9mm G 545 mm
Tool call in	G1 M6 T
Selection of working plane	G2 G90 G17
Spindle on	G3 S5540 M3
2 mm above workpiece surface on centerline of thread	G4 G00 X0.000 Y0.000 Z2.000
Start incremental programming	G5 G91
Move to required depth on centerline of the predifined hole	G6 G00 Z-17.375
Set approach path for entry loop	G7 G41 G01 X0.000 Y3.750 F1450
Move to the contour starting point	G8 G03 X0.000 Y-8.750 Z0.375 G 000 J-4.375 F175
Thread milling	G9 G03 X0.000 Y0.000 Z1.500 H 000 J0.000 F363
Move out of the contour	G10 G03 X0.000 Y0.750 Z0.375 H 000 J4.375
Reset to centerline	G11 G40 G01 X0.000 Y-3.750
Retract from thread	G12 G00 Z15.125
Start absolute programming	G13 G90

Программирование станков с ЧПУ

Программируемый радиус

Программируемый радиус – сокращение 'Rprg.' – является важным параметром. Он рассчитывается на основании среднего диаметра резьбофрезы и обеспечивает точность обработки резьбы. Отпадает необходимость в выборе поправочного коэффициента. Программируемый радиус можно найти на хвостовике резьбофрезы и использовать для описания параметров инструмента при настройке станка.

Величина программируемого радиуса математически определена таким образом, что при работе инструмента по программе ЧПУ достигается минимальное значение поля допуска резьбы. При генерировании программы ЧПУ с помощью GPS, отображается поправочный коэффициент, который позволяет получить резьбу в середине поля допуска резьбы. Поправочный коэффициент следует вычесть из значения програм-

мируемого радиуса, затем ввести скорректированное значение радиуса в программу ЧПУ.

В процессе обработки режущие кромки инструмента изнашиваются, что является причиной получения тугонрезьбы из-за отклонения инструмента. Износ можно компенсировать посредством уменьшения программируемого радиуса – при этом точность нарезаемой резьбы сохранится. Рекомендуемый шаг корректировки: 0,01 мм. В случае резьбофрез малого диаметра частая корректировка радиуса невозможна, как для резьбофрез большого диаметра, так как увеличиваются радиальные силы, и растёт вероятность поломки инструмента. Поэтому после переточки инструментов рекомендуется заменять их по достижению 80 % максимальной возможной стойкости.



Модификации

Графическое представление	Модификация	Эффект
	Обработка фаски или расточка	Обработка фаски и расточка: две функции в одном инструменте
	Канавки для СОЖ на хвостовике	Подвод СОЖ без уменьшения диаметра режущей части инструмента
	Внутренние радиальные каналы для СОЖ	Подвод СОЖ в зону резания при нарезании резьбы в сквозных отверстиях
	Сотшлифованы нитки резьбы	Снижение усилий резания, но увеличение времени обработки, так как требуется два прохода
	Кромка для обрезки заусенцев	Удаление неполной нитки резьбы на входе резьбы без дополнительного прохода
	Удлинение режущей части с торца	Обработка фаски у резьбового отверстия
	Подточка шейки	Обеспечивает возможность обработки с большим вылетом – целесообразно для глубокой резьбы

Проблемы и способы их устранения

		Проблема					
		Следы дробления	Низкая стойкость	Сколы режущих кромок	Конусность резьбы	Поломка инструмента	Точность
Режимы резания/стратегия/настройки	f_z , [мм/зуб]	+	+	🔍	—	—	
	v_c , [м/мин]	—	—	🔍		🔍	
	Программирование			🔍		🔍	🔍
	Попутное фрезерование	✓	✓				
	Встречное фрезерование				✓		✓
	Стратегия	✓		✓	✓	✓	✓
	Прогр. радиус [Rprg.]						—
	Подвод СОЖ		+	+			
Заготовка	Зажим	🔍	+	+	🔍	🔍	🔍
	Диаметр отверстия под резьбу	🔍	+	🔍	🔍	🔍	+
	Отвод стружки		+	+		🔍	
Инструмент	Стабильность/геометрия	🔍	+	+	🔍	🔍	+
	Вылет инструмента	—	—	—	—	—	—
	Угол наклона канавки	+			+		
	Покрытие		🔍				
	Радиальное биение	🔍	🔍	🔍		🔍	🔍

Легенда:

 проверить
  уменьшить
  оптимизировать/повысить
  приоритетное использование

ТМО – специалисты по решению сложных задач:

Резьбофрезы серии ТМО могут решить большинство сложных задач, например, когда необходимо изготовить резьбу в глубоких отверстиях, обработать закалённые материалы или если обычные резьбофрезы нарезают резьбу с конусностью. Подробную информацию на стр. 36 и 102 - 105.

Конусность резьбы:

Описание и решения проблемы, стр. 102 - 105.

Примечание:

Использование резьбофрез серии ТМО – технологически оптимальная альтернатива для обработки цилиндрической резьбы.

Охлаждение и смазывание:

Проблемы, обусловленные СОЖ, а также соответствующие меры по их устранению представлены на стр. 59.

Обработка закалённых материалов:

- Использовать только специально предназначенные для обработки закалённых материалов резьбофрезы (ТМО HRC и резьбофрезы Hart 10).
- Возможна обработка в противоположном направлении (см. рекомендацию по Walter GPS).
- Выбор максимально допустимого диаметра отверстия под резьбу.
- В случае проблем с цилиндричностью резьбы выполнить холостой проход или резьбофрезы серии ТМО HRC.
- Не использовать СОЖ, а удалить твёрдую стружку из отверстия с помощью сжатого воздуха или масляного тумана.

Формулы

Частота вращения

$$n \text{ [min}^{-1}\text{]} \qquad n = \frac{v_c \times 1000}{d_1 \times \pi} \qquad \text{[мин}^{-1}\text{]}$$

Скорость резания

$$v_c \text{ [m/min]} \qquad v_c = \frac{d_1 \times \pi \times n}{1000} \qquad \text{[м/мин]}$$

Подача

$$v_f \text{ [mm/min]} \qquad v_f = p \times n \qquad \text{[мм/мин]}$$



Диаметр отверстия для резьбонарезания и резьбофрезерования

M Метрическая крупная резьба ISO

Обозначение по DIN 13	Внутренний диаметр резьбы (мм)		Диаметр сверла Ø (мм)
	6H мин.	6H макс.	
M 2	1,567	1,679	1,60
M 2,5	2,013	2,138	2,05
M 3	2,459	2,599	2,50
M 4	3,242	3,422	3,30
M 5	4,134	4,334	4,20
M 6	4,917	5,153	5,00
M 8	6,647	6,912	6,80
M 10	8,376	8,676	8,50
M 12	10,106	10,441	10,20
M 14	11,835	12,210	12,00
M 16	13,835	14,210	14,00
M 18	15,294	15,744	15,50
M 20	17,294	17,744	17,50
M 24	20,752	21,252	21,00
M 27	23,752	24,252	24,00
M 30	26,211	26,771	26,50
M 36	31,670	32,270	32,00
M 42	37,129	37,799	37,50

MF Метрическая мелкая резьба ISO

Обозначение по DIN 13	Внутренний диаметр резьбы (мм)		Диаметр сверла Ø (мм)
	6H мин.	6H макс.	
M 6 x 0,75	5,188	5,378	5,25
M 8 x 1	6,917	7,153	7,00
M 10 x 1	8,917	9,153	9,00
M 10 x 1,25	8,647	8,912	8,75
M 12 x 1	10,917	11,153	11,00
M 12 x 1,25	10,647	10,912	10,75
M 12 x 1,5	10,376	10,676	10,50
M 14 x 1,5	12,376	12,676	12,50
M 16 x 1,5	14,376	14,676	14,50
M 18 x 1,5	16,376	16,676	16,50
M 20 x 1,5	18,376	18,676	18,50
M 22 x 1,5	20,376	20,676	20,50

UNC Резьба Unified Coarse (с крупным шагом)

Обозначение по ASME B 1.1	Внутренний диаметр резьбы (мм)		Диаметр сверла (мм)
	2В мин.	2В макс.	
N ^o 2-56	1,694	1,872	1,85
N ^o 4-40	2,156	2,385	2,35
N ^o 6-32	2,642	2,896	2,85
N ^o 8-32	3,302	3,531	3,50
N ^o 10-24	3,683	3,962	3,90
$\frac{1}{4}$ -20	4,976	5,268	5,10
$\frac{5}{16}$ -18	6,411	6,734	6,60
$\frac{3}{8}$ -16	7,805	8,164	8,00
$\frac{1}{2}$ -13	10,584	11,013	10,80
$\frac{5}{8}$ -11	13,376	13,868	13,50
$\frac{3}{4}$ -10	16,299	16,833	16,50

UNF Резьба Unified Fine (мелкая)

Обозначение по ASME B 1.1	Внутренний диаметр резьбы (мм)		Диаметр сверла (мм)
	2В мин.	2В макс.	
N ^o 4-48	2,271	2,459	2,40
N ^o 6-40	2,819	3,023	2,95
N ^o 8-36	3,404	3,607	3,50
N ^o 10-32	3,962	4,166	4,10
$\frac{1}{4}$ -28	5,367	5,580	5,50
$\frac{5}{16}$ -24	6,792	7,038	6,90
$\frac{3}{8}$ -24	8,379	8,626	8,50
$\frac{1}{2}$ -20	11,326	11,618	11,50
$\frac{5}{8}$ -18	14,348	14,671	14,50

G Трубная резьба

Обозначение по DIN EN ISO 228	Внутренний диаметр резьбы (мм)		Диаметр сверла (мм)
	мин.	макс.	
G $\frac{1}{8}$	8,566	8,848	8,80
G $\frac{1}{4}$	11,445	11,890	11,80
G $\frac{3}{8}$	14,950	15,395	15,25
G $\frac{1}{2}$	18,632	19,173	19,00
G $\frac{5}{8}$	20,588	21,129	21,00
G $\frac{3}{4}$	24,118	24,659	24,50
G 1	30,292	30,932	30,75

Диаметр отверстия для раскатывания резьбы

M Метрическая крупная резьба ISO, допуск 6H

Обозначение по DIN 13	Внутренний диаметр резьбы по DIN 13-50 (мм)		Диаметр предв. обработки (мм)
	6H мин.	7H макс.	
M 1,6	1,221	-	1,45
M 2	1,567	1,707	1,82
M 2,5	2,013	2,173	2,30
M 3	2,459	2,639	2,80
M 3,5	2,850	3,050	3,25
M 4	3,242	3,466	3,70
M 5	4,134	4,384	4,65
M 6	4,917	5,217	5,55
M 8	6,647	6,982	7,40
M 10	8,376	8,751	9,30
M 12	10,106	10,106	11,20
M 14	11,835	12,310	13,10
M 16	13,835	14,310	15,10

MF Метрическая мелкая резьба ISO, допуск 6H

Обозначение по DIN 13	Внутренний диаметр резьбы по DIN 13-50 (мм)		Диаметр предв. обработки (мм)
	6H мин.	7H макс.	
M 6 x 0,75	5,188	5,424	5,65
M 8 x 1	6,917	7,217	7,55
M 10 x 1	8,917	9,217	9,55
M 12 x 1	10,917	11,217	11,55
M 12 x 1,5	10,376	10,751	11,30
M 14 x 1,5	12,376	12,751	13,30
M 16 x 1,5	14,376	14,751	15,30

Твёрдость обрабатываемого материала

Предел прочности Rm, Н/мм ²	Твёрдость по Бринеллю HB	Твёрдость по Роквеллу HRC	Твёрдость по Виккерсу HV	PSI
150	50		50	22
200	60		60	29
250	80		80	37
300	90		95	43
350	100		110	50
400	120		125	58
450	130		140	66
500	150		155	73
550	165		170	79
600	175		185	85
650	190		200	92
700	200		220	98
750	215		235	105
800	230	22	250	112
850	250	25	265	120
900	270	27	280	128
950	280	29	295	135
1000	300	31	310	143
1050	310	33	325	150
1100	320	34	340	158
1150	340	36	360	164
1200	350	38	375	170
1250	370	40	390	177
1300	380	41	405	185
1350	400	43	420	192
1400	410	44	435	200
1450	430	45	450	207
1500	440	46	465	214
1550	450	48	480	221
1600	470	49	495	228
		51	530	247
		53	560	265
		55	595	283
		57	635	
		59	680	
		61	720	
		63	770	
		64	800	
		65	830	
		66	870	
		67	900	
		68	940	
		69	980	

Определение крутящего момента для резьбонарезных патронов

Рекомендуемые значения определения крутящего момента для резьбонарезных патронов

Тип резьбы	Размер [мм]	Шаг [мм]	Базовый крутящий момент для метчиков [Н*м]	Макс. допустимый крутящий момент для метчиков [Н*м]	Базовый крутящий момент для раскатников [Н*м]
M, MF	1	≤ 0,25	0,03*	0,03	0,07*
M, MF	1,2	≤ 0,25	0,07*	0,07	0,12
M, MF	1,4	≤ 0,3	0,1*	0,1	0,16
M, MF	1,6	≤ 0,35	0,15*	0,15	0,25
M, MF	1,8	≤ 0,35	0,24*	0,24	0,3
M, MF	2	≤ 0,4	0,3*	0,3	0,4
M, MF	2,5	≤ 0,45	0,5	0,6	0,6
M, MF	3	≤ 0,5	0,7	1	1
M, MF	3,5	≤ 0,6	1,2	1,6	1,5
M, MF	4	≤ 0,7	1,7	2,3	2,4
M, MF	5	≤ 0,8	3	5	4
M, MF	6	≤ 1,0	5,5	8,1	8
M, MF	8	≤ 1,25	12	20	17
M, MF	10	≤ 1,5	20	41	30
M, MF	12	≤ 1,75	35	70	50
M, MF	14	≤ 2,0	50	130	75
M, MF	16	≤ 2,0	60	160	85
M, MF	18	≤ 2,5	100	260	150
M, MF	20	≤ 2,5	110	390	160
M, MF	22	≤ 2,5	125	450	170
M, MF	24	≤ 3,0	190	550	260
M, MF	27	≤ 3,0	220	850	290
M, MF	30	≤ 3,5	320	1100	430
M, MF	33	≤ 3,5	350	1600	470
M, MF	36	≤ 4,0	460	2300	650
M, MF	39	≤ 4,0	500		
M, MF	42	≤ 4,5	700		
M, MF	45	≤ 4,5	750		
M, MF	48	≤ 5,0	900		
M, MF	52	≤ 5,0	1000		
M, MF	56	≤ 5,5	1300		

Данные в таблице для материала 40XM, 1000 Н/мм², глубина резьбы 1,5 x D_N. С помощью таблицы с коэффициентами можно адаптировать значения для других материалов.

Для значений с символом * крутящий момент, требуемый для обработки резьбы глубиной 1,5 x D_N, превышает предельно допустимый крутящий момент инструмента. Способ устранения: обработка резьбы за несколько заходов.

Поправочные коэффициенты для других материалов

Материал	Коэффициент
Сталь мягкая	0,7
Сталь 1200 Н/мм ²	1,2
Сталь 1600 Н/мм ²	1,4
Нержавеющая сталь	1,3
СЧ/ВЧ	0,6
Алюминий/медь	0,4
Титановые сплавы	1,1
Никелевые сплавы	1,4

Таблица предназначена для правильной настройки крутящего момента резьбонарезных патронов (при возможности их регулировки). При слишком высоком значении крутящего момента возникает риск поломки инструмента. При слишком низком значении инструмент может заклинить в ходе обработки – при этом станок будет работать. Если в какой-то момент уровень восприятия нагрузки в патроне не достаточен, инструмент будет разрушен, а станок поврежден.

