

РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ШТАМПОВ И ПРЕСС-ФОРМ

Краткое справочное руководство

Russian Version



Содержание

Предисловие	3
Материалы для штампов и пресс-форм	5
Типичные примеры штампов и пресс-форм	9
Режущий инструмент в прессоштамповом производстве	10
Фрезы	11
1. Фрезерование прямоугольных уступов	15
2. Фрезерование плоских поверхностей	40
3. Фрезерование фасонных поверхностей	48
Инструмент для обработки отверстий	129
В заключение	131
Справочная информация	132

Семейства режущего инструмента ИСКАР, рассматриваемые в руководстве

1. Фрезы



BALLPLUS
CHATTERFREE
SOLID MILL LINE
DROPMILL
FEEDMILL
FINISHRED
FLEXFIT

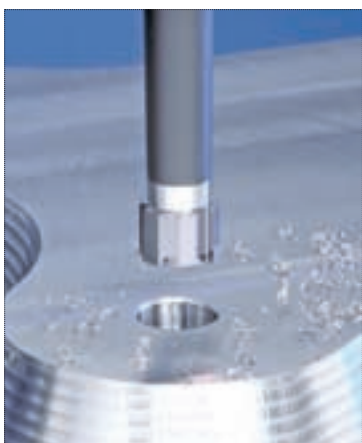


HELIBALL
HELIDO
490 LINE
HELIDO
600 UPFEED LINE
HELIDO
845 LINE
HELIDO
ROUND H400 LINE
HELITANG
T490 LINE



MILLSHRED
MULTI-MASTER
SOLIDMILL
SOLID CARBIDE LINE
SUMOMILL
290 LINE
TANGPLUNGE
PLUNGING LINE

2. Инструмент для обработки отверстий



BAYO TREAM
CHAMGUN
DR-TWIST
INDEXABLE DRILL LINE
ISCARDR-DH



SOLIDDRILL
SUMOCHAM
CHAMDRILL LINE
SUMODRILL



Предисловие

Многое вокруг нас, будь то предметы повседневного быта, заготовки или полностью законченные промышленные изделия, выпускается в штампах и пресс-формах: блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания или детская игрушка, пластмассовый контейнер или коленчатый вал, бутылка или турбинная лопатка, оловянный солдатик или лодка... Технология изготовления всего перечисленного, столь разного по форме, материалам, размерам и механическим свойствам, прямо связана с прессоштамповым производством.

Штампы и пресс-формы представляют собой сборочные узлы и состоят из различных элементов - узлов и деталей, частью стандартизованных и унифицированных. Однако, окончательный вид изделия, производимого в штампе либо пресс-форме, определяется прежде всего несколькими главными компонентами: матрицей, пуансоном и т.д. Именно изготовление таких компонентов и является наиболее ответственным моментом в изготовлении штампа или формы, требующим высокую профессиональную подготовку и опыт. Неслучайно специалисты-инструментальщики традиционно считались наиболее квалифицированными работниками в заводских цехах. Внедрение многокоординатных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и систем автоматизированного проектирования (САПР) коренным образом изменило изготовление штампов и пресс-форм и привело к созданию отдельной отрасли: прессоштампового производства современной металлообрабатывающей индустрии.

Технологический процесс выпуска штампов или пресс-форм зависит от их профиля, размеров и материала. Профиль и размеры определяются производимым изделиями, а материал - методом и объемом выпуска изделий.

Главным потребителем прессоштампового производства является автомобилестроение. Примерно 60% изготавливаемых штампов и 40% пресс-форм для пластмасс заняты выпуском автомобильных деталей.

Среди большого разнообразия штампов и пресс-форм можно выделить следующие основные группы: штампы дляковки и объёмной штамповки, штампы для листовой штамповки, прессующие штампы, кокили и для литья под давлением и пресс-формы.

Сложность изготовления штампа (пресс-формы) определяется, главным образом, его профилем и размерами:

- Простые штампы и пресс-формы отличаются простым профилем ("простая гравюра"), неглубокими полостями и т.д.
- Для штампов и пресс-форм средней сложности характерны более трудоёмкий для производства рельеф, увеличенные габариты и полости, достаточно крутые стены пр.
- В трудных для производства штампах и пресс-формах присутствуют сложнопрофильные поверхности ("сложная гравюра"), узкие и глубокие полости, значительный перепад по высоте для отдельных участков и т.п. Кроме того, сложность изготовления зависит и от обрабатываемости материала штампа или пресс-формы резанием.

Ключом к производительному и эффективному выпуску штампов и пресс-форм является технологический процесс - детальная последовательность технологических операций, которая включает обработку резанием, сборку и доводку. САПР и системы автоматизированной подготовки управляющих программ (УП) позволяют значительно упростить и ускорить анализ конструкции штампа или пресс-формы на технологичность, определение стратегии обработки, создание УП и симуляцию операции технологического процесса для того, чтобы найти самое действенное решение и в наибольшей мере использовать преимущества современных станков.

Назначенная стратегия механической обработки прямо связана с правильным подбором режущего инструмента. Именно инструмент, тот небольшой и кажущийся второстепенный элемент в процессе производства штампа или пресс-формы, может стать существенным резервом повышения производительности и рентабельности. Мы, сотрудники ИСКАР, отчётливо представляем его роль в металлообработке вообще и в прессоштамповом производстве в частности и пытаемся обеспечить нашего потребителя-инструментальщика надёжным и эффективным инструментом, который будет отвечать насущным требованиям отрасли. Выбор инструмента зависит от различных факторов. Попытаемся кратко рассмотреть их сквозь призму характерных особенностей того или иного инструмента, построив таким образом основу для верного выбора.

Материалы для производства штампов и пресс-форм

Как уже отмечалось, в конструкции штампа или пресс-формы присутствуют различные стационарные и подвижные детали: пружины, болты, штифты, втулки, фиксаторы, опорные стойки и т.д. Они изготавливаются из разных материалов, начиная с пластика и заканчивая твёрдым сплавом.

Однако, существуют группы материалов, из которых выпускаются ключевые, важнейшие с точки зрения предназначения, детали штампа или пресс-формы. С обработкой таких материалов и связаны специфические потребности прессоштампового производства, и на них стоит остановиться подробнее.

Инструментальные стали:

Как следует из самого названия, инструментальные стали служат прежде всего для изготовления инструментов для резания материалов или их обработки давлением. Различные национальные и международные стандарты определяют системы обозначения инструментальных сталей. Более того, металлургические компании, стремясь найти ответ на нужды своих заказчиков, выпускают стали в соответствии с собственными системами кодирования. Для таких сталей часто отсутствует обозначение по стандарту, и вместо него используется торговая марка. В справочной информации в конце руководства приводится таблица с обозначениями материалов, принятыми стандартами различных стран.

При изготовлении штампов и пресс-форм сталкиваются с необходимостью обработки сталей в широком диапазоне твёрдости: от низкой (HB 200 и ниже) до высокой (HRC 63).

В соответствии с системой обозначения материалов Американского института чёрной металлургии (AISI) и Общества автомобильных инженеров (SAE) определены 6 категорий инструментальных сталей широкого применения и 2 класса специальных инструментальных сталей. Из них наибольшее распространение в производстве штампов и пресс-форм нашли следующие:

- Инструментальные стали для холодного деформирования, включая А-серию (среднелегированная с закалкой на воздухе), D-серию (высокоуглеродистая высокохромистая) и О-серию (с закалкой в масле)
 - Инструментальная сталь для горячего деформирования H-серии
 - Инструментальная сталь с закалкой в воде W-серии
 - Инструментальная сталь для пресс-форм Р-серии
 - Ударопрочная инструментальная сталь S-серии
 - Низколегированная инструментальная сталь для специальных приложений L-серии
- Сталелитейная индустрия поставляет металлообрабатывающим предприятиям сталь в различных состояниях: отожжённую, закалённую и отпущенную до предварительной повышенной твёрдости, а также высокой твёрдости. В результате прессоштамповое производство сталкивается с необходимостью обработки инструментальных сталей в широком диапазоне твёрдости: от HB 200 и ниже (низкой твёрдости) до HRC 63 и даже более (высокой твёрдости). Как правило, значительный темп (интенсивность) удаления металла наблюдается при черновом резании мягких сталей, в то время как необходимость обеспечения жёстких допусков диктует небольшие припуски при чистовом резании твёрдых сталей. Понятие “средняя твёрдость” пока не нашло строгого определения. Оно говорит, что сталь закалена и отпущена до относительно невысокой твёрдости, однако сталелитейные компании ориентируются на различные значения твёрдости в данном вопросе. Обычно подразумевается твёрдость ниже HRC 45, хотя в технической литературе такие значения часто относят и к

сталям высокой твёрдости. Очевидно, отсутствие единства в отношении определения связано и с развитием режущего инструмента и его способностью обрабатывать всё более твёрдые материалы. Тем не менее, в зависимости от твёрдости среди инструментальных сталей, распространённых в прессштамповом производстве, можно выделить следующие типичные группы:

- Мягкие стали твёрдостью до HB 250
- Стали средней твёрдости двух видов:
 - HRC 30-37
 - HRC 38-44
- Стали высокой твёрдости трёх видов:
 - HRC 45-49
 - HRC 50-55
 - HRC 56-63 и даже более.

В таблице 1 представлены типичные инструментальные стали, наиболее часто встречающиеся в производстве штампов и пресс-форм.

Таблица 1. Типичные инструментальные стали в производстве штампов и пресс-форм

Категория	Обозначение		Вариант поставки		Закалка до высокой твёрдости	Пример применения
	AISI/SAE	~ГОСТ	После отжига	Средн. твёрдости		
Стали для холодного деформирования	A2	95X5ГМ	HB 220		HRC 56-60	Вырубные гибочные штампы, экструзионные матрицы
	D2	X12BMФ	HB 210		HRC 56-62	Штампы для холодной штамповки, вырубки, ковочные штампы, мастер-пуансоны
	D3	X12	HB 240		HRC 56-62	Штампы для холодной штамповки, волочения, вырубки, ковочные штампы
	O1	95XГВФ	HB 200		HRC 58-62	Фасонные матрицы, штампы для холодной штамповки, волоки
Стали для горячего деформирования	H11	4X5МФС	HB 180		HRC 46-52	Формы для горячего прессования и экструзии, литейные формы для лёгких сплавов
Инструментальная сталь	H13	4X5МФ1С	HB 190		HRC 44-54	Литейные формы, пуансоны, пресс-формы
Стали для пресс-форм	P20	4ХС	HB 280	HRC 32-36	HRC 48-52	Пресс-формы для пластмасс
Ударопрочные стали	S7	5X3М2Ф	HB 200		HRC 50-58	Молотовые штампы, мастер-пуансоны, экструзионные матрицы
Стали для спец. приложений	L6	5X3М2Ф	HB 230	HRC 36-44	HRC 50-60	Молотовые штампы, литейные формы, пресс-формы

Мартенситно-старееющие стали, которые не относятся к группе инструментальных сталей, всё чаще и чаще применяются в прессоштамповом производстве, например, для изготовления пресс-форм для пластмасс. В таких сталях содержание углерода небольшое, а процент никеля и кобальта относительно велик. В состоянии поставки мартенситно-старееющие стали имеют среднюю твёрдость (HRC 30-36, Maraging 250 and Maraging 300, например) и в результате последующей обработки могут быть доведены до твердости HRC 58. Тем не менее, несмотря на высокую стабильность размеров и хорошую полируемость, данные стали пока ещё значительно дороже инструментальных сталей для пресс-форм, что ограничивает их применение в современном прессоштамповом производстве.

Нержавеющие стали

Ферритные и мартенситные нержавеющие стали (такие как 20X13, 30X13) нашли широкое применение в качестве материала для изготовления пресс-форм для изделий из пластмасс малых и средних габаритов, отличающихся сложным профилем и существенным изменением сечения вдоль контура. Типичная твёрдость в состоянии поставки - HB 200, последующее термическое упрочнение после обработки резанием не вызывает затруднений.

Легированные и углеродистые конструкционные стали

Многие детали штампов и пресс-форм: элементы крепления, колонны, стержни, кольца и т.п. изготавливаются из легированных и даже углеродистых конструкционных сталей. А в штампах, предназначенных для выпуска небольших партий, собственно формирующие элементы часто производятся из таких сталей как 20XM, 30XM или 40XФА. Такие стали обычно поставляются в отожжённом состоянии или термообработанные до твёрдости HRC 32-35. После закалки их твёрдость лежит в пределах HRC 44-52.

Чаще всего при изготовлении штампов и пресс-форм используется инструментальная сталь. (несмотря на то, что встречается применение практически всех видов материалов).

Чугуны

Чугун (особенно серый) не так редок в прессоштамповом производстве. Из него выпускаются крупногабаритные детали (плиты, корпуса), втулки, гильзы, вкладыши и другие малоизнашиваемые компоненты конструкции. В отдельных случаях матрицы, пуансоны, стойки, башмаки и даже сами формы делаются из высокопрочного чугуна

Цветные металлы

Алюминий - далеко не самый распространённый материал в прессоштамповом производстве. Тем не менее, благодаря простоте в обработке резанием и невысокой стоимости алюминий часто применяется при изготовлении опытных образцов, пресс-форм с малым ресурсом и экструзионных форм, а также для быстрого тиражирования однотипных форм. По сравнению с инструментальными сталями теплопроводность, обрабатываемость и полируемость у алюминия значительно выше, и как результат, он всё активнее используется в литейных и экструзионных формах для полимеров и смол. Сегодня такие марки алюминиевых сплавов, как Д16, АД33 и В95 становятся привычными материалами в отрасли..

Бериллиево-медные и цинковые сплавы нашли своё применение в выдувных формах, вставках и некоторых компонентах пресс-форм для литья под давлением. Современная цветная металлургия предлагает потребителю достаточно прочные бериллиево-медные сплавы с хорошей сопротивляемостью износу и коррозии. Обладая лучшей обрабатываемостью, чем инструментальные стали, они позволяют сократить операции резания в 2-3 раза. В зависимости от марки твёрдость сплавов колеблется в пределах HRC 30-42. Таким образом, есть достаточно оснований полагать, что такие сплавы могут заменить инструментальные и мартенситные нержавеющие стали, традиционно применяемые для определённых видов пресс-форм.

Цветные металлы широко используется в электроэрозионной обработке, одном из технологических методов прессоштампового производства, в качестве материала для электродов. Наиболее часто в этом качестве встречаются: латунь, медь, вольфрамо-медные сплавы (с содержанием вольфрама 60-70%) и графит.

Обрабатываемость зарубежных материалов штампов и пресс-форм

Ниже приведены сравнительные данные, которые позволяют оценить обрабатываемость резанием различных зарубежных материалов, применяемых для изготовления штампов и пресс-форм. Обрабатываемость материалов представлена в процентном отношении к обрабатываемости американской автоматной стали AISI/SAE 1212 (примерно соответствует российской стали А12).

В скобках приводятся ближайшие аналоги по ГОСТ.

Углеродистые стали

1020 (20)_____72%	1030 (30)_____72%	1045 (45)_____57%
1060 (60)_____51%	1212 (A12)_____100%	1215_____136%

Легированные стали

4130 (20ХМ)_____72%	4140 (40ХФА)_____66%	4340 (40ХН2МА)_____57%
5015 (15Х)_____78%	8620 (20ХГНМ)_____68%	8720 (19НМА)_____68%

Инструментальные стали

A2 (95Х5ГМ)_____42%	D2 (X12ВМФ)_____27%	D3 (X12)_____28%
D7 (X12МФ4)_____25%	H11 (4Х5МФС)_____49	H12_____46%
H13 (4Х5МФ1С)_____46%	H19_____43%	H21 (3Х3В8Ф)_____36%
L6 (5ХНМ)_____39%	O1 (95ХГВФ)_____42%	O6_____57%
P2_____42%	P5 (15Х5М)_____42%	P20 (4ХС)_____38%
P21_____38%	S1 (5ХВ2СФ)_____36%	S5 (60С2ГМФ)_____31%
S7 (5Х3М2Ф)_____45%	W1 (У8-1)_____48%	W2 (У10-У)_____45%

Мартенситно-старееющая сталь Maraging 300_____33%

Мартенситные нержавеющие стали

403 (08Х13)_____55%	420 (20Х13)_____45%	430 (12Х17)_____45%
---------------------	---------------------	---------------------

Серый чугун (по стандарту ASTM A48-76¹)

20 (СЧ10)_____73%	40 (СЧ25)_____48%
-------------------	-------------------

Высокопрочный чугун (по стандарту ASTM A 536-80)

65-45-12 (ВЧ 50-2)_____61%	80-55-06 (ВЧ 60-3)_____39%
----------------------------	----------------------------

Алюминиевые сплавы

6061-T (АД33)_____200%	7075-T (В95)_____140%
------------------------	-----------------------

Медь и медные сплавы_____80%-120%

¹ ASTM - Американское общество по испытанию материалов

Примеры типичных деталей штампов и форм

Молотовый штамп

Деталь.....	матрица
Материал.....	S7 (~5X3M2Ф по ГОСТ)
Твёрдость.....	HRC 52
Трудность изготовления.....	средняя
Тип выпускаемой продукции.....	ковка крупными партиями
Формируемое изделие.....	заготовка шатуна

Штамп для холодной штамповки

Деталь.....	пуансон
Материал.....	D2 (~X12BMФ по ГОСТ)
Твёрдость.....	HRC 60
Трудность изготовления.....	невысокая
Тип выпускаемой продукции.....	штамповка крупными партиями
Формируемое изделие.....	капот

Форма для литья под давления

Деталь.....	матрица
Материал.....	H21 (~3X3B8Ф по ГОСТ)
Твёрдость.....	HRC 51
Трудность изготовления.....	умеренная
Тип выпускаемой продукции.....	литьё средними партиями
Формируемое изделие.....	корпус вентиля

Форма для литья под давления

Деталь.....	матрица
Материал.....	H13 (~4X5MФ1С по ГОСТ)
Твёрдость.....	HRC 54
Трудность изготовления.....	высокая
Тип выпускаемой продукции.....	литьё крупными партиями
Формируемое изделие.....	заготовка коленчатого вала

Пресс-форма для пластмасс

Деталь.....	гнездо пресс-формы
Материал.....	H13 (~4X5MФ1С по ГОСТ)
Твёрдость.....	HRC 50
Трудность изготовления.....	невысокая
Тип выпускаемой продукции.....	средние партии
Формируемое изделие.....	корпус сотового телефона

Пресс-форма для пластмасс

Деталь.....	гнездо пресс-формы
Материал.....	P20 (~4XC по ГОСТ)
Твёрдость.....	HRC 48
Трудность изготовления.....	средняя
Тип выпускаемой продукции.....	крупные партии
Формируемое изделие.....	бампер автомобиля

Режущий инструмент в производстве штампов и пресс-форм

Технология изготовления штампов и пресс-форм использует различные методы обработки: резанием (фрезерование, сверление, развёртывание и т.д.), абразивными материалами (шлифование, полирование, хонингование и др.), электроэрозионную. Даже нетрадиционные, экзотические сегодня, способы, например, резание водяной струёй, тоже встречаются в прессоштамповом производстве. Но всё-таки формирование поверхностей путём снятия материала резанием по-прежнему доминирует в отрасли.

Профиль штампов и пресс-форм отличается большим многообразием, а определяющие его размеры изменяются в широких пределах. Во многих случаях в процессе изготовления требуется удаление значительного объёма материала, поэтому маршрутная технология состоит из черновых и чистовых операций. Для черновой обработки характерны значительные припуски и интенсивный съём материала, в то время как для чистовой обработки на первый план выступают точность и чистота поверхности.

Развитие металлорежущих станков с ЧПУ, САПР и автоматизированного управления производством кардинально изменило изготовление пресс-форм и штампов, наделив инструментальщиков принципиально новыми методами многокоординатной обработки и передовыми средствами компьютерного моделирования технологических операций. Резание твёрдых материалов, высокие показатели стойкости, надёжности и производительности, направленные на значительное снижение и даже исключение электроэрозионной обработки и ручной доводки - вот те требования, которые предъявляет сегодня прессоштамповая отрасль к режущему инструменту. И только инструмент, действительно отвечающий им, может считаться по-настоящему эффективным в производстве штампов и пресс-форм.

Фрезы

Фрезы выполняют ключевую роль в прессоштамповом производстве. Действительно, фрезерование удаляет большую часть материала и придаёт форму будущему рабочему профилю. Обычно при разработке технологического процесса фрезерные операции разделяют на черновые, получистовые и чистовые. Традиционный подход к черновому фрезерованию предусматривает обработку на значительных глубине и ширине резания, что определяет использование мощных и достаточно тихоходных станков и фрез большого диаметра. Обеспечение максимальной производительности при такой стратегии достигается фрезерованием мягкого материала. Так как к изготавливаемому штампу (форме) предъявляются определённые требования твёрдости, и к тому же, тяжёлонагруженное черновое фрезерование приводит к появления остаточных напряжений, следующим необходимым шагом становится термическая обработка. Отмеченный подход обычно характеризует производство крупногабаритных штампов и форм с существенными перепадами по высоте и глубине. Многие производственники являются сторонниками такого подхода в силу ограничений имеющегося станочного парка, программ ЧПУ и определённых устоявшихся принципов разработки технологии. Однако, время принесло новые веяния, и сегодня техника фрезерования с высокой подачей на зуб прочно укоренилась в черновой обработке. Она направлена на фрезерование заготовок мягкой и средней твёрдости с небольшой глубиной резания и исключительно высокой подачей на зуб, обеспечивая значительное увеличение производительности.

Другой технологический метод, высокоскоростное фрезерование, предназначен прежде всего для чистовой обработки заклённых сталей. Тем не менее, он может быть очень эффективным и на черновых или получистовых операциях, особенно для деталей малых и средних размеров или в случае небольших перепадов по высоте и глубине, так как позволяет непосредственное резание твёрдых материалов. Дальнейшее развитие данного метода привело к появлению техники трохойдального фрезерования.

В современном прессоштамповом производстве всё большую популярность приобретает еще один метод: черновое фрезерование с осевой подачей (плунжирование), когда резание ведётся с подачей, направленной вдоль оси инструмента. Его применение обеспечивает эффективную обработку внутренних и наружных поверхностей сложной формы. Иногда плунжирование называют также и скульптурным фрезерованием, что отражает некоторое сходство с техникой предварительного ваяния.



Прогрессивные методы фрезерования, их достоинства и проблемные стороны, а также требования, которые они выдвигают к режущему инструменту, будут затронуты на страницах руководства.

Как и в других отраслях металлообработки, в изготовлении штампов и пресс форм присутствуют все основные типы фрезерных операций: фрезерование прямоугольных уступов, плоских поверхностей, пазов, кромок, фасок и фасонных поверхностей. Последний тип, включающий и фрезерование сложнопрофильных трёхмерных поверхностей, является главным, стержневым в прессштамповом производстве. Используемый инструмент фрезерной группы представлен в различном конструктивном исполнении: со сменными многогранными пластинами (СМП) и режущими головками, а также цельный (монокристаллический).

Общие принципы правильного выбора фрез

Рассматривая вопрос выбора режущего инструмента в широком смысле слова, необходимо не упустить главное: себестоимость единицы продукции, для выпуска которой он и предназначается. Несмотря на то, что доля собственно расходов на инструмент в общей величине себестоимости невелика, косвенное влияние инструмента на снижение себестоимости и следовательно, повышение рентабельности может быть значительным. Именно инструмент, это маленькое звено в технологической цепи, часто является главным препятствием для уменьшения основного времени. Таким образом, обеспечение максимальной производительности обработки требует применения высокоэффективного режущего инструмента.

Другим важным для выбора фактором является широкая функциональность инструмента, его способность действительно выполнять различные фрезерные операции. Например, не только фрезерование уступа, но и врезание под углом, и плунжирование. Такая разносторонность в применении позволяет при обработке заготовки применять один и тот же инструмент в разных приложениях и тем самым снизить вспомогательное время, связанное с заменой инструмента. Дополнительные возможности расширения функциональности предоставляют инструменты со сменными высокоточными режущими головками, которые делают возможным заменить головку, не вынимая инструмент из шпинделя станка, и тем самым избежать временных затрат, связанных с повторной настройкой.

Принимая во внимание эти очевидные, но иногда упускаемые из виду факторы, выбор инструмента определяется следующей логической цепочкой “операция-режущая геометрия-инструментальный материал”, которая в краткой форме означает поиск ответов на ряд общеизвестных вопросов, ведущих к правильному решению:

Операция

К какому виду обработки резанием относится данная операция?
Обрабатываемая заготовка: материал, твёрдость на момент операции.
Требуемые показатели точности и шероховатости поверхности.
Величина снимаемого припуска.
Стратегия обработки.
Характеристика обработки (лёгкая, средняя, тяжёлая).
Данные станка (мощность, частота вращения шпинделя, общее состояние).
Жёсткость системы СПИД (хорошая, умеренная и т.п.).
Смазочно-охлаждающие технические средства
(тип, возможность подачи непосредственно через шпиндель и т.д.).

Режущая геометрия

Какой из возможных вариантов режущей геометрии рекомендуется для обработки заготовки в соответствии с указанными выше данными по операции?
Необходимо рассмотреть все возможные конструктивные решения: со сменными многогранными пластинами (СМП), режущими головками, цельный инструмент.

Инструментальный материал Какая марка инструментального материала в наибольшей мере отвечает указанным требованиям обработки, которая осуществляется инструментом выбранной режущей геометрии?

Марки твёрдого сплава для сменных многогранных пластин

Сменные многогранные пластины для фрезерования материалов штампов и пресс-форм производятся из различных видов твёрдого сплава. Как правило, для повышения рабочих параметров на пластины наносятся защитные износостойкие покрытия физическим или химическим осаждением. Марка сплава определяется комбинацией вида сплава (называемого основой) с покрытием, а если покрытие отсутствует, то она совпадает с маркой основы. Физическое осаждение путём конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ, PVD - physical) нашло широкое распространение для СМП и цельных твёрдосплавных инструментов фрезерной группы, так как не приводит к затуплению режущей кромки и сохраняет её острой. КИБ производится при сравнительно низких температурах (около 500 °С). Толщина покрытий, наносимых химическим осаждением из парогазовой среды (CVD - chemical vapor deposition), больше, а их сопротивляемость износу обычно выше. Процесс химического осаждения требует значительных температур (порядка 1000 °С). Совершенствование метода привело к технологии среднетемпературного химического осаждения (MT CVD - Medium Temperature CVD), существенно увеличившего адгезию покрытия. Дальнейшее развитие позволило получить комбинированные покрытия, сочетая оба метода осаждения.

А сегодня прогресс нанотехнологий уже даёт возможность использовать наноструктурированные покрытия.

Компания ИСКАР предлагает богатый выбор разных марок твёрдого сплава. Мы кратко остановимся на последних разработках, которые наиболее полно отвечают требованиям резания материалов штампов и пресс-форм. За исключением DT7150 рассматриваемые в разделе марки производятся по технологии SUMO TEC - методу, предусматривающему специальную обработку поверхности с уже нанесённым покрытием для улучшения эксплуатационной характеристики. В сжатом обзоре ниже и в таблице 2 представлены общие данные по некоторым маркам твёрдого сплава.

IC808 - прочный твёрдый сплав с особомелкозернистой (субмикронной) основой и наноструктурированным алюмонитридтитановым покрытием, наносимым физическим методом (PVD). В первую очередь предназначен для обработки закалённых сталей на средних и высоких скоростях резания. Отличается хорошей сопротивляемостью адгезионному износу и образованию точечных зазубрин и задиров по глубине фрезерования.

IC5100 - твёрдый сплав с прочной основой и многослойным износостойким покрытием по среднетемпературному химическому методу MT CVD (в том числе и слой альфа окиси алюминия). Основное применение - фрезерование серого чугуна с высокой скоростью резания.

IC810 - твёрдый сплав с покрытием AlTiN по физическому методу (PVD), обладающий значительной сопротивляемостью окислительному износу и как результат, позволяющий резание на высоких скоростях. В то же время является хорошим выбором для фрезерования высокопрочного и серого чугуна с низкими и средними скоростями резания вследствие нежёсткой системы СПИД.

DT7150 - твёрдый сплав с прочной основой и комбинированным MT CVD и TiAlN PVD покрытием. Главной особенностью сплава является его хорошая сопротивляемость выкрашиванию и сколам режущей кромки. Рекомендуются для обработки чугуна и стального литья, особенно при наличии корки, богатой песком, раковинами и пр., с высокими и средними скоростями резания.

IC830 - марка прочного твёрдого сплава с наноструктурированным покрытием PVD TiAlN для фрезерования легированной и нержавеющей стали. Сплав показывает впечатляющие результаты при обработке прерывистых поверхностей и резании в тяжёлых режимах.

IC330 - прочный сплав широкого применения с упрочняющим покрытием нитрида титана (TiN)/карбонитрида титана (TiCN). Используется для фрезерования широкого спектра материалов прессштампового производства с низкими и средними скоростями резания.

Твёрдый сплав и технология SUMO TEC

Упрочняющая технология SUMO TEC заключается в специальной обработке пластины после нанесения износостойкого покрытия и приводит к значительному улучшению показателей стойкости и надёжности. Данный процесс повышает прочность и сопротивляемость выкрашиванию, снижает трение и наростообразование в процессе резания, увеличивая стойкость пластины. Как правило, упрочнению по методу SUMO TEC подвергается передняя поверхность пластины, приобретающая в результате характерный чёрный цвет с глянцевым блеском. Не прошедшая упрочнение периферия остаётся золотистой, облегчая визуальное обнаружение износа на задней поверхности пластины. Положительный эффект новой технологии заключается в том, что воздействуя на переднюю поверхность, SUMO TEC делает её гладкой и однородной, предельно уменьшает внутренние напряжения и каплевидные вкрапления в покрытии, что в итоге обеспечивает мягкий сход стружки и повышенную стойкость. А задняя поверхность, свободная от обработки по SUMO TEC, остаётся достаточно шероховатой для хорошего контакта с опорными поверхностями гнезда пластины в инструменте.

Таблица 2. Характеристика некоторых марок твёрдого сплава для фрезерных СМП

Группа по ISO (DIN/ISO 513)	Твёрдость ← Марки твёрдого сплава → Ударная вязкость					
	IC808	IC5100	IC810	DT7150	IC830	IC330
P	P15-P30	P10-P25	P15-P30		P20-P50	P25-P50
M	M20-M30				M20-M40	M30-M40
K	K20-K40	K05-K20	K05-K25	K05-K25	K15-K40	
H	H20-H30					
Тип покрытия	PVD	MT CVD	PVD	Комбинированное	PVD	PVD

☐ Первый выбор сплава.

Более подробную информацию о марках твёрдого сплава и технологии нанесения покрытий ИСКАР можно найти в каталогах, руководствах и технических брошюрах компании.

1 Фрезерование прямоугольных уступов

Концевые фрезы ИСКАРА, которые предназначены прежде всего для фрезерования прямоугольных (90°-х) уступов, но применяются также и для обработки пазов и канавок, развиваются в следующих направлениях:

- Концевые фрезы со сменными многогранными пластинами (СМП) диаметром 8-50 мм
- Цельные твёрдосплавные (монолитные) фрезы диаметром до 25 мм
- Сменные режущие головки для фрез системы Мульти-Мастер (называемые часто просто головками Мульти-Мастер) диаметром 6-25 мм
- Концевые фрезы с удлинённым наборным лезвием (длиннокромочные) диаметром 12-100 мм

Если длиннокромочные фрезы используются для черновой обработки, то все остальные из указанных применимы для всех видов фрезерных операций: черновых, получистовых и чистовых..

Пластина со спиральной режущей кромкой

В девяностых годах ИСКАР объявил о выпуске фрез, оснащённых СМП из твёрдого сплава АРКТ 1003 PDR-НМ. Новая пластина и была первой СМП со спиральными режущей кромкой и задней поверхностью. Сегодня принцип конструирования режущей кромки пластины, представляющей собой часть винтовой линии, кажется совершенно очевидным, и многие производители инструмента успешно применяют его в своей продукции. Тогда же, в девяностых, это было действительно кардинально новое решение. Спиральная кромка обеспечивает постоянство режущей геометрии, плавное резание и значительное увеличение стойкости. Монолитные фрезы из быстрорежущей стали и твёрдого сплава, появившиеся намного раньше, тоже имеют спиральную кромку, однако она образуется в результате шлифования. Изготовление же пластины со спиральной кромкой только методами порошковой металлургии являлось серьёзной проблемой в то время, и предложенное ИСКАРОм решение привело к радикальным изменениям в инструментальной промышленности.

Новая линия фрез получила название HELIMILL, образованное английскими словами *helix* (спираль) и *mill* (фреза).

Концевые фрезы со сменными многогранными пластинами (СМП)

В таблицах 3 и 4 приведены главные технические показатели наиболее популярных фрез с СМП производства ИСКАР. Таблица 3 представляет число зубьев фрезы как функцию её диаметра и максимальной глубины резания, а таблица 4 позволяет оценить возможности инструмента при врезании под углом.

Изготовление штампов и пресс-форм характеризуется обилием операций, связанных с обработкой различных полостей, выемок и карманов. Поэтому возможность сочетать засверливание с последующим фрезерованием является важным требованием, которое предъявляет к инструменту прессштамповое производство. Другим значимым качеством является способность фрезеровать наклонные поверхности, когда движение подачи происходит одновременно в двух направлениях: радиальном и осевом. Если движение вдоль оси направлено вверх, происходит фрезерование с подъёмом (как иногда говорят в профессиональной среде, "на вытяжку"), а если вниз - с врезанием. Максимально допустимый угол врезания служит одним из главных критериев выбора инструмента. Величина угла зависит от режущей геометрии и номинального диаметра фрезы. При работе с большим вылетом фрезы значение угла следует уменьшить дополнительно. Фрезерование по винтовой линии (спиральная или винтовая интерполяция) представляет собой широко распространённый способ обработки отверстий, особенно значительного диаметра. Движение подачи по спирали вращающегося инструмента определяется

одновременными перемещениями вдоль трёх координатных осей, приводящих к винтовой траектории фрезы по формируемой поверхности отверстия.

Назначение рабочего угла при спиральной интерполяции зависит от допустимого угла врезания. Винтовая траектория сохраняет мягкое врезание в материал и равномерное нагружение инструмента.

В роли частного случая винтовой интерполяции выступает круговая интерполяция, когда движение подачи происходит в результате перемещений дишь по двум осям, а траектория фрезы становится планетарной по отношению к диаметру отверстия.

Глубину отверстия определяют максимальная глубина резания и конструктивные особенности фрезы (высота шейки, например).

При обработке полостей и карманов приходится сталкиваться с немаловажным отрицательным фактором: затруднённое удаление стружки и как следствие, её вторичное резание. Данное явление может существенно снизить рабочие показатели инструмента и уменьшить его стойкость.

Таблица 3. Указатель выбора концевых фрез с СМП для обработки прямоугольных уступов

	T290 ELN -05	HP E90AN	T490 ELN -08 T490 E90LN -08	H490 E90AX -09	HM90 E90A	T290 ELN -10
ар	5	7.7	8	8	10	10
Диам. фрезы D	Число зубьев (эффективных)					
8	1					
10	2	1			1	
12	2; 3	2			1	
14	3				1	
16	4; 5	3; 4	2	2	2	
17					2	
18					2	
20		4; 5	2; 3	3	2; 3	2; 3
21					3	
22					3	
25		5; 7	3; 4	4	2; 3; 4	3; 4
28					4	
30					4	
32		6; 8	3; 5	5	3; 4; 5	4; 5
40		8; 10	4; 6		3; 5; 6	6
50					7	
Пластины	T290 LNMT 05	HP ANKT	T490 LN..T 08	H490 ANKX 09	HM90 AP...10 AP...10	T290 LNMT 10

Таблица 3. Указатель выбора концевых фрез с СМП для обработки прямоугольных уступов (продолжение)

	H490 E90AX -12	T490 ELN -13	HM90 E90AD	T490 ELN -16	H490 E90AX -17
ар	12	12.5	14.3	16	16
Диам. фрезы D	Число зубьев (эффективных)				
8					
10					
12					
14					
16					
17					
18					
20			1		
21					
22					
25	2		2		
28					
30					
32	3	3	2; 3	2	2
40	4	3; 4	2; 3; 4	3	3
50	5	4; 5	5	4	4
Пластины	H490 AN..X 12	T490 LN..T 13	HM90 AD..15 AD..15	T490 LN..T 16	H490 AN..X 17

Таблица 4. Угол врезания у концевых фрез с СМП для обработки прямоугольных уступов

	T290 ELN -05	HP E90AN	T490 ELN -08 T490 E90LN -08	H490 E90AX -09	HM90 E90A	T290 ELN -10
ар	5	7.7	8	8	10	10
Диам. фрезы D	Макс. угол врезания. *					
8	2.5					
10	2.3	2.5			5	
12	2	2.7			32	
14	1.5		Не пригодна	Не пригодна	7	
16	1	3.2			15	
17			для врезания	для врезания	15/4.5*	
18					7.5	
20		2.4	под углом	под углом	7.5	4
21					7.5/2.8*	
22					7.5	
25		2			5	2.2
28					2	
30					2	
32		1.4			3	1.6
40		1			2.7	1.2
50					2.7	
Пластины	T290 LNMT 05	HP ANKT	T490 LN..T 08	H490 ANKX 09	HM90 AP...10 AP...10	T290 LNMT 10

* Меньшие значения - для фрез с увеличенной общей длиной.

Таблица 4. Угол врезания у концевых фрез с СМП
для обработки прямоугольных уступов (продолжение)

	H490 E90AX -12	T490 ELN -13	HM90 E90AD	T490 ELN -16	H490 E90AX -17
ар	12	12.5	14.3	16	16
Диам. фрезы D	Макс. угол врезания. °				
8					
10					
12					
14	Не пригодна	Не пригодна		Не пригодна	
16					
17	для врезания	для врезания		для врезания	
18					
20	под углом	под углом	3	под углом	
21					
22					
25			11.5		
28					
30					
32			5.3		6.5**
40			4		4.4**
50			5		3.8**
Пластины	H490 AN..X 12	T490 LN..T 13	HM90 AD..15 AD..15	T490 LN..T 16	H490 AN..X 17

** Только в случае установки пластин H490 ANKX 1706R15T FF.

Прогрессивные фрезы с СМП производства ИСКАР, предназначенные для обработки прямоугольных уступов

No mismatch - нет несовпадению!

Очень часто высота уступа больше максимальной глубины резания фрезы с СМП, которая определяется длиной режущей кромки пластины. Тогда, а также в случае иных возможных ограничений по глубине фрезерования, приходится вести обработку за два и более проходов. Обеспечение действительно 90°-го профиля в пределах требуемого допуска без выраженной границы между проходами, ступенек, рисков и зазубрин - важное качество современных фрез повышенной точности с СМП, создаваемых для обработки прямоугольных уступов.

Использование таких фрез значительно повышает производительность, так как позволяет избежать необходимости в последующих чистовых проходах, гарантируя высокоточный профиль и хорошее качество поверхности. Неперпендикулярность стенки уступа относительно его основания не более 0.02 мм при многопроходном фрезеровании - сегодня такое требование считается обычным для современных инструментов с СМП, отличительной особенностью которых стал девиз: "No mismatch - нет несовпадению по профилю!"

HELITANG T490 - семейство фрез с тангенциально закрепляемыми пластинами, в каждой из которой по 4 режущей кромки. Конструктивный ряд пластин содержит 3 типоразмера с длиной кромки 8, 12.5 и 16 мм. Наименьший номинальный диаметр фрезы - 16 мм, и в ней всего 2 зуба. Варианты исполнения фрез различны: концевые, насадные торцевые, режущие головки с СМП для сборного инструмента систем **MULTI-MASTER** и **FLEXFIT**. Кроме того, выпускаются фрезы как с крупным, так и с мелким шагом зубьев. В большинстве фрез имеются внутренние каналы для подвода СОЖ непосредственно через корпус. Основное назначение - высокопроизводительная обработка прямоугольных уступов, но инструменты семейства пригодны и для фрезерования осевым врезанием.

Сочетание в конструкции тангенциального крепления пластин, последних достижений

технологии прессования и передовых марок твёрдого сплава позволило значительно повысить стойкость и надёжность инструмента.

Интересно отметить, что сегодня пластина **T490 LN.. 0804PN-R** является самой малой тангенциально закрепляемой СМП с 4 режущими кромками и не имеет конкурирующих аналогов.

Семейство фрез с углом в плане 90° **HELIDO H490** представляет собой эволюцию первичной линии **ISCAR HELIMILL**. Радиально закрепляемые двухсторонние пластины семейства тоже имеют 4 праворежущих кромки и выпускаются в трёх размерных исполнениях по длине кромки 8, 12 и 16 мм.

Конструкция пластина отличается высокой прочностью, а её установка в гнезде с профилем “ласточкиного хвоста” обеспечивает надёжное базирование и исключительно жёсткое крепление. Для получения хорошего качества поверхности обработки пластина снабжена вспомогательной зачистной кромкой. Прочная конструкция, уникальная форма стружкоформирующей поверхности и положительный передний угол в сочетании с богатым выбором марок твёрдого сплава гарантируют надёжность, снижение сил резания и высокую стойкость. Все фрезы выполняются с внутренними каналами для подвода СОЖ в зону резания. Среди главных приложений инструментов выделим фрезерование прямоугольных уступов, обработка осевым врезанием, фрезерование плоских поверхностей и пазов. В своём развитии данное семейство удачно вобрало в себя достоинства своих предшественников: спиральную режущую кромку в сочетании с передним углом линии **HELMILL** и высокопрочную конструкцию **MILL2000**, дающие ощутимые преимущества при тяжело нагруженном фрезеровании.

3P ISCAR Premium Productivity Products - Продукт, Повышающий Производительность

Начиная с 2007 года, символ “3P Premium Productivity Products” стал появляться на упаковке изделий ИСКАРА и страницах технических бюллетеней. Он характерен для инструментов, пластин и оснастки, создаваемых на базе новейших конструктивных решений и передовой технологии, которые позволят потребителю значительно поднять производительность механической обработки. В дополнение к прогрессивной режущей геометрии характерной особенностью пластин, отмеченных таким символом, являются твёрдые сплавы SUMO TEC с особой технологией обработки поверхности после нанесения упрочняющего износостойкого покрытия.

SUMOMILL T290 - семейство фрез с тангенциальным креплением пластин с двумя режущими кромками. Пластины, которые выпускаются в следующем размерном исполнении: с 5- и 10-миллиметровой длиной кромки, появились в качестве одного из направлений популярных СМП линии **HELMILL**. Принцип тангенциального крепления пластин позволяет конструкцию корпуса фрезы с увеличенной сердцевиной, повышая тем самым прочностные характеристики, в частности, способность противостоять ударной нагрузке. По сравнению с аналогичными инструментами линий **HELMILL** и **HELIPLUS** фрезы **SUMOMILL** отличаются повышенными пределом длительной прочности и стойкостью, а также плотностью зуба (т.е. позволяя разместить на том же номинальном диаметре большее количество зубьев). Фрезы семейства обеспечивают хорошее качество поверхности обработки и отсутствие отклонений профиля уступа при многопроходном резании, они также пригодны для врезания под углом и осевого врезания. Специфическая режущая геометрия с увеличенным передним углом в радиальном и осевом сечениях ведёт к снижению силы резания, улучшению устойчивости и повышению стойкости кромки. Уникальная форма пластины сделала возможным и создание малоразмерных фрез с СМП с такими диаметрами (8 мм!), которые традиционно отводились лишь монолитным конструкциям.

Тангенциальное или радиальное?

Вопрос: какой вид размещения и закрепления пластин - тангенциальный или радиальный - более эффективен, часто приводит потребителя к колебаниям при подборе рабочей фрезы, особенно, если инструмент с близкими или даже теми же размерами доступен в разных исполнениях: как с радиально, так и с тангенциально закрепляемыми СМП. Как и во многих практических случаях, этот вопрос не имеет строго однозначного ответа. Его академическое исследование выходит за рамки руководства. Но краткий обзор достоинств и изъянов каждого из видов закрепления может помочь в правильном выборе. Следуя общему правилу, тангенциальное закрепление пластин позволяет увеличить подачу на зуб, так как окружная сила, главная составляющая силы резания, действует против более рационально расположенного сечения. При правильном конструировании фрезы с тангенциальными СМП обеспечивается оптимальное нагружение зажимных винтов, и результирующая сила резания воспринимается непосредственно корпусом инструмента, сердцевина которого толще, чем у фрезы с радиальными пластинами. Тангенциальное расположение упрощает создание двухсторонних СМП со спиральными режущими кромками. И наконец, оно даёт возможность размещения на периферии фрезы большего числа пластин, то есть увеличить плотность зубьев, а следовательно, и скорость подачи. Применение инструмента с тангенциальными СМП типично для высокопроизводительного фрезерования чугуновых заготовок. В то же время по сравнению с фрезами с радиальными пластинами тангенциальное расположение обычно ограничивает возможности по формированию передней поверхности СМП и увеличению переднего угла в осевой плоскости. Большой объём кармана для выхода стружки в случае радиальных пластин значительно улучшает стружкоудаление при обработке таких материалов, как сталь, например, особенно при фрезеровании глубоких полостей и впадин. В инструментах ИСКРА новейшей конструкции удалось преодолеть немало недостатков, свойственных для обоих видов размещения СМП. Семейство фрез H490 с двухсторонней радиальной пластиной H490 AN...X - настоящей "тягловой лошадей" фрезерных работ - с успехом применяется в тяжелонагруженных операциях с увеличенной подачей на зуб, а семейство T290 с тангенциальной пластиной T290 LN...T демонстрирует хорошие эксплуатационные показатели при врезании под углом. Следовательно, вопрос о наиболее рациональном выборе фрезы по расположению и закреплению СМП необходимо решать в соответствии с конкретным приложением инструмента и особенностями операции. И специалисты по внедрению компании ИСКРА будут рады помочь вам сделать верное определение.

С чего начать: параметры режима резания**Общие положения**

Скорость резания V_c и подача на зуб f_z , ключевые параметры режима резания при фрезеровании, зависят от различных факторов.

Прежде всего, твёрдый сплав. Его более твёрдые и износостойкие марки позволяют повысить скорость резания, в то время как более ударновязкие предполагают обработку с меньшей скоростью, но с увеличенной подачей на зуб.

Конструкционные материалы имеют разную обрабатываемость резанием, и даже для одного и того же материала его обрабатываемость может существенно различаться в зависимости от его состояния (например, сталь низкой, средней и высокой твёрдости). Соответственно меняется и удельная сила резания, необходимая для удаления единицы площади фрезеруемого материала, а значит, и нагрузка на инструмент. Ясно, что при назначении режима резания необходимо учесть и влияние обрабатываемости.

Заметна роль и режущей геометрии. Острая, но хрупкая режущая кромка не может противостоять тяжёлому нагружению, чем ограничивает подачу на зуб. В свою очередь

отрицательная защитная упрочняющая фаска на кромке ставит предел допустимому снижению подачи, так как её слишком малая величина может привести к резкому возрастанию силы резания.

Дополнительным фактором является корпуса фрезы. Его прочная конструкция в сочетании с надёжным принципом закрепления пластин позволяет ужесточение параметров режима резания.

Далее, собственно операция. Для чего применяется инструмент? Черновое фрезерование со снятием значительного объёма металла ведётся на средних скоростях резания и большой подаче. Для чистовых же операций, обеспечивающих необходимые точность и показатели шероховатости поверхности, назначаются малые припуски, высокая скорость резания и умеренные подачи. Иные ограничения, такие как изрядный вылет инструмента (фрезерование глубоких полостей или высоких уступов, например), нежёсткое станочное приспособление, тонкостенная заготовка и т.п. приводят к необходимости снижения скорости или подачи, а часто и обеих величин.

Наконец, состояние станка и инструментальной оснастки - если жёсткость этой составляющей системы станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД) недостаточна, появляется ещё один барьер для повышения параметра режима резания.

Названные рассуждения очень общие и, несомненно, известны каждому, связанному с резанием металлов. Тем не менее, они хорошо иллюстрируют сложную зависимость параметров режима резания от разных показателей. Однако, как же перейти от общего к частному и определить начальные величины параметров?

Можно учесть фактор операции и состояния системы СПИД путём введения оценки обработки как лёгкой, средней и тяжёлой. Затем подготовить соответствующие таблицы с рекомендуемыми значениями скорости резания и подачи для каждого семейства фрез и так предоставить потребителю необходимые величины. Данный подход будет верным, и ему часто следуют при подготовке полных справочных пособий, разработке программного обеспечения и составлении инструкций по эксплуатации.

Задача же данного руководства - снабдить пользователя простой методикой назначения стартовых скорости резания и подачи с соответствующей поправкой на перечисленные факторы с тем, чтобы приступить к фрезерованию рассматриваемыми инструментами ИСКАР с верно определённой исходной точки.

В англоязычной технической литературе подача на зуб часто именуется "chip load" (то есть буквально "нагрузка на зуб"), а "advance" ("перемещение") означает не что иное, как тоже подачу: "advance per revolution" - подача на оборот, "advance per minute" - скорость подачи (минутная подача, подача стола).

Начальная подача

В таблице 5 содержатся данные для предварительного назначения начальной подачи на зуб. Большие значения относятся к чистовому фрезерованию, меньшие обычно характеризуют черновые операции.

В случае значительного вылета инструмента и недостаточной жёсткости системы СПИД (тонкостенная заготовка, непрочное закрепление и т.п.) табличные значения следует снизить на 20-30%.

Начальная скорость резания

$$V_c = V_o \times K_s \times K_t \quad (1)$$

Где: V_c – начальная скорость резания,
 V_o – базовая скорость резания,
 K_s – коэффициент устойчивости,
 K_t – коэффициент стойкости.

а) Базовая скорость резания

Таблица 9 позволяет установить базовую скорость резания для периода стойкости 20 мин. в зависимости от марки твёрдого сплава, материала заготовки и типа обработки. Тип обработки: лёгкий, средний и тяжёлый, определяется с помощью несложного двухступенчатого метода, основанного на понятии “нагружение зуба”.

Нагружение зуба

При фрезеровании уступа нагружение зуба является функцией двух отношений:

- глубины резания h к длине режущей кромки a_r ,
- ширины резания b к номинальному диаметру фрезы D .

Нагружение зуба отражает долю режущей кромки, принимающей участие во фрезеровании, и тот путь, который циклически проходит зуб фрезы при работе от врезания в материал до выхода из него за один оборот фрезы.

Чем дальше зуб находится непосредственно в материале, тем интенсивнее воздействие на него тепловой нагрузки, ведущее к уменьшению стойкости.

Диаграмма на рис. 1 позволяет установить нагружение зуба графически, а для быстрой приблизительной оценки можно использовать данные таблицы 6.

Тип обработки

Нагружение зуба в сочетании с подачей определяет тип обработки (таблица 7). Интервал значений подачи от минимального $f_z \min$ до максимального $f_z \max$ относится к величинам начальной подачи на зуб, рассмотренными выше. Разумеется, не стоит буквально воспринимать понятия “минимальная”, “максимальная” или “умеренная” подача: если численное значение ближе к нижней границе интервала, то следует ориентироваться на $f_z \min$, при средних значениях брать в расчёт умеренную подачу $f_z \text{ moderate}$, а если же речь идёт о величинах в районе верхней границы, принять $f_z \max$.

Бывает, что пользователь затрудняется в назначении конкретной начальной подачи на зуб из интервала, указанному в таблице 5. В таких случаях рекомендуется принять среднюю величину и соответственно, пользоваться $f_z \text{ moderate}$ для поиска типа обработки по таблице 7.

Таблица 5. Оценка начальной подачи на зуб fz

Группа по ISO DIN/ISO 513	Материал заготовки				Твёрдость ← Ударная вязкость Начальная подача fz, мм/зуб, для тв. сплава					
	Тип	Группа материала	σ_T Н/мм²	Твёрдость HB	IC808	IC5100	IC810	DT7150	IC830	IC330
P	Углеродистая сталь	1-4	<850	<250	0.1-0.25	0.1-0.25	0.1-0.25		0.1-0.35	0.1-0.4
		5	>850 <1000	>250 <300	0.1-0.25	0.1-0.25	0.1-0.25		0.1-0.3	0.1-0.4
	Легированная и инструментальная сталь	6, 7	<1000	<300	0.1-0.25	0.1-0.2	0.1-0.25		0.1-0.3	0.1-0.4
		8, 9	>1000 <1200	>300 <350	0.1-0.2	0.1-0.18	0.1-0.2		0.1-0.25	0.1-0.3
		10	<850	<250	0.08-0.18	0.08-0.15	0.08-0.18		0.1-0.25	0.1-0.25
		11	>1100 <1450	>325	0.08-0.15	0.08-0.12	0.08-0.15		0.08-0.2	0.08-0.25
M	Нерж. мартенситная сталь	12, 13	<850	<250	0.08-0.12				0.08-0.15	0.08-0.2
K	Серый чугун	15-16	<1000	<300		0.2-0.35	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.3	
	Высокопрочный чугун	17-18	<1000	<300		0.2-0.35	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.3	
H	Высокоотвёрдые сталь и чугун	38.1	>1480 <1700	HRC 45-49	0.07-0.12				0.07-0.1	
		38.2	>1700 <2000	HRC 50-55	0.06-0.09					
		39	>2000 <2500	HRC 56-63	0.05-0.08					

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

■ Предпочтительный выбор сплава.

Для фрез семейства T290...-05 и -10 табличные значения следует уменьшить на 30%.

Для торцевых фрез с пластинами HP ANKX...07 и T490 LN...T...08 табличные значения снижаются на 20%.

В последующих главах приведены дополнительные данные по фрезерованию сталей и чугунов высокой твёрдости.

Рис. 1. Области нагружения зуба

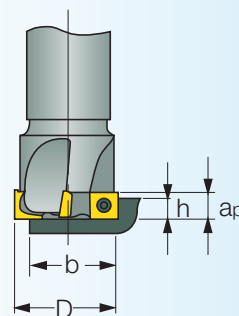
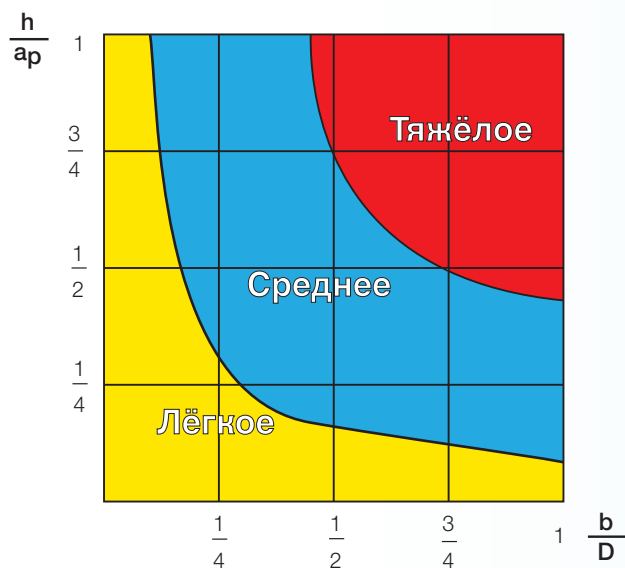


Таблица 6. Нагружение зуба

b/D	h/ap			
	1/4	1/2	3/4	1
1/4	лёкое	среднее	среднее	среднее
1/2	среднее	среднее	среднее	тяжёлое
3/4	среднее	тяжёлое	тяжёлое	тяжёлое
1	среднее	тяжёлое	тяжёлое	тяжёлое

Таблица 7. Тип обработки

Нагружение зуба	Тип обработки для подачи на зуб fz		
	минимальной fz min	умеренной fz moderate	максимальной fz max
лёкое	Лёгкий (Л)	Лёгкий (Л)	Средний (С)
среднее	Лёгкий (Л)	Средний (С)	Тяжёлый (Т)
тяжёлое	Средний (С)	Тяжёлый (Т)	Тяжёлый (Т)

б) Коэффициент устойчивости Ks

Коэффициент, учитывающий влияние операционной устойчивости, основывается на общей оценке жёсткости системы СПИД:

- при нормальной жёсткости $K_s = 1$,
- при недостаточной жёсткости $K_s = 0.7$

в) Коэффициент стойкости Kt

Коэффициент отражает зависимости стойкости от скорости резания и назначается по таблице 8.

Таблица 8. Коэффициент стойкости Kt

Стойкость, мин.	10	20	40	60
Kt	1.15	1	0.85	0.8

Пример

При составлении технологического процесса обработки детали из легированной инструментальной стали 4ХС твёрдостью HRC 32 на операции чернового-получистового фрезерования прямоугольного уступа высотой 4 мм и шириной 16 мм предполагается использование концевой фрезы H490 E90AX D25-4-C25-09 с пластинами H490 ANKX 090408PNTR IC830. Заготовка надёжно закрепляется в станочном приспособлении, и в целом жёсткость системы СПИД оценивается как достаточная. Подобрать начальные значения скорости резания и подачи.

Обрабатываемый материал принадлежит к девятой группе по стандарту VDI 3323, классификация по которому принята ИСКАРом. По таблице 5 назначаем начальную подачу $f_z = 0.2$ мм/зуб (значение ближе к верхней границе интервала).

По данным каталога или из таблицы 3 следует, что длина режущей кромки пластины около 8 мм. Таким образом, $h/ap = 4/8 = 0.5$ и $b/D = 16/25 \approx 0.6$.

Таблица 6 позволяет заключить, что нагружение зуба среднее, а таблица 7 - что в данном случае тип обработки средний (С). Согласно параграфу б) коэффициент устойчивости K_s принимается равным 1.

Соответственно, базовая скорость резания для 20-минутного периода стойкости пластин $V_c = 135$ м/мин (таблица 9).

Для расчётной стойкости 60 мин коэффициент стойкости $K_t = 0.8$ (таблица 8), и для такого случая начальная скорость должна быть 108 м/мин.

Таблица 9. Базовая скорость резания V_0 для основных марок твёрдого сплава в зависимости от типа обработки*

Группа по ISO DIN/ISO 513	Материал заготовки				Базовая скорость резания V_0 , м/мин, для марок тв. сплава и типа обработки																	
	Тип	Группа материала**	σ_T , Н/мм ²	Твёрдость HB	IC808			IC5100			IC810			DT7150			IC830			IC330		
					Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т	Л	С	Т
P	Углеродистая сталь	1	<850	<250	300	240	220				260	230	200				200	170	150	185	160	135
		2-4	<850	<250	280	220	200				240	200	180				180	150	135	170	140	125
		5	>850 <1000	>250 <300	240	200	180				215	190	170				150	135	120	135	120	115
	Легированная и инструментальная сталь	6, 7	<1000	<300	230	200	170				200	180	160				170	140	125	150	135	120
		8, 9	>1000 <1200	>300 <350	215	185	165				180	150	125				150	135	120	140	125	115
		10	<850	<250	210	190	170				165	135	110				140	125	115	130	120	110
M	Нерж. мартенситная сталь	11	>1100 <1450	>325	165	135	115				150	125	105				135	120	115	125	110	100
		12, 13	<850	<250	200	170	140										170	140	125	150	130	120
K	Серый чугун	15-16	<1000	<300	260	220	200				300	250	220				260	220				
	Высокопрочный чугун	17-18	<1000	<300	240	200	180				250	220	200				200	185				
H	Высокотвёрдые сталь и чугун***	38.1	>1480 <1700	HRC 45-49	120	100	80										100	80	70			
		38.2	>1700 <2000	HRC 50-55	75	55																
		39	>2000 <2500	HRC 56-63	65	45																

* Для периода стойкости 20 мин.

** Группа материалов по ИСКАР стандарту VDI 3323.

*** В последующих главах приведены дополнительные данные по фрезерованию сталей и чугунов высокой твёрдости.

□ - Предпочтительный выбор сплава.

Цельные твёрдосплавные фрезы

ИСКАР предлагает прессштамповому производству богатый выбор цельных твёрдосплавных (монокристаллических) концевых фрез с углом в плане 90° для обработки прямоугольных уступов. Номинальный диаметр таких фрез заключается в пределах от 0.4 мм до 25 мм, а большое разнообразие вариантов исполнения позволяет фрезерование всех типов материалов, встречающихся в изготовлении штампов и пресс-форм: легированные и инструментальные стали, ферритные и мартенситные нержавеющие стали, чугун и т.д. Конструктивные исполнения отличаются режущей геометрией, углом винтовой стружечной канавки (именуемого также и углом подъёма либо наклона спирали или зубьев), числом зубьев, длиной (короткие, средней длины, длинные и т.п.) и позволяют осуществление всех видов фрезерования: черновое, полуступенчатое, чистовое.

Каталоги и технические брошюры ИСКАРа содержат подробные указания по приложению монокристаллических фрез к обработке уступов. Как правило, обычная практика говорит, что двухзубые фрезы, имеющие наибольший объём стружечной канавки, используются главным образом для чернового фрезерования, обработки пазов и фрезерования осевым врезанием (плунжированием), а многозубые фрезы преимущественно применяются в чистовых операциях с их высокими требованиями по точности и шероховатости.

Основой для подбора монокристаллических фрез служат, разумеется, требования технологического процесса и материал заготовки. Следует подчеркнуть, однако, что говоря об ограничениях по подаче, важным фактором является не только прочность зуба и жёсткость фрезы, но и отвод стружки, определяемый формой и глубиной стружечной канавки. Соответственно, лимитирующими показателями для подачи становятся номинальный диаметр фрезы и число зубьев, которые надо также принять во внимание.

Развитие заточных станков с ЧПУ привело к тому, что сегодня различные производители цельного твёрдосплавного инструмента, от небольших местных фирм и до крупнейших компаний мирового уровня, производят монокристаллические фрезы одних и тех же размеров, которые внешне смотрятся одинаковыми, будто копии одна другой. Тем не менее, несмотря на визуальное сходство, порой просто поразительное, между такими фрезами существует огромная разница в функционировании и стойкости, причина которой лежит в твёрдом сплаве, технологии заточки и, конечно же, невидимых глазу особенностях режущей геометрии.

С СОЖ или без

Обработка без подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) или использование воздуха в качестве охлаждающего средства предпочтительны для цельных твёрдосплавных фрез. При обработке сталей и материалов высокой твёрдости (группы применимости по ISO P и H соответственно) фрезами из сплавов IC900 и IC903 подача СОЖ вообще не рекомендуется. Если же условия операции диктуют применение СОЖ (например, фрезерование аустенитной нержавеющей стали), в качестве первого выбора марки сплава стоит ориентироваться на IC300.

Монокристаллические фрезы выпускаются из следующих марок твёрдого сплава.

Большинство монокристаллических фрез производятся из IC900 - прочного субмикронного твёрдого сплава с защитным износостойким покрытием PVD TiAlN (физическим). Данный сплав является широкоуниверсальным и применяется для разнообразных фрезерных операций, как черновых, так и чистовых, при обработке углеродистых, легированных, инструментальных и нержавеющих сталей. Кроме того, он пригоден для фрезерования закалённых сталей твёрдостью до HRC 55.

Ультрамелкозернистый сплав IC903 с содержанием кобальта 12% и покрытием PVD TiAlN рекомендуется для обработки закалённых сталей и высокотвёрдых чугунов, обычно твёрдостью HRC 56-63 и даже более. Этот сплав не подходит для тяжёлых режимов резания.

Ударновязкий субмикронный сплав IC300 с покрытием PVD TiCN предназначен прежде всего для фрезерования нержавеющей сталей с низкими и средними скоростями резания, особенно в неблагоприятных условиях. Мелкозернистый твёрдый сплав IC08 используется в основном для обработки заготовок из цветных металлов.

Таблица 10. Выбор марок твёрдого сплава для монолитных фрез

Группа по ISO		IC900	IC903	IC300
P		■		□
M		□		■
K		■		
H	До HRC 55	□	■	
	Свыше HRC 55		■	

■ - Предпочтительный выбор.

□ - Возможное применение.

Среди чрезвычайно богатой и многообразной группы цельных твёрдосплавных концевых фрез ИСКАРА с углом в плане 90° своей оригинальной геометрией выделяются три семейства.

У четырёхзубых фрез семейства **FINISHRED** с углом наклона зубьев 45° два противоположных зуба снабжены стружкоразделительными канавками, что делает их кромку зазубренной, а два других подобных канавок не имеют, поэтому кромка здесь гладкая. Такое сочетание двух видов режущей геометрии: черного зуба со стружкоразделяющим эффектом и чистового со сплошной кромкой, - часто называется “две в одном”. Действительно, две фрезы, черновая и чистовая, соединились в одном инструменте. Указанный принцип позволяет вести обработку на параметрах режима, свойственных черновому фрезерованию, а получать шероховатость поверхности, которая характеризует полустовые и даже, в зависимости от конкретных требований к операции, чистовые проходы. Таким образом, одна фреза в состоянии заменить две: черновую и чистовую, что существенно сказывается на снижении оперативного времени и потребляемой мощности и на повышении производительности операции. Своеобразная конструкция фрезы способствует уменьшению вибраций при резании в тяжёлых режимах, а образующаяся смесь длинной и короткой стружки легче удаляется, что является важным преимуществом при обработке полостей и карманов штампов и пресс-форм.

Четырёх- и пятизубые фрезы **CHATTERFREE** имеют неравномерный угловой шаг зубьев, что значительно повышает виброустойчивость инструмента. Они представляют собой хорошее решение для станков с ограниченной мощностью привода главного движения (например, с концом шпинделя по ISO 40 или BT 40), столь популярными на небольших предприятиях, занятых изготовлением штампов и пресс-форм. Оригинальная геометрия позволяет фрезерование в сплошном материале паза глубиной до двух диаметров фрезы.

Семейство **FINISHRED VARIABLE PITCH** объединяет в себе достоинства обоих указанных типов фрез. Образованный гибрид демонстрирует необычайные рабочие показатели. Можно сказать, что наделяет потребителя новой версией **FINISHRED**, в которой уже не две, а целых три фрезы объединились воедино - “три в одной”, как именуют это семейство!

Переточка твёрдосплавных фрез

Возможности современных шлифовальных и заточных станков принесли впечатляющие изменения в технологию переточки твёрдосплавных фрез, позволяя восстановить с высокой точностью режущую геометрию изношенного инструмента. Правда, стойкость фрез после переточки ниже из-за наличия участков без покрытия или же проблем с вторичным покрытием. Отрицательное влияние на эффективность фрезы оказывает и уменьшение её диаметра вследствие переточки. Переточка по задней поверхности уменьшает глубины стружечной канавки, а во многих случаях - и передний угол, что ухудшает резание и отвод стружки. Уменьшение диаметра фрезы на 1% ведет в среднем к снижению рабочей характеристики на 2-3%. Существует и определённая граница для уменьшения, и достигнув её, фреза резко теряет свои эксплуатационные качества. Чтобы избежать отрицательных последствий, очень важно соблюдать соответствующие инструкции ИСКАРА по переточке - их можно найти в каталогах и технических изданиях, или получить, обратившись к местному представителю компании.

Параметры режима резания**Максимальная глубина при фрезеровании паза**

При фрезеровании паза допустимая глубина зависит не только от прочности и жёсткости инструмента, но также и от его возможностей по отводу стружки. Обработывая глубокие пазы, часто приходится значительно уменьшать подачу на зуб для обеспечения необходимого стружкоудаления. Применение фрез типа **FINISHRED** и **FINISHRED VARIABLE PITCH** позволяет существенно улучшить положение.

Максимальная глубина резания при фрезеровании паза в стальных заготовках не должна превышать значения, представленные в таблицах 11-13. В случае обработки чугуна указанные допускаемые величины следует увеличить вдвое..

Таблица 11. Максимальная глубина при фрезеровании паза, мм, для монолитных фрез стандартной линии

D, мм	до 4	4-5	6-8	10-25
Ap max	0.3 D	0.4 D	0.4 D / D*	0.5 D / D*

* С уменьшением подачи fz на 50%.

Таблица 12. Максимальная глубина при фрезеровании паза, мм, для монолитных фрез семейства FINISHRED

D, мм	до 4	4-5	6-8	10-25
Ap max	0.4 D	0.6 D	0.7 D / 1.2 D*	0.9 D / 1.5 D*

* С уменьшением подачи fz на 30%.

Таблица 13. Максимальная глубина при фрезеровании паза, мм, для монолитных фрез семейств CHATTERFREE и FINISHRED Variable Pitch

D, мм	до 4	4-5	6-8	10-25
Ap max	0.9 D	D	1.2 D	2 D*

* Для D_z ≥ 16 мм подачу следует уменьшить на 20%.

Фрезерование прямоугольного уступа: размерные ограничения

При фрезеровании прямоугольных уступов оценка глубины и ширины резания может быть сделана с помощью таблицы 14.

Таблица 14. Размеры фрезеруемого уступа

ae	ap max	
	D ≤ 16 мм	D > 16 мм
< 0.3 D	2 D	1.8 D
(0.3...0.5) D	2 D	1.8 D
0.5 D < ae < 0.75 D	1.25 D	0.8 D
≥ 0.75 D	Ap max*	

■ - Рекомендуемый режим работы.

* Величина Ap max, указанная в таблицах 11-13.

Начальные значения подачи на зуб и скорости резания

В таблицах ниже указаны расчётные начальные значения подачи на зуб и скорости резания для концевых монолитных фрез семейств **FINISHRED**, **CHATTERFREE** и **FINISHRED Variable Pitch**.

Таблицы характеризуют черновые и получистовые операции. Рекомендации по режимам резания при чистовом фрезеровании рассматриваются отдельно.

Если условия обработки относятся к неблагоприятным (проблемное закрепление, тонкостенная заготовка, значительный вылет фрезы и т.п.), то табличные данные необходимо уменьшить на 20-30%.

Таблица 15. Фрезы **FINISHRED**: начальная подача fz, мм/зуб, для фрезы диаметром D

Группа по ISO DIN/ISO 513	D, мм												
	Группа материала*	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
P	1-4	0.008	0.020	0.030	0.040	0.055	0.065	0.080	0.085	0.092	0.138	0.145	0.155
	5	0.008	0.020	0.028	0.038	0.055	0.065	0.077	0.082	0.090	0.130	0.137	0.148
	6, 7	0.008	0.020	0.028	0.038	0.055	0.065	0.077	0.082	0.090	0.130	0.137	0.142
	8, 9	0.008	0.019	0.028	0.038	0.050	0.060	0.072	0.077	0.085	0.130	0.137	0.142
	10	0.008	0.017	0.025	0.036	0.048	0.058	0.070	0.072	0.082	0.125	0.130	0.137
	11	0.008	0.012	0.022	0.032	0.045	0.055	0.065	0.065	0.077	0.110	0.120	0.132
M	12, 13	0.008	0.015	0.028	0.038	0.048	0.058	0.070	0.077	0.082	0.125	0.130	0.137
K	15-16	0.009	0.022	0.032	0.043	0.060	0.070	0.083	0.088	0.095	0.142	0.150	0.163
	17-18	0.009	0.022	0.032	0.043	0.060	0.070	0.083	0.088	0.095	0.142	0.150	0.163
H	38.1**				0.022	0.028	0.032	0.038	0.040	0.045	0.055	0.060	0.065
	38.2												
	39												

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Шпоночная фреза: сверло, фрезерующее паз

Концевые фрезы, способные осуществлять врезание с подачей вдоль оси инструмента, называют шпоночными. Для осуществления врезания, подобного сверлению, по крайней мере один из зубьев такой фрезы перекрывает ось. Обработка же паза ведётся за несколько проходов по циклу: врезание на определённую глубину-продольное фрезерование с полученной глубиной резания-снова врезание и т.д. Исторически шпоночные фрезы предназначались для глухих мерных пазов под призматические шпонки, откуда и произошло их название. Обычно эти фрезы двухзубые (как сверла), но достаточно распространёнными стали также варианты исполнения с тремя, а иногда и четырьмя зубьями.

Таблица 16. Фрезы CHATTERFREE и FINISHED Variable Pitch:
начальная подача fz, мм/зуб, для фрезы диаметром D

Группа по ISO DIN/ISO 513	D, мм										
	Группа материала*	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
P	1-4	0.022	0.032	0.045	0.055	0.058	0.060	0.065	0.078	0.088	0.110
	5	0.022	0.032	0.040	0.050	0.055	0.058	0.060	0.065	0.077	0.100
	6, 7	0.020	0.027	0.032	0.042	0.045	0.050	0.055	0.060	0.072	0.088
	8, 9	0.019	0.027	0.032	0.036	0.038	0.042	0.050	0.055	0.065	0.075
	10	0.016	0.022	0.027	0.030	0.032	0.038	0.045	0.050	0.060	0.067
	11	0.012	0.016	0.022	0.027	0.030	0.035	0.038	0.045	0.055	0.060
M	12, 13	0.016	0.022	0.027	0.030	0.032	0.038	0.045	0.050	0.060	0.067
K	15-16	0.022	0.032	0.045	0.055	0.055	0.062	0.072	0.082	0.100	0.130
	17-18	0.019	0.027	0.042	0.052	0.052	0.060	0.068	0.078	0.090	0.110
H	38.1**			0.016	0.020	0.022	0.025	0.027	0.032	0.035	0.045
	38.2										
	39										

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Таблица 17. Начальная скорость резания Vc, м/мин
(черновое и получистовое фрезерование)

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	Фрезерование паза	Фрезерование уступа
P	1	145	180
	2-4	115	150
	5	100	125
	6	105	130
	7-9	85	120
	10	85	115
	11	70	100
M	12, 13	80	110
K	15-16	130	160
	17-18	125	150
H	38.1**	50	70

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Врезание под углом и монолитные фрезы

Как уже отмечалось ранее, в изготовлении штампов и пресс-форм с часто встречающейся необходимостью обработки различных полостей, карманов и углублений важной функциональной характеристикой фрезы выступают её возможности по врезанию под углом. Понятно, что у шпоночных фрез отсутствуют ограничения по углу, но в случае обычных концевых фрез необходимо учесть допустимые пределы врезания при проектировании процесса металлообработки и подготовки управляющей программы ЧПУ (для интерполяции по спирали, например). Граничные параметры врезания указаны в каталогах основной продукции ИСКРА и выпусках технической информации.

Таблица 18. Начальная скорость резания V_c , м/мин (чистовое фрезерование)

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала	V_c , м/мин
P	1	280
	2-4	200
	5	170
	6	190
	7-9	170
	10	165
	11	120
M	12, 13	150
K	15-16	220
	17-18	200
H	38.1	100
	38.2	90
	39	60

* Группа материалов ИСКРА по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Чистовое фрезерование

В цельных твёрдосплавных фрезах, которые представляют собой единую интегральную конструкцию, можно выдержать жёсткие требования точности размеров и формы (допуск на диаметр, радиальное биение зубьев и т.д.), что делает их инструментом первого выбора при чистовом (финишном) фрезеровании поверхностей деталей штампов и пресс-форм. Чистовые фрезерные операции, призванные обеспечить необходимую точность и малую шероховатость обработки, отличаются небольшими припусками (обычно до 5% диаметра фрезы, а для закалённых сталей - 0.1-0.2 мм), высокой скоростью резания и низкой подачей по сравнению с черновыми и получистовыми проходами. Конструкция фрезы обладает достаточной прочностью, позволяющей назначать подачи выше указанных в таблицах 15 и 16, однако во избежание плохого качества поверхности рекомендуется начинать работу, пользуясь табличными данными, и лишь затем попытаться увеличить подачу при условии, что шероховатость остаётся на приемлемом уровне.

Короткая или сверхдлинная?

Цельные твёрдосплавные фрезы одного и того же типа и номинального диаметра выпускаются различными исполнениями (сериями), отличными по общей длине и длине режущей кромки. Короткая серия обладает максимальными прочностью и жёсткостью, в то время как сверхдлинная обеспечивает наибольшую досягаемость и является незаменимой в обработке глубоких полостей или высоких уступов. Как правило, выделяют короткую, среднюю, длинную и сверхдлинную серии фрез.

Пример

При изготовлении блока пресс-формы требуется фрезеровать прямоугольный уступ шириной 3 мм (ae) и высотой 5 мм (ap). Материал блока - конструкционная легированная сталь 40XH2MA твёрдостью HRC 34. Необходимо обеспечить шероховатость поверхности уступа Ra 2.5, а непрямолинейность и неплоскостность - согласно международному стандарту ISO 2768-m. Предполагается использование фрезы EC-E4L 08-18/26W08CF63.

Обрабатываемый материал относится к восьмой группе (No. 8). Номинальный диаметр фрезы - 8 мм (D), длина режущей кромки - 18 мм (Ap). Фреза является представителем семейства **CHATTERFREE**. Требования к обработке по точности и шероховатости можно считать обычными, $ae/D = 3/8$, $ap < Ap$, $ap < 2D$ ($5 < 16$), следовательно, для фрезерования уступа достаточно одного прохода (таблица 14). Таблица 16 определяет начальную подачу $fz=0.038$ мм/зуб, а таблица 17 - начальную скорость резания $Vc=120$ м/мин.

Подача на зуб или глубина резания?

Скорость (темп, интенсивность, удельный объём) снятия материала, лакмусовый индикатор производительности фрезерной операции, зависит и от подачи на зуб, и от глубины резания: "Часто задаваемый вопрос: "Что же эффективнее для управления производительностью - изменение в допустимых пределах подачи или глубины?" не имеет строго однозначного ответа. Но всё же обеспечение той же самой скорости снятия материала путём повышения подачи и соответствующего снижения глубины более предпочтительно, чем обратная комбинация (меньшая подача и большая глубина), так как позволяет получить выигрыш по стойкости фрезы. К слову сказать, фрезерование с высокой подачей на зуб, один из прогрессивных методов черновой обработки, который также рассматривается в руководстве, использует, в частности, отмеченный принцип

Таблица 19. Общая характеристика цельных твёрдосплавных фрез

Число зубьев	Прочность	Жёсткость	Удаление стружки	Черновая обраб.	Чистовая обраб.	Фрезер.-е паза	Плунжирование
2	*	*	****	****	*	****	****
3	**	**	***	***	**	***	**
4	***	***	**	**	***	*	
5 и более	****	****	*		****		

Более подробную информацию о цельных твёрдосплавных фрезах ИСКАРА можно найти в каталогах, руководствах и технических брошюрах компании.

Сменные фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР

Общие замечания

МУЛЬТИ-МАСТЕР - название линии сборного вращающегося инструмента, состоящего из державок (получивших название “хвостовики”) и сменных режущих головок, предназначенной для различных видов обработки резанием: фрезерования, зенкования, предварительного засверливания, сверления центровых отверстий и отрезки.

Конструктивный принцип **МУЛЬТИ-МАСТЕР** базируется на следующих трёх решениях, “трёх китах” линии: резьбе особого профиля, центрированию по короткому точному конусу и контакту по торцу. Монолитная сменная головка **МУЛЬТИ-МАСТЕР** построена из двух частей: рабочей, имеющей необходимую режущую геометрию, и соединительной, состоящей из наружной резьбы и центрирующего конуса. В хвостовике же выполнены внутренние резьба и конус. Завинчивание головки происходит до тех пор, пока не осуществится контакт между соответствующими торцами головки и хвостовика. При этом участок хвостовика в районе его конического отверстия упруго деформируется.

Данный принцип обеспечивает прочное и жёсткое крепление в хвостовике головок самого разнообразного профиля. Будучи сборным, инструмент **МУЛЬТИ-МАСТЕР** отвечает тем не менее жёстким требованиям высокой точности, так как окончательная режущая геометрия головки достигается прецизионным шлифованием, а характер соединения гарантирует отклонение от соосности в очень узких границах. Инструменты просты и удобны в обслуживании: замена головки осуществляется её вращением с помощью ключа. Более того, обеспечивается высокая повторяемость вылета головки относительно торца хвостовика, и замена головки не ведёт к дополнительной настройке на размер.

Линия **МУЛЬТИ-МАСТЕР** представляет потребителю богатый выбор головок, хвостовиков, переходников и удлинителей. Базовая концепция линии, согласно которой в одном хвостовике можно закреплять головки различного профиля и точности, и напротив, когда одна и та же головка пригодна для закрепления в хвостовиках, отличающихся формой, размерами и даже изготовленными из разных материалов, позволяет впечатляющую эксплуатационную гибкость и заметно сокращает потребность в специальном инструменте. Отпадает также необходимость в большом складском запасе концевых инструментов. Не требуется и переточка, ведь изношенная головка легко заменяется. Линия обеспечивает создание многочисленных конфигураций режущего инструмента путём комбинации головок, хвостовиков, удлинителей, отвечая не только запросам производства штампов и пресс-форм по функционированию инструмента, но одновременно ощутимо снижая затраты на материально-техническое снабжение.

Дополнительная настройка на размер ... не требуется!

Повторяемость, воспроизводимость сборной механической системы со сменными элементами означает, что ключевой параметр системы остаётся в допустимых границах при замещении одного сменного элемента на однотипный другой. В линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР** стандартной поставки повторяемость общей длины инструмента (и как следствие, вылета головки относительно контактного торца хвостовика) составляет 0.04 мм для головок нормальной точности и 0.02 мм для прецизионных головок. Вот почему нет нужды в дополнительной настройке на размер при замене головки, а саму замену производить, не вынимая инструмент из шпинделя станка! Таким образом, появляется ещё один источник сокращения оперативного времени и тем самым повышения производительности металлообработки.

90-градусные режущие головки

В линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР** существует два типа цельных твёрдосплавных головок сравнительно малого диаметра (8-25 мм) для фрезерования прямоугольных уступов.

Первый, имеющий обозначение **ММ ЕС...**, фактически полностью повторяет режущую геометрию монолитной фрезы такого же диаметра (по числу зубьев, углу подъёма спирали и т.д.). Единственным отличием является уменьшенная длина режущей кромки: обычно она не превышает диаметра головки. Совершенно очевидно, что любой вид монолитной фрезы прямоугольного профиля может производиться как версия в виде головки **МУЛЬТИ-МАСТЕР**. Следовательно, параметры режима резания для головок **ММ ЕС...** ничем не отличаются от уже рассмотренных на предыдущих страницах значений для цельного инструмента.

Второй тип, **ММ НС...**, получивший название “экономичный”, имеет всего два зуба и меньший угол подъёма спирали. Предварительная геометрия головок этого типа получается прессованием и последующим спеканием, а операция шлифования с небольшим припуском окончательно определяет режущий профиль и точность. Данные головки обладают высокопрочным прессованным зубом, что ведёт к заметному увеличению рабочей подачи на зуб по сравнению с головками первого типа, и несмотря на только два зуба скорость подачи (минутная подача) становится такой же, как и для головок **ММ ЕС...**. В ряде случаев указанная прочность зуба допускает даже некоторое повышение скорости резания по отношению к монолитным фрезам/головкам первого типа при том же периоде стойкости. Перечисленные качества делают головки **ММ НС...** привлекательным экономичным решением для чернового фрезерования и фрезерования пазов.

Понятным ограничением в применении головок обоих типов является длина режущей кромки Ар. Для головок **ММ НС...** не рекомендуется назначать глубину резания более 0.8Ар при фрезеровании паза, а также и при обработке уступа с шириной резания, превышающей половину диаметра головки.

Таблицы 20 и 21 предназначены для определения начальных значений скорости резания и подачи в случае фрезерования фрезами **МУЛЬТИ-МАСТЕР** с головками **ММ НС...**

Индексируемый и ... цельный твёрдосплавный инструмент

Использование сборных концевых инструментов линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР** открывает новые возможности для экономии денежных средств и повышения производительности обработки резанием. Фрезы **МУЛЬТИ-МАСТЕР** не являются ни цельными твёрдосплавными, ни индексируемыми в общепринятом смысле слова, а занимают промежуточное положение между ними. Снабжённые сменной монолитной режущей частью, такие модульные инструменты представляют собой новый тип: индексируемые цельные фрезы, каким бы невероятным не казалось сочетание слов “индексируемый” и “цельный”.

Таблица 20. Фрезы с головками ММ НС...: начальная подача на зуб fz

Группа ISO DIN/ISO 513	fz, мм/зуб, для диаметра головки D, мм				
	Группа материала*	8	10	12	16
P	1-4	0.11	0.13	0.13	0.15
	5	0.1	0.12	0.13	0.13
	6, 7	0.09	0.1	0.1	0.12
	8, 9	0.08	0.09	0.1	0.12
	10	0.07	0.08	0.09	0.1
	11	0.06	0.07	0.08	0.09
M	12, 13	0.07	0.08	0.09	0.1
K	15-16	0.1	0.13	0.14	0.16
	17-18	0.09	0.12	0.13	0.15
H	38.1**	0.04	0.05	0.06	0.06

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Хвостовики МУЛЬТИ-МАСТЕР

Хвостовики линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР** различаются по материалу изготовления и форме. В качестве конструкционного материала применяются: сталь (для хвостовиков широкого применения), твёрдый сплав (характеризуется высокой жёсткостью) и тяжёлый металл (сплав с большим удельным весом на основе вольфрама и незначительными легирующими добавками других элементов, который отличается хорошими демпфирующими свойствами, однако обладающий ограниченной усталостной прочностью, вследствие чего не рекомендуется для тяжелонагруженных операций). Форма хвостовиков также разная - выпускаются гладкие хвостовики и хвостовики с шейкой: прямой или конической. Для стандартного исполнения с конической шейкой угол конуса на сторону составляет 1°-5° в зависимости от типа хвостовика. Существуют и вариации общей длине хвостовика, его диаметра, длины шейки и т.д. Такое богатое многообразие призвано обеспечить прессоштамповое производство именно тем инструментом, который требуется для выполнения специфической обработки, будь то черновая или чистовая операции, фрезерование глубокой полости или высокого уступа, резание в условиях недостаточной жёсткости системы СПИД и др. Модульный принцип **МУЛЬТИ-МАСТЕРА** превращает эту линию в мощное средство по подбору эффективного режущего инструмента.

Таблица 21. Фрезы с головками ММ НС...: начальная скорость резания Vc, м/мин (черновое и получистовое фрезерование)

Группа ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	Фрезерование паза	Фрезерование уступа
P	1	160	190
	2-4	125	160
	5	110	135
	6	115	140
	7-9	95	130
	10	95	125
	11	80	110
M	12, 13	90	120
K	15-16	145	175
	17-18	135	165
H	38.1**	55	75

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

При неблагоприятных условиях резания (нежёсткое крепление, тонкостенная заготовка, большой вылет фрезы и пр.) величины, указанные в таблицах 20 и 21 следует уменьшить на 20-30%.

Большинство фрезерных головок линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР** производится из твёрдого сплава марки IC908, имеющего прочную субмикронную основу и защитное покрытие PVD TiAlN. Это достаточно универсальный сплав, который отвечает требованиям широкого диапазона фрезерных операций со средними и высокими скоростями резания, включая обработку прерывистых поверхностей и фрезерование в условиях маложёсткой системы СПИД. IC908 отличает высокая сопротивляемость наростообразованию и точечному износу по глубине резания.

Головки, предназначенные для фрезерования закалённой стали высокой твёрдости, изготавливаются из твёрдого сплава марки IC903. В предыдущем разделе, который рассматривает цельные твёрдосплавные фрезы, содержится краткое описание IC903.

Пример

В технологическом процессе производства вкладыша, входящего в комплект штампа, существует операция чернового фрезерования прямоугольного уступа шириной (ae) 4 мм и высотой (ap) 6 мм. Материал вкладыша - инструментальная сталь 5XB2CF. Технолог предполагает использовать сборную фрезу **МУЛЬТИ-МАСТЕР**, состоящую из короткого стального хвостовика MM S-A-L070-W20-T10 и установленной в нём головке экономичного типа MM HC160C16R0.4-2T10 908. Используемое станочное приспособление обеспечивает жёсткое закрепление заготовки вкладыша. Для проведения сравнительных расчётов по целесообразности применения фрезы необходимо оценить значения подачи и скорости резания.

Обрабатываемая сталь относится к шестой группе материалов по стандарту VDI 3323, используемому компанией ИСКАР. Согласно каталогу вращающегося инструмента ИСКАР номинальный диаметр выбранной головки (D) 16 мм, длина её режущей кромки (Ar) 15 мм. Учитывая указанные размеры уступа и инструмента, а также вид обработки (черновая), для выполнения требуемой операции достаточно одного прохода ($ae/D=6/16=3/8$, $ap < Ar$, см стр. 31). По таблице 20 определяется начальная подача $fz=0.12$ мм/зуб и из таблицы 21 - начальная скорость резания $Vc=140$ м/мин.

Более подробная информация о режущих головках, хвостовиках, переходниках и удлинителях линии МУЛЬТИ-МАСТЕР содержится в каталогах, руководствах и технических брошюрах ИСКАР.

Длиннокромочные фрезы с углом в плане 90°.

Режущий зуб (режущее лезвие, режущая кромка) длиннокромочной фрезы состоит из набора сменных многогранных пластин (СМП), вследствие чего такие фрезы называются также фрезами с удлинённым наборным зубом (наборным лезвием, наборной кромкой). Пластины, размещённые последовательно и с взаимным смещением друг относительно друга, образуют непрерывный спиральный зуб и входят в обрабатываемый материал постепенно, способствуя более плавному резанию. В обычных фрезах с СМП длина зуба ограничена непосредственно длиной режущей кромки пластины. У длиннокромочных же длина зуба значительно больше - её "удлиняет" набор СМП. Соответственно, стружечный карман обычной фрезы трансформируется в целую стружечную канавку существенно увеличенного объёма.

Принято разделять фрезы с удлинённой наборной кромкой на полностью эффективные и эффективные наполовину. У полностью эффективных фрез количество торцевых зубьев равно числу стружечных канавок. Во фрезах эффективных наполовину пластины, пластины

располагаются в шахматной порядке, и СМП, размещённые вдоль одной стружечной канавки не образуют сплошную режущую кромку: последняя формируется во вращении “дополнением” пластин соседней канавки. Такие фрезы имеют лишь чётное число канавок, а количество торцевых зубьев вдвое меньше этого числа, что и определяет название: “эффективные наполовину”. Понятно, что при тех же номинальном диаметре и числе канавок в случае обработки с одинаковыми скоростью резания и подачи на зуб скорость подачи полностью эффективной фрезы будет вдвое больше, чем у эффективной наполовину. Правда, вырастет и потребляемая мощность резания.

По своему конструктивному исполнению длиннокромочные фрезы бывают как с хвостовиком, так и насадные. Они выпускаются с интегральным корпусом или в виде сборного модулярного инструмента, состоящего из различных секций.

Длиннокромочные фрезы используются в черновых операциях, как правило на тяжёлых режимах, при обработке высоких уступов, глубоких полостей и пазов. Их часто применяют и для фрезерования краёв и кромок крупногабаритных заготовок.

Среди инструментов ИСКАРА стандартной поставки полностью эффективные длиннокромочные фрезы представлены целым комплексом. Эта группа режущего инструмента не является самой востребованной в процессе изготовления штампов и пресс-форм. Однако, рамки справочного руководства обязывают дать общие рекомендации по назначению параметров режимов резания, хотя бы для последних конструкций. Развёрнутая методика определения скорости резания и подачи в данном случае требует учесть ряд возможных комбинаций различных характеристик обработки, которые могут негативно сказаться на стойкости инструмента и его других эксплуатационных показателях. А для начальной оценки достаточно данных в таблицах 22-24, относящихся к фрезам с удлинённой наборной кромкой с пластинами из новых твёрдых сплавов по технологии **SUMO TEC**.

В указанных таблицах a_p означает глубину резания, a_e - ширина резания, D - номинальный диаметр фрезы.

При фрезеровании паза в сплошном материале скорость резания выбирается из таблицы 22 для случая с $a_p/D > 0.5$. Если же глубина паза такова, что $a_p/D > 1.25$, то принятое табличное значение следует дополнительно уменьшить на 20%.

Режущая кукуруза

В технической литературе длиннокромочные фрезы приобрели разные названия.

В дополнение к упомянутому уже “фрезе с удлинённой наборной кромкой” и пр.

используются и “торцево-цилиндрическая фреза”, и “обдирочная фреза для черновых работ”, и “фреза с шахматным расположением пластин” (последний термин, правда, будет правильным лишь по отношению к эффективным наполовину фрезам).

А в профессиональном жаргоне нашлись куда более экзотические определения, например “rogcurine” (дикобраз, поркупин), широко распространённый в англоговорящей среде - чем не аналог “кукурузной фрезе” или просто “кукурузе”, прочно укоренившимся в техническом русском!

Таблица 22. Начальная скорость резания V_c , м/мин (усреднённые данные), для длиннокрючковых фрез

Группа ISO-DIN/ISO 513	Группа материала*	ае/D для марки тв. сплава											
		IC808			IC810			IC830			IC330		
		<0.3	0.3...0.5	>0.5	<0.3	0.3...0.5	>0.5	<0.3	0.3...0.5	>0.5	<0.3	0.3...0.5	>0.5
Р	1	225	200	170	200	180	160	160	140	125	150	130	115
	2-4	200	175	160	180	160	150	140	125	115	125	115	110
	5	170	155	140	155	140	130	120	110	100	110	100	100
	6	180	165	130	165	150	120	130	115	95	120	110	95
	7	170	150	130	155	135	120	125	110	95	115	105	85
	8	170	140	125	155	130	115	120	105	90	115	100	85
	9	140	125	120	130	115	110	105	90	85	100	85	80
	10	140	120	115	130	110	105	105	90	85	100	85	80
	11	120	105	95	110	100	90	85	80	75	80	75	70
	12, 13	125	110	100				110	100	90	110	100	90
М	15-16	175	160	135	200	170	150	170	150	130			
К	17-18	165	140	125	170	150	135	160	135	120			
Н	38.1**	70											

□ – Предпочтительный выбор сплава.

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Таблица 23. Базовая подача f_0 , мм/зуб, для длиннокрючковых фрез

Группа ISO-DIN/ISO 513	Группа материала*	f_0 , мм/зуб							
		T290 LNK	...	T490 LNK	(LNM)...	T490 SM	...	H490 SM	...
		12-16	20	20-32	40-50	40-50	63	63	80-100
Р	1	0.13	0.14	0.16	0.2	0.2	0.22	0.22	0.25
	2-4	0.11	0.12	0.14	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19
	5	0.09	0.1	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17
	6	0.09	0.1	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17
	7	0.09	0.1	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17
	8	0.09	0.1	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17
	9	0.08	0.09	0.1	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14
	10	0.08	0.09	0.1	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14
	11	0.06	0.07	0.08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12
	12, 13	0.12	0.1	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16
М	15-16	0.14	0.12	0.14	0.17	0.17	0.19	0.19	0.2
К	17-18	0.12	0.1	0.12	0.15	0.15	0.16	0.16	0.17
Н	38.1**	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.1

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** HRC 45-49

Таблица 24. Коэффициент нагрузки для длиннокрючковых фрез

аp/D	ае/D				
	1/10	1/4*	1/2	3/4	1
1/20	1.2	1	0.9	0.8	0.75
1/4	1.2	1	0.9	0.8	0.7
1/2	1.2	1	0.8	0.7	0.65
3/4	1	0.8	0.7	0.6	0.55
1	0.9	0.7	0.6	0.55	0.5
>1.25	0.7	0.6	0.5	0.45	0.4

* Для фрез T290 LNK... отношение ае/D не должно превышать 1/4.

При работе длиннокрючочными фрезами начальная подача на зуб f_z определяется следующей формулой:

$$f_z = f_o \times k_L \quad (2)$$

Здесь: f_o – базовая подача (таблица 23),
 k_L – коэффициент нагрузки (таблица 24), учитывающий степень нагружения инструмента.

Пример

Длиннокромочная насадная фреза H490 SM D100-64-5-40-17C с СМП H490 ANKX 170608PNTR IC830 будет применяться для фрезерования высокого прямоугольного уступа при изготовлении крупногабаритной несущей детали штампа из стали 20ХМ, твёрдость которой на момент операции HB 270. Высота уступа 60 мм, ширина - 40 мм.

Отведенный для проведения операции станок находится в хорошем состоянии и обладает надлежащей мощностью, жёсткость системы СПИД оценивается как достаточная.

Обрабатываемый материал принадлежит к седьмой группе материалов ИСКАР (№7) по стандарту VDI 3323. Номинальный диаметр составляет фрезы 100 мм, а длина режущей кромки (А_р) - 61.5 мм (данные каталога вращающегося инструмента основной продукции ИСКАР). Марка твёрдого сплава пластин - IC830.

$a_e/D = 40/100=0.4$; $a_p/D = 60/100=0.6$.

По таблице 22 принимается начальная скорость резания V_c , равная 110 м/мин. Согласно таблице 23 базовая подача f_o составляет 0.17 мм/зуб. Аппроксимируя данные таблицы 24, можно оценить коэффициент нагрузки $k_L \approx 0.75$. Следовательно, начальная подача $f_z = 0.17 \times 0.75 \approx 0.13$ мм/зуб.

Важно отметить!

Тяжелонагруженная черновая обработка с помощью фрез с удлинённым наборным зубом, особенно насадной конструкции, сопровождается значительным усилием резания и поэтому требует соответствующей мощности. Всегда проводите необходимые расчёты по оценке потребляемой мощности резания для сравнения с характеристикой привода главного движения используемого станка!

Тангенциальное или радиальное? (2)

Продолжая обсуждение достоинств и недостатков радиального и тангенциального принципов закрепления пластин, применительно к длиннокрючочным фрезам с СМП можно отметить следующее: как правило, при прочих равных условиях фрезы с радиальным закреплением пластин имеют преимущество в отводе стружки и приводят к лучшим результатам при фрезеровании глубоких пазов в сплошном материале. В то же время фрезы с тангенциальным закреплением, обладающие несколько более жёстким корпусом, обычно показывают своё превосходство в обработке высоких уступов. Конечно, подобные выводы не стоит принимать как непреложную истину при выборе инструмента или для окончательного ответа на вопрос подзаголовка, однако они служат неплохой иллюстрацией для общего понимания темы.

Фрезерование плоских поверхностей

При определении инструмента для фрезерования плоских поверхностей первый выбор за торцевыми фрезами. Как следует из самого названия, они предназначены для обработки поверхностей, параллельных своему торцу. Концевые фрезы, рассмотренные в предыдущем разделе, также подходят под это общее определение. А в свою очередь торцевые фрезы, как и концевые, могут обрабатывать прямоугольные уступы. Но классификация фрез по характеру выполняемых операций берёт в расчёт главные функциональные признаки, которые и отражаются в названии.

Основное применение торцевых фрез определяет их иные конструктивные особенности по сравнению с концевыми фрезами. Диаметр торцевой фрезы намного превышает её максимальную глубину резания, и отношение этих двух ключевых размеров значительно больше соответствующей величины концевой фрезы. Торцевые фрезы обычно выпускаются как насадные, закрепляемые на оправках или прямо на посадочных концах шпинделей станков, поэтому в корпусе фрезы имеется центральное цилиндрическое посадочное отверстие. Крутящий момент передаётся фрезе шпонками, установленными на торце оправки или шпинделя и входящими в шпоночный паз на заднем (нерабочем) торце корпуса. Большинство же концевых фрез закрепляются в различных зажимных патронах с помощью своей хвостовой части (хвостовика), посредством которой происходит и передача крутящего момента.

Одним из важных параметров режущей геометрии фрезы является положение главной режущей кромки по отношению к рабочей поверхности, которое определяется углом фрезы в плане. Руководствуясь функциональными и конструктивными параметрами (требования стойкости, производительности, профиль обработки и т.д.), производители режущего инструмента выпускают фрезы с различным углом в плане. Наиболее распространены следующие виды исполнения торцевых фрез по углу в плане:

- 90°,
- 75°,
- 60°,
- 45°.

У торцевых фрез с отличным от 90° углом в плане главные режущие кромки формируют во вращении коническую поверхность, поэтому такие фрезы называются ещё и торцево-коническими. Обычно, если отсутствуют какие-либо ограничения по профилю обрабатываемой поверхности (например, получение прямоугольного уступа), то рекомендуется применение фрезы с наименьшим углом в плане из возможных вариантов. Таким образом открывается дополнительный источник повышения производительности и стойкости фрезы. В самом деле, если максимальная толщина стружки, характеризующая нагружение инструмента, равна подаче на зуб в случае фрезы с углом в плане 90°, то для отличного от прямого угла определяется произведением подачи на синус угла в плане.

Следовательно, меньшие углы в плане разрешают большую подачу на зуб при том же нагружении фрезы (при одинаковой максимальной толщине стружки) - вот и дорога к росту производительности!* Таблицы 25 и 26 подтверждают это положение численными данными.

.Таблица 25. Сравнительная толщина стружки при одинаковой подаче на зуб

Угол фрезы в плане	90°	75°	60°	45°
Толщина стружки	100%	97%	87%	71%

Таблица 26. Увеличение подачи для получения той же толщины стружки

Угол фрезы в плане	90°	75°	60°	45°
Подача на зуб	100%	103%	115%	141%

* Данный подход присущ высокопроизводительному методу черного фрезерования с высокой подачей на зуб.

Угол в плане или угол отклонения?

Существуют чёткие и строгие определения для углов режущей геометрии фрезы, отражённые ГОСТах и нормативных документах ИСО. Тем не менее, национальные стандарты ряда государств руководствуются различным принципом описания углов, что иногда приводит к недоразумению и двусмысленности в переводе зарубежной технической литературы и работе с информацией, размещённой на сайтах иностранных фирм-изготовителей инструмента. В ряде источников на английском угол в плане именуется “entering angle”, “entry angle”, “entrance angle” - угол входа, угол захвата и т.д. Часто значение угла просто предшествует определению типа фрезы, например, “90°-я фреза” (то есть “фреза с углом в плане 90°”).

В США и Великобритании распространённой практикой является указывать так называемый “lead angle” - угол отклонения, который дополняет угол в плане до 90°. Этот угол образован проекциями на основную плоскость главной режущей кромкой и оси вращения фрезы.

Являясь углами, взаимно дополняющими друг друга до прямого, угол в плане и угол отклонения дают в сумме 90°. Они равны лишь в случае 45°-х фрез. Для приведенного выше примера 90°-й фрезы угол отклонения составляет 0°.

Будьте внимательны в работе с данными зарубежных компаний в отношении геометрии фрез во избежание неправильного истолкования!

Помимо указанного меньшие углы в плане способствуют более плавному входу фрезы в материал и выходу из него. Снижается радиальная составляющая силы резания и соответственно, давление на зуб фрезы в радиальном направлении. Это очень важно при фрезеровании материалов, имеющих тенденцию к разрушению острого края (чугуна, например). Улучшаются условия отвода тепла, повышается стойкость пластин.

Впрочем, многие операции требуют применения 90°-х торцевых фрез. Уменьшение угла в плане снижает радиальную составляющую силы резания, но влечёт за собой повышение её (силы) осевой компоненты*, которая может вызвать искривление обрабатываемой поверхности, особенно у тонкостенных заготовок. К тому же при схожих размерах пластины, 90°-е фрезы обеспечивают максимально возможную глубину резания - важный эксплуатационный параметр фрезы. Следует добавить также, что существенное повышение осевой составляющей силы резания при сильно уменьшенном угле фрезы в плане требует повышенной жёсткости системы СПИД, так как возрастает фактор отталкивания инструмента от обрабатываемой поверхности.

Не подлежит сомнению, что операции фрезерования рассчитаны на различные виды торцевых фрез, и только правильное понимание операционных требований в сочетании с учётом особенностей и функциональной характеристики фрезы позволит правильно подобрать эффективный инструмент.

ИСКАР предлагает обширную линию торцевых фрез для выполнения широкого круга операций. Среди последних разработок 90°-х фрез выделяются семейства: **HELITANG T490**, **SUMOMILL T290** и **HELIDO H490**. Их основные достоинства уже были кратко рассмотрены в разделе, посвящённом концевым фрезам. Среди семейств более раннего выпуска по-прежнему большой популярностью пользуется **HELI2000 HM90** с пластинами “классической” конструкции, имеющими 2 спиральные режущие кромки.

45°-е торцевые фрезы дополнились новым семейством **HELIDO S845** с его многообещающими возможностями: прогрессивный конструктивный принцип, положенный в основу семейства, позволяет закреплять в гнезде фрезы двухсторонние пластины как четырёхгранной, так и восьмигранной формы и обеспечивает эффективное решение для СМП с 8 и 16 режущими кромками. Причём если четырёхгранные пластины отличает прочная структура,

* Данный подход присущ высокопроизводительному методу чернового фрезерования с высокой подачей на зуб.

положительная топология передней поверхности и 8 праворежущих кромок, то восьмигранные пластины характеризуются 16 кромками, подходящими как для право-, так и для леворежущей фрезы, и представляют собой чрезвычайно экономичный выбор СМП по пересчёту на одну кромку.

В сводных таблицах 27 и 28 представлены общие данные по торцевым фрезам производства ИСКАР с углами в плане 90° и 45°

Таблица 27. Указатель выбора наиболее распространённых торцевых фрез с углом в плане 90°

	HP F90AN	T490 FLN -08	H490 E90AX -09	HM90 F90AP	H490 E90AX -12	T490 FLN -13	HM90 F90A	T290 FLN -15	T490 FLN -16	H490 E90AX -17	HP F90AT -19
ар	7.7	8	8	10	12	12.5	14.3	15	16	16	16
Диам. фрезы	Число зубьев (эффективных)										
32	6; 8	3; 5	5	3; 5							
40	8; 10	4; 6	6	5; 6	4	4; 5	3; 4	4	3	3	
50	9; 12	5; 7	7	6; 7	3; 5	5; 6	3; 5	5	3; 4	3; 4	3; 4
63	12; 16	6; 9	9	7; 9	4; 6	6; 8	4; 6	6	4; 6	4; 6	4; 5
80				8; 11	5; 7	7; 10	5; 7	7	5; 7	5; 7	4; 6
100				9; 13	6; 9	8; 13	6; 8		5; 8	5; 8	5; 7
125				10; 16		9; 17	7; 9		7; 10	7; 10	
160							8; 10			8; 12	
200							9; 12			10	
250							10			12	
315							12				
Пластины	HP ANKT 07	T490 LN..T 08	H490 ANKX 09	HM90 AP...10	H490 AN..X 12	T490 LN..T 13	HM90 AD..15	T290 LN..T 15	T490 LN..T 16	H490 AN..X 17	HP90 AD.. 1906

Зачистная пластина

Вспомогательная зачистная кромка в пластинах для торцевых фрез для обеспечения требуемой шероховатости поверхности обработки сегодня считается общепринятым элементом конструкции. Этот небольшой участок режущей кромки иногда имеет достаточно сложную геометрию, но при определённом допущении может считаться параллельным фрезеруемой поверхности (когда пластина установлена в гнезде инструмента). Вместе с тем, несмотря на значительное улучшение показателей шероховатости, наличие зачистной кромки в СМП не всегда достаточно для получения необходимого качества поверхности, особенно при работе фрезой большого диаметра. Можно существенно изменить положение путём закрепления во фрезе одной особой зачистной пластины, у которой собственно зачистная кромка намного больше по сравнению с обычной СМП. В более редких случаях, если диаметр фрезы очень велик, приходится устанавливать даже две таких пластины. Зачистная пластина закрепляется в гнезде фрезы так же, как и обычная, но по сравнению с последней выступает на 0.05...0.07 мм по направлению к поверхности обработки. Широкая кромка зачистной пластины приводит к дополнительному усилию на заготовку, что следует учесть при фрезеровании хрупких материалов.

Таблица 28. Указатель выбора торцевых фрез с углом в плане 45°

	SOF45 8/16	SOF45 8/16	S845 F45SX
ар	3.5	6	7.1
Диам. фрезы	Число зубьев (эффективных)		
40	4	4	4
50	4; 6	4; 6	4; 5
63	6; 8	6; 8	5; 7
80	7; 10	7; 10	6; 9
100	8; 12	8; 12	7; 11
125	10; 16	10; 16	8; 14
160			10; 18
200			12
250			15
315			19
Пластины	ON...U 0505	S845 SN...U 1305	S845 SXMU

Шаг зубьев фрезы

Окружной шаг представляет собой расстояние между двумя соответствующими точками режущих кромок двух ближайших соседних зубьев фрезы, которое измеряется по окружности с центром на оси фрезы в плоскости, перпендикулярной оси. Шаг служит важной характеристикой фрезы и отражает плотность зубьев инструмента. Различают фрезы с большим или крупным шагом (крупнозубые) и малым или мелким шагом (мелкозубые). Можно встретить и такие определения, как “сверхмалый” (“особо малый”) или “сверхмелкий” (“особо мелкий”) шаг и пр. В монолитных фрезах шаг напрямую связан с высотой и толщиной зуба: зуб “крупнее” при большом шаге и “мельче” при малом. Для фрез с СМП увеличение шага не всегда “укрупняет” зуб, а может изменять лишь стружечный карман.

Подбор фрезы по шагу зависит от двух главных условий. С одной стороны, по крайней мере один зуб фрезы обязан всегда резать материал. С другой же стороны, объём стружечного кармана, впадины между соседними зубьями, должен быть достаточным для отвода стружки. Следовательно, обрабатываемый материал и выполняемая фрезой операция, и являют собой ключевые факторы выбора. У фрез широкого применения с крупным шагом число зубьев невелико, а объём стружечного кармана максимален, что определяет их в качестве предпочтительного инструмента для стальных заготовок. Кстати, во многих случаях переход на фрезы с крупным шагом позволяет снизить уровень вибраций при резании. Малый шаг, уменьшающий стружечный карман, но увеличивающий число зубьев, позволяет повысить скорость подачи. Фрезы с мелким шагом рекомендуются для обработки хрупких материалов (чугуна, например), резания с небольшими припусками, а также для случаев, требующих ограниченной подачи на зуб. Фрезы с особо мелким шагом применяются при обработке стальных заготовок с малой глубиной резания, полустоговым и чистовым фрезеровании чугуна и высокопроизводительном фрезеровании с большой скоростью подачи.

Иногда в качестве метода борьбы с вибрациями при резании используют фрезы, в которых зубья размещены неравномерно. Соответственно, окружной шаг таких фрез называется неравномерным или дифференциальным.

В технической литературе наряду с классификацией по шагу: “крупный (большой)-мелкий (малый)-особо мелкий (особо малый)” встречаются и такие градации, как “крупный-средний (обычный)-мелкий”, “нормальный-плотный-сверхплотный” и др. А фрезы с особо мелким шагом именуют ещё и “фрезами большой плотности (плотности зубьев)”.

Диаметр режущей части фрезы и ширина резания при торцевом фрезеровании

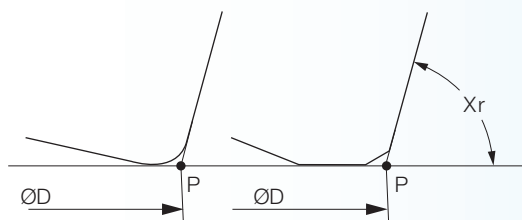
В торцевом фрезеровании наибольшая эффективность обычно достигается при ширине резания, составляющей 60-70% диаметра режущей части фрезы. Конечно, реалии производства часто диктуют иные пропорции, а кроме того, приходится фрезеровать и пазы в сплошном материале, но следование указанному соотношению всегда предпочтительно.

Определение диаметра режущей части торцевой фрезы с СМП требует пояснения. В соответствии со стандартом ISO 6462 режущий диаметр D определяется теоретической точкой P (рис. 2), лежащей на пересечении главной режущей кромки или её продолжения с поверхностью обработки. Диаметр режущей части фрезы, один из её главных геометрических размеров, часто называют номинальным диаметром.

У фрез с углом в плане 90° диаметр режущей части постоянный по длине главной режущей кромки и не меняется с увеличением глубины резания (a_p).

Наряду с этим, если угол в плане (χ_r) отличается от 90° , то реальный диаметр режущей части становится переменным по глубине резания и определяется выражением $D + 2a_p \tan \chi_r$. Казалось бы, правильный расчёт требует принять данное обстоятельство во внимание. Но так как у торцевой фрезы максимально допустимая глубина резания гораздо меньше номинального диаметра, можно пренебречь указанной поправкой. Поэтому скорость резания, частота вращения шпинделя и др. параметры режима резания обычно вычисляются по отношению к номинальному диаметру D по стандарту ISO 6462*.

Рис. 2. Номинальный диаметр фрезы D и угол фрезы в плане
(в соответствии со стандартом ISO 6462)



* The guide also uses this specification.

Начальные параметры режима резания

В основе определения начальных параметров режима резания для торцевых фрез лежит тот же метод, что и для концевых фрез, который уже рассматривался ранее.

а) Начальная подача на зуб fz

$$fz = fz_0 \times k_\chi \quad (3)$$

Где: fz_0 – базовая начальная подача,
 k_χ – коэффициент влияния угла фрезы в плане.

Базовую начальную подачу можно назначить по таблице 5, устанавливающей область значений подачи на зуб для наиболее распространённых марок твёрдого сплава компании ИСКАР. Существует и другой путь: воспользоваться данными таблицы 29. В таблице собраны усреднённые значения, позволяющие получить вполне приемлемую оценку.

Таблица 29. Базовая начальная подача fz_0 для торцевых фрез

Группа по ISO-DIN/ISO 513	Материал заготовки		Базовая начальная подача, fz_0 , мм/зуб, для марок тв. сплава					
	Тип	Группа	IC808	IC5100	IC810	DT7150	IC830	IC330
P	Углеродистая сталь	1-4	0.2	0.2	0.2		0.22	0.25
		5	0.18	0.18	0.18		0.2	0.22
	Легированная и инструментальная сталь	6, 7	0.15	0.15	0.18		0.2	0.22
		8, 9	0.12	0.12	0.15		0.18	0.2
		10	0.12	0.12	0.12		0.15	0.15
		11	0.1	0.1	0.12		0.12	0.15
M	Мартенситная нерж. сталь	12, 13	0.1				0.12	0.15
K	Серый чугун	15-16		0.22	0.25	0.25	0.22	
	Высокопрочный чугун	17-18		0.2	0.22	0.22	0.2	
H	Высокоотвёрдые сталь и чугун	38.1	0.08				0.08	
		38.2	0.07					
		39	0.05					

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

□ – Предпочтительный выбор сплава.

Для торцевых фрез семейства T290 табличные значения необходимо уменьшить на 30%.

Для торцевых фрез с пластинами HP ANKX...07 и T490 LN...T...08 табличные значения снижаются 30%.

В последующих главах приведены дополнительные данные по фрезерованию сталей и чугунов высокой твёрдости.

Коэффициент влияния угла фрезы в плане k_χ (таблица 30) отражает возможное увеличение подачи на зуб для обеспечения установленной толщины стружки из-за положения главной режущей кромки зуба по отношению к обрабатываемой плоской поверхности (см. также таблицу 26).

Таблица 30. Коэффициент влияния угла фрезы в плане k_χ

Угол фрезы в плане	90°	75°	60°	45°
k_χ	1	1	1.1	1.4

б) Начальная скорость резания V_c

Точно так же, как и для концевых фрез, скорость резания применительно к торцевым фрезам находится по формуле (1):

$$V_c = V_o \times K_s \times K_t$$

Где: V_c – начальная скорость резания,
 V_o – базовая скорость резания,
 K_s – коэффициент устойчивости (принимается равным 1 для нормальных условий резания и 0.7 при недостаточной жёсткости системы СПИД),
 K_t – коэффициент стойкости (см. таблицу 8).

Значения базовой скорости резания V_o в зависимости от материала заготовки, марки твёрдого сплава и типа обработки приводятся в таблице 9. Для определения типа обработки служат таблицы 6 и 7. При желании, если начальная подача найдена по формуле (3) и таблице 29, тип обработки для торцевого фрезерования можно установить и иначе, воспользовавшись таблицей 31. В ней представлены наиболее распространённые случаи, когда ширина фрезерования составляет 60-80% величины номинального диаметра, а также фрезерование паза в сплошной заготовке (полный контакт по диаметру). Во многих случаях альтернативный метод оказывается более подходящим и удобным.

Таблица 31. Тип обработки при торцевом фрезеровании*

h/ap	b/D			
	60%	70%	80%	100%**
1/8	Лёгкий (Л)	Лёгкий (Л)	Лёгкий (Л)	Средний (С)
1/4	Лёгкий (Л)	Средний (С)	Средний (С)	Средний (С)
1/2	Средний (С)	Средний (С)	Тяжёлый (Т)	Тяжёлый (Т)
3/4	Тяжёлый (Т)	Тяжёлый (Т)	Тяжёлый (Т)	Тяжёлый (Т)

* Для начальной подачи, определённой по формуле (3)

** Фрезерование паза в сплошном материале

Важное замечание: резание с шириной 60-80% номинального диаметра фрезы наиболее эффективно при торцевом фрезеровании!

Профессиональный жаргон: торцевание

В профессиональной среде иногда встречается термин "торцевание", который, если речь идёт о фрезерной операции, означает не что иное, как торцевое фрезерование.

Пример

Согласно технологическому процессу изготовления детали первой операцией механической обработки определено фрезерование заготовки торцевой фрезой SOF 8/16-D125-16-40R с пластинами ONMU 050505-TN IC810. Заготовка представляет собой чугунную плиту размером 90 мм×406 мм, её материал - высокопрочный чугун с шаровидным графитом ВЧ 50-2 твёрдостью HB 180. Планируется вести фрезерование с глубиной резания 3 мм и обработать плиту за один проход. Жёсткость системы СПИД оценивается как высокая, а фрезерный станок, предназначенный для операции, обладает достаточной мощностью главного привода. Требуется назначить подачу и скорость резания.

Чугун указанной марки является представителем семнадцатой группой материалов (No. 17) по стандарту VDI 3323, принятого компанией ИСКАР для классификации групп обрабатываемых материалов. По каталогу основной продукции ИСКАР находим, что номинальный диаметр выбранной фрезы составляет 125 мм (D), максимально допустимая глубина резания - 3.5 мм (ар) и угол фрезы в плане 44° (принимая его равным 45° - такое округление не скажется на результате).

$h/ap=3/3.5=0.86$; $b/D=90/125=0.72$.

Как следствие, базовая начальная подача $fzo=0.22$ мм/зуб (таблица 29), коэффициент влияния угла фрезы в плане $kx=1.4$ (таблица 30) и начальная подача $fz=0.22 \times 1.4 \approx 0.3$ мм/зуб.

По таблице 31 определяем тип обработки как тяжёлый. Значит, начальная скорость резания $Vc=200$ м/мин (таблица 9).

Пример

Предприятие приобрело торцевую фрезу H490 F90AX D063-6-27-17 и пластины H490 ANKX 170608PNTR IC330 к ней для фрезерования заготовки крупногабаритной детали. Припуск будет удаляться за несколько проходов с глубиной резания 6 мм и шириной резания 50 мм каждый. Материал заготовки - углеродистая конструкционная сталь 30 твёрдостью HB 200...220. Жёсткость системы СПИД считается достаточной. Необходимо определить стартовый режим резания.

Сталь 30 относится к материалам второй группы (No. 2) обрабатываемых материалов по стандарту VDI 3323. Основные данные по фрезе из каталога: угол в плане 90° , номинальный диаметр (D) 63 мм, длина режущей кромки (ap) 16 мм. Марка твёрдого сплава пластин - IC330.

$h/ap=6/16=0.38$, $b/D=50/63=0.8$.

Базовая начальная подача $fzo=0.2$ мм/зуб (таблица 29), коэффициент влияния угла фрезы в плане $kx=1$ (таблица 30). Таким образом, начальная подача $fz=0.2$ мм/зуб.

По таблице 31 можно заключить, что тип обработки - от среднего к тяжёлому (таблица содержит дискретные данные, и по полученным соотношениям в рассматриваемом случае тип обработки занимает промежуточное положение между средним и тяжёлым). Возможны следующие варианты решения: первый - отнестись к типу обработки как тяжёлому и в выборе скорости руководствоваться этим определением, второй - назначить скорость через более менее среднюю величину или воспользоваться методом интерполяции. Рассмотрим второй вариант. Таблица 9 рекомендует начальную скорость 125 м/мин для тяжёлого режима обработки и 140 м/мин для среднего. Принимаем стартовую скорость $Vc=130$ м/мин. Понятно, что первый вариант дал бы $Vc=125$ м/мин.

Крепёжные винты с регулируемым распределителем подачи СОЖ для насадных фрез

В большинстве современных конструкций насадных фрез имеются каналы для подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) непосредственно через корпус инструмента. Каждый из каналов обычно открывается одним своим концом в стружечном кармане, другим - в центральном отверстии корпуса. Стараются разместить канал так, чтобы направить СОЖ прямо на режущую кромку. Данное решение позволяет организовать подвод СОЖ в зону резания, но во многих случаях ухудшает удаление стружки, потому что струя жидкости стремится прижать стружку к пластине. Некоторые компании производят особые крепёжные винты к оправкам для насадных фрез. Такие винты отличаются наличием отверстий для СОЖ и совмещают выполнение сразу двух задач: собственно крепление инструмента и подачу СОЖ по направлению от оси вращения фрезы к её периферии в районе рабочего торца фрезы. Однако, глубина выточек и ступеней центрального отверстия в корпусе может сильно отличаться для разных насадных фрез, что заметно ограничивает применение винтов.

Крепёжный винт с регулируемым распределителем СОЖ устраняет отмеченный недостаток. Подвижный распределитель легко настраивается в соответствии с размерами торцевых углублений корпуса и затем фиксируется контргайкой. Применение крепёжного винта с регулируемым распределителем служит эффективным средством и для подвода СОЖ в зону резания, и для заметного улучшения стружкоудаления.

Фрезерование фасонных поверхностей (профильное фрезерование)

Для прессоштампового производства характерна значительная доля фасонной обработки, особенно при изготовлении литевых и пресс-форм. В связи с этим, говоря о режущем инструменте, характеризующем эту отрасль, часто подразумевают как раз инструмент для получения поверхностей сложного пространственного профиля и прежде всего, фрезы. Именно такой инструмент наиболее востребован предприятиями, цехами и участками, выпускающими штампы и формы.

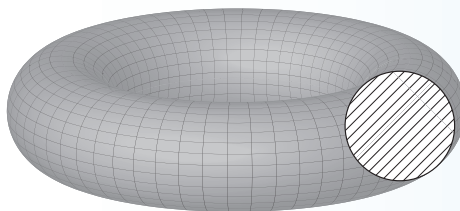
Фасонные поверхности

В технической литературе фасонные поверхности называются также криволинейными, профильными, трёхмерными, контурными, неплоскими и т.п.

3.1. Тороидальные фрезы

Режущая кромка зуба тороидальной фрезы лежит на поверхности тора - геометрической фигуры, которая образуется вращением окружности вокруг оси, принадлежащей плоскости окружности, когда ось лежит за пределами окружности или касается её. В случае тороидальной фрезы названной осью является ось вращения инструмента. Очень наглядно тор (рис. 3) представлен многочисленными всем любимыми кольцеобразными изделиями из теста: бубликами, баранками, сушками и бейглами.

Рис. 3.

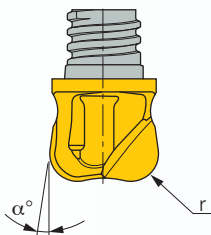


Что же касается “режущих бубликов” фрезерной линии, то они имеют ряд конструктивных исполнений:

- Фрезы со сменными круглыми пластинами.
- Цельные твёрдосплавные (монокристаллические) тороидальные фрезы.
- Сменные монокристаллические тороидальные фрезерные головки.

Монокристаллические фрезы и головки имеют относительно небольшой номинальный диаметр. Вследствие технологических ограничений они часто выпускаются с боковым поднутрением (рис. 4), называемое также обратной конусностью. Угол поднутрения α обычно составляет 5-7°.

Рис. 4.



3.1.1. Фрезы со сменными круглыми пластинами

Большинство специалистов инструментально-прессового производства сходятся во мнении, что фрезы с круглыми пластинами являются самым распространённым режущим инструментом в отрасли, особенно при черновой и получистовой обработке внешних и внутренних фасонных поверхностей штампов и форм. В черновых операциях, где чрезвычайно важно добиться наибольшей скорости снятия материала, в полной мере проявились два исключительных преимущества этих фрез, решившие их популярность, причём как раз круглая форма пластин и определяет данные преимущества.

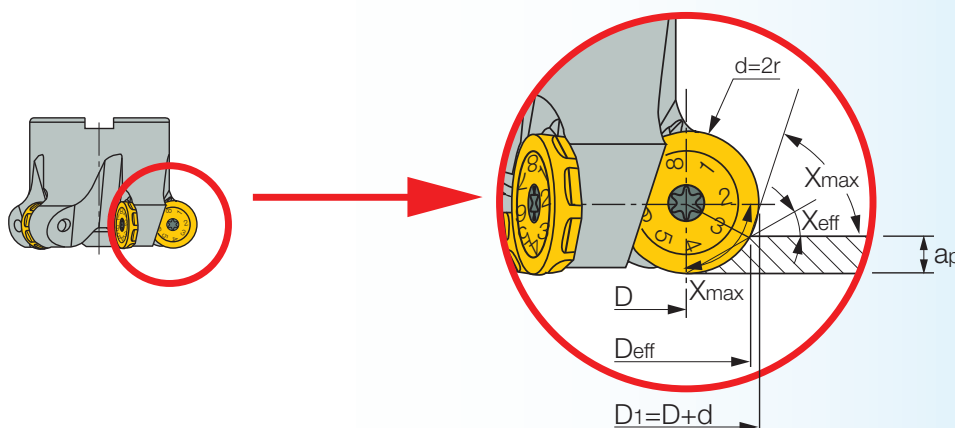
Первое из них - прочность режущей кромки. Если вершина режущей кромки представляет собой ахиллесову пяту пластин многоугольного контура, то у круглой пластины вершины нет вообще, что делает её намного прочнее. В результате пластина способна воспринимать бóльшую нагрузку, позволяет ужесточить режим резания, обеспечивая тем самым повышение скорости снятия материала.

А вокруг ... всё круглое!

Инструмент для фасонного фрезерования должен иметь такую геометрию, которая в процессе резания не только будет находиться в постоянном контакте с поверхностью обработки, но и не приведёт к недопустимому искажению формы поверхности. В самом общем случае для черновых, предварительных операций подходит фреза любой геометрии. Говоря же о чистовой обработке, окончательно формирующей трёхмерную поверхность, лишь режущая кромка, представляющая собой участок сферы, соответствует отмеченным требованиям. Вот почему фрезы сложного режущего профиля: тороидального и сферического, так распространены в производстве штампов и форм!

Второе преимущество - переменный угол в плане. Во фрезе с пластинами многоугольного контура он постоянный, в случае круглых пластин угол в плане меняется от нуля до некоторой величины, измеряемой в верхней точки участка режущей кромки, который находится в контакте с материалом обработки. Данная величина определяет максимальные значения угла в плане ($\chi_{\max}$, рис. 5). В случае резания с наибольшей допустимой глубиной, равной радиусу круглой пластины, максимальный угол в плане равен 90° .

Рис. 5.



Максимальный угол в плане определяется по следующей формуле:

$$\cos \chi_{max} = 1 - ap/r \quad (4)$$

Здесь **ap** - глубина резания,
r - радиус круглой пластины.

Как уже отмечалось, у фрез с круглыми пластинами угол в плане изменяется вдоль режущей кромки.

Поэтому в качестве некоторой усреднённой характеристики используется эффективный угол в плане χ_{eff} , который иногда встречается и в вычислениях.

$$\chi_{eff} = \chi_{max}/2 \quad (5)$$

Если же фрезерование осуществляется периферией фрезы с круглыми пластинами, а не её торцом, то эффективный угол в плане (рис. 6) можно найти следующим образом:

$$\chi_{eff} = [\arccos(1 - ap_2/r) + \arccos(1 - ap_1/r)]/2 \quad (5a)$$

Эффективный угол в плане служит важным показателем режущей геометрии фрезы с круглыми пластинами при выполнении конкретной операции. Как и в случае пластин многоугольного контура, он отражает соотношение между радиальной и осевой составляющими силы резания. В зависимости от глубины резания эффективный угол фрезы в плане близок к нулю при малых глубинах и равен 45° для глубины, равной радиусу круглой пластины. Изменение глубины (и соответственно, эффективного угла в плане) сказывается на отношении составляющих, представляя тем самым действенный метод силового мониторинга. Рост глубины увеличивает радиальный компонент силы резания, уменьшая осевой, и наоборот. Ясно, что при фрезеровании на малых глубинах, когда радиальная составляющая становится незначительной, можно считать, что основное усилие, действующее в плоскости резания, направлено вдоль оси фрезы.

3P(2): Patent-Protected Products - Предмет Патентного Права

Конструктивные решения, положенные в основу абсолютного большинства изделий с символом 3P, отражают передовые достижения современного инструментального производства, а сами изделия производятся по новейшим технологиям. Поэтому понятно желание создателей таких изделий защитить прогрессивные разработки от копирования и неразрешённого использования. Преобладающая часть 3P-продукции, будь то инструменты, сменные пластины к ним, инструментальная оснастка, либо защищена соответствующими патентами, либо заявка на получение патента находится на рассмотрении.

Большая радиальная составляющая силы резания таит в себе источник изгиба инструмента и вибраций. В то же время рост осевой составляющей неблагоприятно сказывается на точности фрезерования и требует особого внимания к закреплению заготовки. Правильное назначение глубины резания позволяет оптимально нагрузить инструмент в конкретной ситуации, руководствуясь видом обрабатываемой детали, состоянием станка, зажимного приспособления и т.д.

Таблица 32. Угол фрезы в плане как функция отношения ap/r *

ap/r	1/16	1/8	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
χ_{max}	20°	29°	52°	60°	68°	76°	83°	90°
χ_{eff}	10°	14.5°	26°	30°	34°	38°	41.5°	45°

* ap - глубина резания в осевом направлении, r - радиус круглой пластины.

Уменьшение угла в плане приводит к образованию более тонкой стружки, открывая тем самым, как ни парадоксально, дорогу к повышению производительности. Действительно, при составлении управляющей программы подача на зуб относится к максимальной глубине резания, равной радиусу круглой пластины. В данном случае фреза с круглыми СМП более похожа на фрезу с углом в плане 45° . Но если глубина меньше максимальной, стружка становится тоньше (рис. 7), и необходимо соответственно увеличивать программируемую подачу на зуб для получения стружки требуемой толщины. Вот почему уменьшение глубины резания и делает возможным поднять производительность.

Рис. 6.

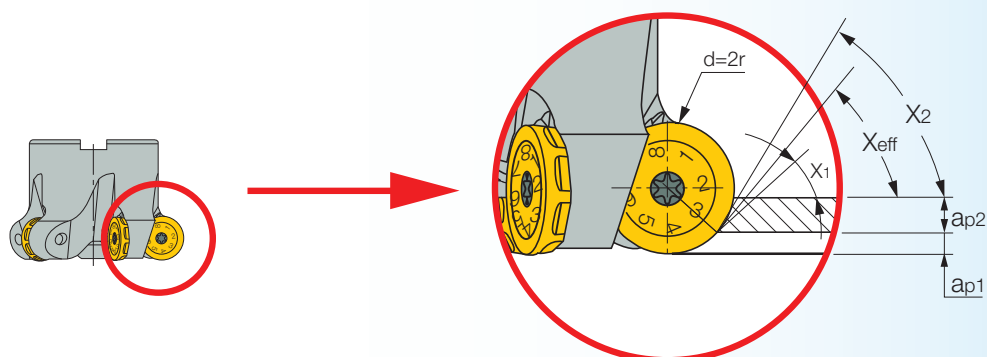
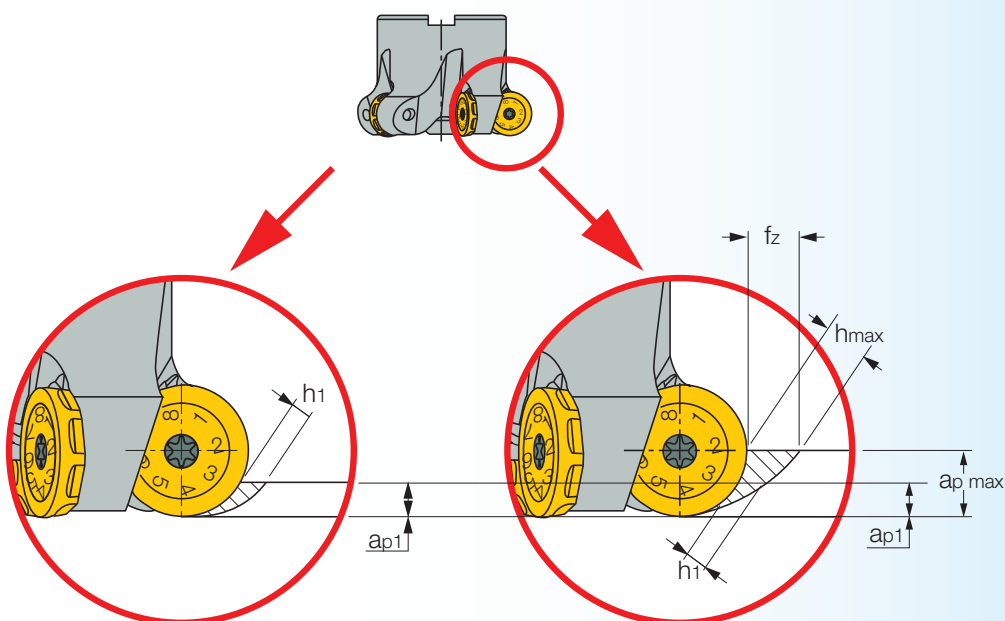


Рис. 7.



Размер пластины

Размер круглой пластины обычно равен её наружному диаметру. Например, говоря о круглой пластине “12-го размера”, подразумевают пластину диаметром 12 мм.

Хотя фрезерование с максимальной глубиной резания (радиус круглой пластины) и обеспечивает наибольший участок контакта режущей кромки круглой пластины с обрабатываемым материалом, оно ведёт к значительному росту радиальной составляющей силы резания, побочным вибрациям и в результате - к интенсивному износу кромки. Тем не менее, условия операции и геометрия заготовки иногда делают такое положение неизбежным, и глубина резания достигает максимального значения. В то же время пик эффективности наблюдается при угле в плане $25^\circ \dots 45^\circ$, что соответствует глубине резания $0.1 \dots 0.3$ радиуса пластины (то есть $0.05 \dots 0.15$ её диаметра). Вследствие сказанного круглые пластины производства ИСКАР стандартной линии как правило рассчитаны на 8 рабочих позиций, допуская пошаговую индексацию в гнезде фрезы как на 45° , так и на 90° . Для удобства оператора-станочника на передней поверхности многих видов круглых пластины нанесены номера позиций: 1, 2, 3 и т. д. Специально сформированные грани на боковой поверхности или выступе нижнего основания пластин препятствуют самопроизвольному перемещению пластины в гнезде, сохраняя её в установленном рабочем положении.

При работе с большим вылетом виброустойчивость инструмента резко снижается, и фрезы с круглыми пластинами не являются каким-либо исключением. Обычно уже при вылете, равном двум диаметрам фрезы, приходится уменьшать параметры режима для обеспечения стабильного резания. Подобное положение складывается в случае тонкостенных заготовок, проблемного закрепления и т. д. - то есть тогда, когда жёсткость системы СПИД недостаточная. Для решения возникшей проблемы предназначено семейство **MILLSHRED**, которое к тому же, предоставляет потребителю дополнительные эксплуатационные преимущества, прежде всего, эффективное фрезерование с максимальной глубиной резания, равной радиусу пластины.

Конструктивный принцип **MILLSHRED** - наделять круглый режущий профиль эффектом стружкоразделения, что достигается зубчатой кромкой пластины. Пластина предполагает 4 рабочие позиции с 90° -й индексацией, а гнезда фрезы расположены таким образом, чтобы обеспечить полное взаимное перекрытие вершин и впадин зубчиков кромок пластин во вращении. Фрезы **MILLSHRED** предполагают возможность закрепления в них круглых пластин и с зубчатой кромкой (RCMT...), и обычных с гладкой (RCC... MO).

Круг с зазубринами

Зубчатая форма режущей кромки, разделяющая стружку на мелкие сегменты, заметно расширяет эксплуатационные возможности круглой пластины. Во-первых, уменьшение силы резания (прежде всего, её радиальной составляющей) вследствие ращепления стружки улучшает динамические свойства фрезы и снижает её изгиб, что приводит к устойчивому резанию даже на больших вылетах. Тем самым область допустимых вылетов становится шире. В большинстве случаев её верхняя граница приближается к 10 диаметрам фрезы! Часто переход на инструменты с зубчатыми круглыми пластинами сразу обеспечивает весьма ощутимую экономию, делая ненужными применение дорогостоящей оснастки с элементами виброгашения. Немаловажным обстоятельством является также и то, что круглая пластина с зазубринами - действенное средство при фрезеровании с глубиной, равной радиусу пластины. Кроме того, уменьшается потребляемая мощность резания. Во-вторых, небольшую стружку намного легче удалить, в особенности, при фрезеровании глубоких полостей штампов и пресс-форм. Во время обработки полостей штампов и пресс-форм происходит вторичное резание стружки, скопившейся на дне полости. Разделение стружки на более мелкую уменьшает вредное влияние вторичного резания, что в-третьих, повышает стойкость пластины.

Общие указания по применению фрез MILLSHRED с рекомендациями по выбору круглых пластин наиболее подходящей геометрии представлены в таблицах 33 и 34.

Таблица 33. Указания по выбору круглых пластин к фрезам MILLSHRED

Данные обработки	Пластина	
	RCC...MO с гладкой реж. кромкой	RCMT... с зубчатой реж. кромкой
Глубина резания до $0.15 \times d^*$		
Глубина резания свыше $0.15 \times d$		
Вылет фрезы до $2.5 \times D^{**}$		
Вылет фрезы более $2.5 \times D$		
Фрезерование у тонких стен		
Проблемное закрепление заготовки		

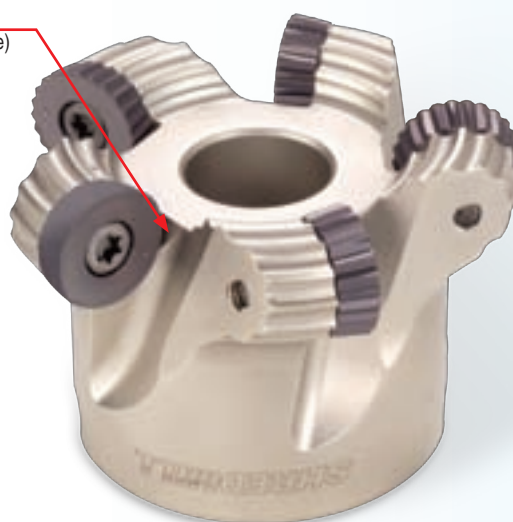
□ - рекомендуемое применение

* d - номинальный диаметр пластины

** D - номинальный диаметр фрезы

Рис. 8. Круглая пластина с гладкой режущей кромкой, установленная для улучшения параметров шероховатости поверхности обработки

Отметка
(точечное углубление)



Круглая пластина в роли зачистной: улучшение параметров шероховатости поверхности

Во фрезе MILLSHRED устанавливаются пластины как с гладкой режущей кромкой, так и с зубчатой. Казалось бы, появляется хорошая возможность комбинирования обоих видов пластин в одной фрезе. Однако, столь многообещающее сочетание чередующихся зубьев фрезы (известное по конструкции фрез FINISHRED) во фрезе с круглыми пластинами редко приводит к заметным преимуществам. А вот если во фрезе с зубчатыми СМП заменить одну из пластин на гладкую, удаётся улучшить состояние обрабатываемой поверхности по параметрам шероховатости. В таком случае обычная пластина с гладкой кромкой выполняет роль зачистной. И хотя фрезы MILLSHRED предназначены в основном для черновых и получистовых операций, отмеченный простой приём может привести к хорошим результатам. Следует помнить, что гладкую пластину необходимо установить в гнезде, помеченным небольшим точечным углублением, так называемом “водяным знаком” (рис. 8).

Таблица 34. Выбор круглых пластин для фрез MILLSHRED при обработке материалов штампов и пресс-форм

Вид фрезерования			Черновое			Черновое и получистовое		
Пластина			RCMT...FW	RCMT...FW-T20	RCMT...FW-F20	RCCT...MO	RCCW..MO	
								
Группа материала	Рез. геометрия		Положит. передний угол 	Положит. передний угол и отриц. защитн. фаска 	Положит. передний угол и острая кромка 	Положит. передний угол и острая кромка 	Плоская верхн. поверхность и отриц. защитн. фаска 	
	Тип материала							
1-5	P	Углеродистая сталь	✓✓✓	✓	✓	✓✓✓	✓✓	
6-9		Низколегир. сталь	✓✓✓	✓	✓	✓	✓✓✓	
10-11		Высоколегир. и инструм. сталь	✓✓✓	✓	✓	✓	✓✓✓	
12-14	M	Нерж. сталь		✓✓✓ (1)	✓✓✓ (2)	✓✓✓		
15-20	K	Чугун	✓✓				✓✓✓	
38.1	H	Закалённая сталь (HRC 45 max)	✓				✓	
Выполняемые операции								
			Винтовая интерполяция	Фрез.-е уступа	Контурное фрез.-е	Фрез.-е под углом/с подъёмом	Осевое врезание	Фасонное фрез.-е

⁽¹⁾ Рекомендуется для ферритной и мартенситной нерж. стали

⁽²⁾ Рекомендуется для аустенитной нерж. стали

✓ Наименее рекомендуемое применение

✓✓ Возможное применение

✓✓✓ Рекомендуемое применение

Для изготовления круглых пластин семейства **MILLSHRED** используется преимущественно твёрдый сплав IC908, уже рассмотренный в предыдущих разделах, а также IC928, имеющий прочную основу и покрытие PVD TiAlN. Последний особенно рекомендуется для тяжело нагруженного фрезерования. Дополнительно, пластины для резания чугунных заготовок выпускаются из сплава IC910 (с покрытием PVD AlTiN).

Начальные значения параметров режима резания

а) Начальная подача на зуб fz

i. Пластины MILLSHRED с гладкой режущей кромкой

Начальная подача на зуб, которую используют в управляющей программе ЧПУ, определяется следующим уравнением:

$$fz = fz0 \times KTH \times Ks \quad (6)$$

Здесь: **fz0** – базовая начальная подача,
KTH – коэффициент уменьшения толщины стружки,
Ks – коэффициент устойчивости.

Базовая начальная подача показывает рекомендуемую стартовую подачу при фрезеровании с глубиной резания, равной радиусу круглой пластины, и ей соответствует максимальная толщина стружки, которую планируется удалять резанием.

Таблица 35. Пластины MILLSHRED с гладкой режущей кромкой. Базовая начальная подача на зуб f_{z0} , мм/зуб

Группа по ISO(DIN/ISO 513)	Группа материала*	Базовая начальная подача f_{z0} , мм/зуб, для пластин					
		RC..W...MO			RC..T...MO		
		Ø12	Ø16	Ø20	Ø12	Ø16	Ø20
Р	1-4	0.21	0.28	0.34	0.14	0.19	0.23
	5-9	0.21	0.28	0.34	0.14	0.19	0.23
	10-11	0.15	0.2	0.24	0.1	0.13	0.16
М	12,13	0.18	0.24	0.29	0.12	0.16	0.2
К	15-16	0.21	0.28	0.34			
	17-18	0.18	0.24	0.29			
Н	38.1	0.12	0.15	0.19			

□ - рекомендуемый выбор.

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

Коэффициент уменьшения толщины стружки, являясь функцией глубины резания в осевом направлении и следовательно, угла фрезы в плане, отражает то увеличение подачи на зуб, которое необходимо учесть при программировании ЧПУ для образования стружки с толщиной, близкой к максимальной, при фрезеровании с глубиной меньше радиуса пластины.

$$KTH = 1/\sin (0.75 \times \chi_{max}) \quad (7)$$

или

$$KTH = 1/\sin (1.5 \times \chi_{eff}) \quad (7a)$$

Коэффициент устойчивости принимает во внимание состояние системы СПИД и назначается равным 1 для нормальных условий и 0.7, если система маложёсткая (работа вблизи тонких стен, большой вылет, нежёсткое закрепление заготовки или фрезы и т.д.).

Пример

С целью повышения производительности операции фрезерования поверхности плиты решено применить насадную торцевую фрезу FRW D068A080-07-27-12 с пластинами RCCW 1206MO IC908. Материал плиты - инструментальная штамповая сталь 4X5МФ1С твёрдостью на момент операции HB 170...190. Глубина резания составляет 1.5 мм. Станок находится в хорошем состоянии, заготовка жёстко закреплена на столе станка, вылет фрезы небольшой. Какова величина подачи на зуб, которую следует ввести в управляющую программу оператору?

По таблице 35 находится базовая начальная подача. Для материала 10-й группы (No. 10), к которой принадлежит указанная сталь, она составляет 0.15 мм/зуб. По формуле (4) $\chi_{max}=41^\circ$, а по формуле (7) $KTH=1.95$.

Следовательно, $f_z = 0.15 \times 1.95 \times 1 = 0.29$ (мм/зуб), и стартовая подача фрезы для программирования операции будет 0.29 мм/зуб.

В качестве альтернативы начальную подачу можно назначать по таблицам 36 и 37.

В таблицах представлены значения подачи в зависимости от диаметра пластины и глубины резания. Данные величины относятся к определённой группе материалов, принятой в качестве основной, а для получения соответствующих подач для материалов других групп табличные значения умножаются на приведенные коэффициенты.

Таблица 36, например, в качестве основы руководствуется обработкой фрезами с пластинами RC..W...MO материалов следующих групп материалов: 5-9 (низколегированные стали и углеродистые стали твёрдостью до HB 350), а также 15-16 (серый чугун). Для заготовок из

высоколегированных и инструментальных сталей (группы 10-11), высокопрочного чугуна (группы 17-18) и закалённой стали твёрдостью HRC 45 max имеющиеся в таблице величины следует умножить соответственно на 0.7, 0.85 и 0.55.

Подачи в таблице 37 установлены для фрез с пластинами RC...T...MO при резании углеродистых и низколегированных сталей (группы 1-9). Для материалов 10-11 групп табличные данные необходимо умножить на 0.7, а для 12-13 групп (ферритные и мартенситные нержавеющие стали) - на 0.85.

Если система СПИД не обладает достаточной жёсткостью, следует снизить начальную подачу на 30%.

Рассматривая предыдущий пример, назначение подачи по таблице 36 приводит к следующему результату: 0.4 (табличное значение) × 0.7 (поправочный коэффициент для группы No. 10) × 1 (коэффициент устойчивости) = 0.28 (мм/зуб).

Пример

Технолог инструментально-штампового участка завода разрабатывает технологический процесс изготовления литейной формы. Для полуставового фрезерования достаточно глубокой полости формы предполагается применение концевой фрезы ERW D028A040-A-4-C32-12 с круглыми пластинами RCCW 1206MO IC908. Фреза закрепляется в цанговом патроне с вылетом 150 мм. Материал заготовки формы - инструментальная сталь 95X5ГМ с невысокой твёрдостью на момент операции (до HB 200). Требуется определить программируемую подачу фрезы при условии, что обработка полости будет производиться с глубиной резания 0.6 мм на проход.

Обрабатываемый материал является представителем группы материалов No. 10 по VDI 3323. Диаметр пластины $d=12$ мм, отношение глубины резания к радиусу пластины $ap/r=2 \times ap/d=0.1$. Из таблицы 36 $fzo=0.54$ мм/зуб (для групп 5-9).

С учётом поправочного коэффициента для обрабатываемого материала (0.7) и коэффициента устойчивости (0.7) программируемая подача на зуб составит $0.54 \times 0.7 \times 0.7 = 0.26$ (мм/зуб).

Таблица 36. Пластины MILLSHRED с гладкой режущей кромкой RC...W...MO. Базовая начальная подача на зуб fzo , мм/зуб

ap/r	Базовая начальная подача fzo , мм/зуб, для пластин					
	Ø12		Ø16		Ø20	
	ap	fzo	ap	fzo	ap	fzo
–	0.15	0.8	0.15	1	0.15	1.3
1/16	0.37	0.7	0.5	0.9	0.62	1.2
1/10	0.6	0.54	0.8	0.7	1	0.9
1/8	0.75	0.5	1	0.6	1.25	0.8
1/4	1.5	0.4	2	0.54	2.5	0.67
3/10	1.8	0.36	2.4	0.45	3	0.54
1/2	3	0.27	4	0.36	5	0.45
5/8	3.75	0.21	5	0.28	6.25	0.34
3/4	4.5	0.21	6	0.28	7.5	0.34
7/8	5.25	0.21	7	0.28	8.75	0.34
1	6	0.21	8	0.28	10	0.34

Значения подач в таблице характеризуют фрезерование групп материалов 5-9 (низколегированные стали и углеродистые стали твёрдостью до HB 350), а также 15-16 (серый чугун).

Для групп материалов 10 и 11 (высоколегированные и инструментальные стали) табличные величины следует умножить на 0.7, для групп материалов 17 и 18 (высокопрочный чугун) - на 0.85 и для группы материалов 38.1 (закалённая сталь твёрдостью HRC 45 max) - на 0.55.

□ - Рекомендуемая область глубин резания.

Таблица 37. Пластины MILLSHRED с гладкой режущей кромкой RC...T...MO. Базовая начальная подача на зуб f_{zo} , мм/зуб

ap/r	Базовая начальная подача f_{zo} , мм/зуб, для пластин					
	Ø12		Ø16		Ø20	
	ap	f_{zo}	ap	f_{zo}	ap	f_{zo}
–	0.15	0.56	0.15	0.75	0.15	0.9
1/16	0.37	0.5	0.5	0.68	0.62	0.83
1/10	0.6	0.41	0.8	0.55	1	0.67
1/8	0.75	0.36	1	0.47	1.25	0.57
1/4	1.5	0.26	2	0.34	2.5	0.42
3/10	1.8	0.24	2.4	0.32	3	0.39
1/2	3	0.18	4	0.25	5	0.3
5/8	3.75	0.14	5	0.19	6.25	0.23
3/4	4.5	0.14	6	0.19	7.5	0.23
7/8	5.25	0.14	7	0.19	8.75	0.23
1	6	0.14	8	0.19	10	0.23

Значения подач в таблице характеризуют фрезерование групп материалов 1-9

(углеродистые и низколегированные стали).

Для групп материалов 10 и 11 (высоколегированные и инструментальные стали) табличные величины следует умножить на 0.7, а для групп материалов 12 и 13 (ферритные и мартенситные нержавеющие стали) - на 0.85..

□ - Рекомендуемая область глубин резания.

Вылет фрезы

Вылет фрезы является важным фактором жёсткости инструмента и устойчивости резания. Уменьшение вылета на 5% снижает изгиб фрезы на 15%, а если вылет уменьшается на 10% или на 20%, то изгиб, соответственно, - уже на 27% и даже 50%. Изменение вылета до минимально возможного существенно повышает эффективность фрезерования и производительность, позволяя увеличение параметров режима резания и повышение класса шероховатости поверхности.

Но что поделаешь, для механической обработки реальных деталей часто требуются большие вылеты инструмента. Как правильно учесть влияние вылета на режим резания? И вообще, что считать большим вылетом, для которого различные методики назначения параметров режима рекомендуют разные поправочные коэффициенты?

Вопрос собственно определения вылета не так прост, как может показаться на первый взгляд. Он непосредственно связан с динамическими свойствами инструмента и относится к области серьёзных исследований, требующих отдельного обсуждения. Вместе с тем, не подлежит сомнению, что наш читатель-производственник, руководствуясь собственными знаниями и опытом, практически безошибочно определит, будет ли вылет используемого им инструмента в условиях конкретной операции большим или нет. Для предварительной же оценки полезным может оказаться следующее правило: большим считается вылет, величина которого составляет не менее 4-5 диаметров фрезы. Однако, как, от какой собственно точки измеряется вылет?

Обычно для насадных торцевых фрез, закрепляемых на оправках, правильно определять вылет через расстояние от рабочего торца фрезы до базового сечения конического хвостовика оправки (рис. 9).

В случае же концевых фрез, закрепляемых в зажимных патронах разнообразной конструкции (цанговые, с винтами и др.), вылет следует измерять от торца патрона (рис. 10).

ii. Пластины MILLSHRED с зубчатой режущей кромкой

Как уже отмечалось (таблица 33), круглые пластины с зубчатой режущей кромкой применяются в следующих условиях:

- повышенная глубина резания (свыше 15% диаметра пластины),
- достаточно большой вылет фрезы (более 2.5 её диаметра),
- фрезерование вблизи тонких стен,
- проблемное закрепление заготовки.

Можно добавить также, что иногда пластины с зубчатой кромкой используются и для резания с обычной для круглых пластин глубиной (до 15% диаметра фрезы), если мощность привода главного движения станка ограничена.

Программируемая начальная подача на зуб fz определяется уравнением (8):

$$fz = fzo \times KH \quad (8)$$

Где: fzo – базовая начальная подача (таблицы 39-41),
 KH – коэффициент, учитывающий влияние вылета фрезы (таблица 38).

Рис. 9

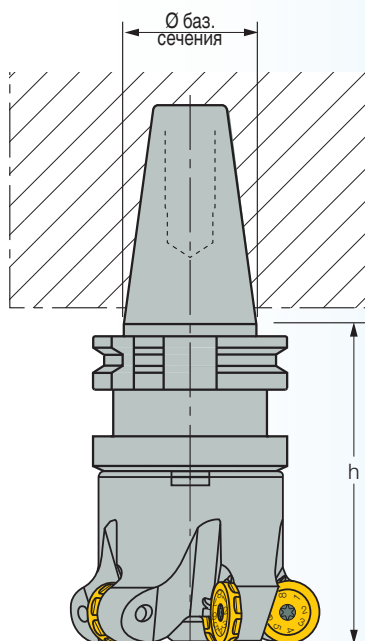


Рис. 10

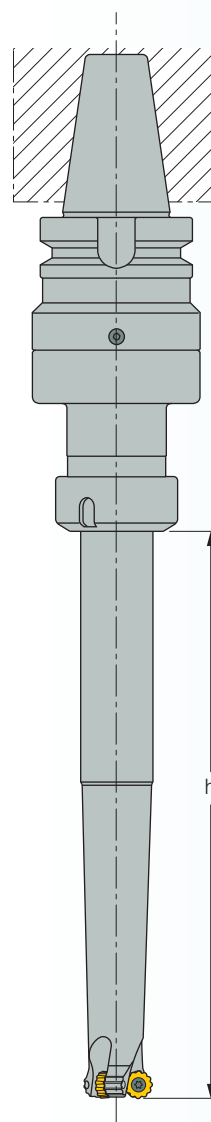


Таблица 38. Коэффициент влияния вылета инструмента для фрез MILLSHRED с круглыми пластинами, имеющими зубчатую режущую кромку, как функция отношения вылета Н к диаметру фрезы D1

H/D1	до 4	свыше 4 и до 6	свыше 6 и до 8	свыше 8 и до 10
КН	1	0.85	0.7	0.65

Пример

На операции фрезерования детали холодного штампа из инструментальной стали Х12ВМФ используют фрезу FRW D034A050-04-22-16 с пластинами RCMT 1607-FW IC908. Твёрдость стали составляет HB 210, вылет фрезы равен 120 мм, а глубина фрезерования - 6 мм. Найти программируемую стартовую подачу.

Материал детали относится к десятой группе материалов ИСКАР (No. 10) по VDI 3323. Таблица 39 определяет базовую подачу для фрез с пластинами диаметром 16 мм с глубиной резания 6 мм как 0.2 мм/зуб, которую необходимо умножить на 0.9 (для группы материалов No. 10). Диаметр фрезы 50 мм, и при вылете 120 мм коэффициент КН=1 (таблица 38).

Таким образом, $fz=0.2 \times 0.9 \times 1=0.18$ (мм/зуб).

Таблица 39. Пластины MILLSHRED широкого применения с зубчатой режущей кромкой RCMT...FW. Базовая начальная подача на зуб, мм/зуб

ap/r	Базовая начальная подача fzo, мм/зуб, для пластин					
	Ø12		Ø16		Ø20	
	ap	fzo	ap	fzo	ap	fzo
ap min	0.9	0.3	1.2	0.4	1.2	0.52
1/4	1.5	0.28	2	0.35	2.5	0.46
3/10	1.8	0.25	2.4	0.32	3	0.42
1/2	3	0.22	4	0.28	5	0.35
5/8	3.75	0.15	5	0.2	6.25	0.25
3/4	4.5	0.15	6	0.2	7.5	0.25
7/8	5.25	0.15	7	0.2	8.75	0.25
1	6	0.15	8	0.2	10	0.25

Значения подач в таблице характеризуют фрезерование групп материалов 1-9 (углеродистые и низколегированные стали).

Для групп материалов 10 и 11 (высоколегированные и инструментальные стали) табличные величины следует умножить на 0.9, для групп материалов 15 и 18 (чугун) - на 1.3 и для группы материалов 38.1 (закалённая сталь твёрдостью HRC 45 max) - на 0.6.

□ - Рекомендуемая область глубин резания.

Таблица 40. Пластины MILLSHRED с зубчатой режущей кромкой RCMT...FW-T20 (первый выбор при фрезеровании ферритных и мартенситных нержавеющей сталей, возможное применение - обработка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей). Базовая начальная подача на зуб, мм/зуб

ap/r	Базовая начальная подача fzo, мм/зуб, для пластин					
	Ø12		Ø16		Ø20	
	ap	fzo	ap	fzo	ap	fzo
ap min	0.9	0.26	1.2	0.35	1.2	0.4
1/4	1.5	0.23	2	0.3	2.5	0.35
3/10	1.8	0.21	2.4	0.28	3	0.3
1/2	3	0.18	4	0.25	5	0.28
5/8	3.75	0.13	5	0.18	6.25	0.21
3/4	4.5	0.13	6	0.18	7.5	0.21
7/8	5.25	0.13	7	0.18	8.75	0.21
1	6	0.13	8	0.18	10	0.21

Значения подач в таблице характеризуют фрезерование групп материалов 12-13 (ферритные и мартенситные нержавеющей стали).

Для групп материалов 1-9 (углеродистые и низколегированные стали) табличные величины следует умножить на 1.1.

□ - Рекомендуемая область глубин резания.

Пример

Деталь пресс-формы для пластмассового изделия, которую производят из нержавеющей стали мартенситного класса 20X13, характеризуется тонкостенной структурой и сложной формой, что приводит к неравномерному припуску на ряде операций механической обработки. При фрезеровании концевой фрезой ERW D020A032-B-3-C32-12 с круглыми пластинами RCMT 1206-FW-T20 IC928 изменение припуска ведёт к колебаниям глубины резания в пределах 3-4 мм. Фреза закреплена в цанговом патроне с вылетом 220 мм. Необходимо найти начальное значение подачи на зуб для предварительного нормирования операции.

Сталь 20X13 представляет группу материала No. 14, отношение “вылет/номинальный диаметр” составляет $220/32=6.9$. По таблице 38 влияние вылета фрезы отражается коэффициентом $K_H=0.7$. Хотя таблица 40 не даёт непосредственно величину базовой подачи для 12-миллиметровой пластины и глубины резания 4 мм, нетрудно видеть, что подача равна 0.13 мм/зуб.

В результате стартовая программируемая подача определяется следующим образом:
 $0.13 \times 0.7 = 0.09$ (мм/зуб).

Таблица 41. Пластины MILLSHRED с зубчатой режущей кромкой RCMT...FW-F20 (первый выбор при фрезеровании аустенитных нержавеющей сталей, возможное применение - обработка низкоуглеродистых мягких сталей). Базовая начальная подача на зуб, мм/зуб

ap/r	Базовая начальная подача fzo, мм/зуб, для пластин					
	Ø12		Ø16		Ø20	
	ap	fzo	ap	fzo	ap	fzo
ap min	0.9	0.13	1.2	0.17	1.2	0.2
1/4	1.5	0.12	2	0.16	2.5	0.18
3/10	1.8	0.1	2.4	0.14	3	0.16
1/2	3	0.09	4	0.12	5	0.14
5/8	3.75	0.07	5	0.09	6.25	0.1
3/4	4.5	0.07	6	0.09	7.5	0.1
7/8	5.25	0.07	7	0.09	8.75	0.1
1	6	0.07	8	0.09	10	0.1

Значения подач в таблице характеризуют фрезерование группы материалов 14 (аустенитные нержавеющей стали).

Для группы материалов 1 (низкоуглеродистые мягкие стали) табличные величины следует умножить на 1.5.

Для групп материалов 21-25 (алюминий и его сплавы) табличные величины следует умножить на 3.

□ - Рекомендуемая область глубин резания.

б) Начальная скорость резания Vc

Для назначения начальной скорости необходимо:

- с помощью усреднённых данных в таблицах найти рекомендуемую скорость резания,
- определить эффективный диаметр,
- произвести расчёт программируемой частоты вращения шпинделя по отношению к номинальному диаметру фрезы так, что скорость резания относительно эффективного диаметра будет равна рекомендуемой скорости, установленной ранее.

Рекомендуемая скорость резания

$$Vc = Vo \times KF \times KH \times Kt \quad (9)$$

Где: **Vo** – Базовая скорость резания (таблица 43).

KF – Коэффициент формы режущей кромки:
KF=1 для круглых пластин с гладкой кромкой,
KF=0.75 для круглых пластин с зубчатой кромкой.

KH – Коэффициент, учитывающий влияние вылета фрезы, который находится по таблицам:

для пластин с зубчатой кромкой - по таблице 38,

для пластин с гладкой кромкой - по таблице 42.

Kt – Коэффициент стойкости (таблица 8).

Таблица 42. Коэффициент влияния вылета инструмента КН для фрез MILLSHRED с гладкими круглыми пластинами и для фрез HELIDO H400 как функция отношения величины вылета Н к диаметру фрезы D1

H/D1	до 2.5	свыше 2.5 до 3	свыше 3 до 5	свыше 5
КН	1	0.9	0.65	0.5
Применение фрезы	Рекомендуемое		Менее рекомендуемое	

Необходимо также отметить, что при фрезеровании в тяжёлых режимах и контактом между инструментом и материалом по значительной поверхности, нежёстком закреплении и обработке тонкостенных заготовок начальную скорость резания следует снизить на 20%.

Вычисление эффективного диаметра De

$$De = D + 2 \times \sqrt{d \times ap - ap^2} \quad (10)$$

Где: D – диаметр окружности центров пластин во фрезе,
 d – диаметр пластины,
 ap – глубина резания по направлению оси фрезы.
 (Для фрезы номинального диаметра D1 $D=D1-d$)

Расчёт программируемой частоты вращения шпинделя N

$$N = 1000 \times Vc / (\pi \times De) \quad (11)$$

Скорость резания относительно номинального диаметра D1 определяется по формуле (12), приведенной ниже:

$$Vn = \pi \times D1 \times N / 1000 \quad (12)$$

Эффективный диаметр

Правильный подход к определению скорости резания для фрез криволинейного профиля требует вычислять скорость по отношению к эффективному диаметру фрезы. Из-за фасонного, непрямолинейного рабочего контура фрезы режущий диаметр является функцией глубины резания и меняется для различных участков кромки, осуществляющей резание. В качестве эффективного выбирается наибольший из действительно режущих диаметров кромки фасонной фрезы (рис. 11). Обычно это диаметр, определяемый глубиной резания в осевом направлении.

Игнорирование эффективного диаметра при расчёте частоты вращения шпинделя может вызвать серьёзные ошибки в определении скорости резания и подачи и привести к неэффективной работе инструмента. Для фрез с круглыми пластинами, в частности, отмеченное явление имеет особо важное значение в случаях фрез относительно небольших диаметров. Например, у фрезы диаметром 25 мм с круглыми пластинами Ø12 режущий диаметр изменяется от примерно 13 мм (для глубины резания всего лишь несколько десятых миллиметра) до 25 мм (при максимально допустимой глубине 6 мм, равной радиусу пластины). Предположим, что эффективный диаметр составляет 19 мм, а частота вращения шпинделя рассчитана для номинального диаметра 25 мм. Тогда реальная скорость резания для диаметра 19 мм будет на 24% меньше! С уменьшением глубины резания влияние ошибки резко возрастает. Например, для эффективного диаметра 14 мм она исчисляется уже 44%! Конечно, для фрез большого диаметра роль ошибки значительно меньше, и ей часто пренебрегают.

Кроме того, обработка пазов, фрезерование вблизи отвесных стен прямоугольных уступов и т.п., когда после каждого прохода фреза всё больше и больше углубляется в заготовку и так или иначе режет всей своей кромкой (рис. 12), все расчёты должны основываться только на номинальном диаметре!

Во всех же иных случаях настоятельно рекомендуется учитывать эффективный диаметр вычислениях параметров режима резания, вводя соответствующие поправки для программируемой частоты вращения шпинделя.

Следует помнить, что реальная скорость резания относится к эффективному диаметру, в то время как частота вращения шпинделя - к номинальному!

Рис.11

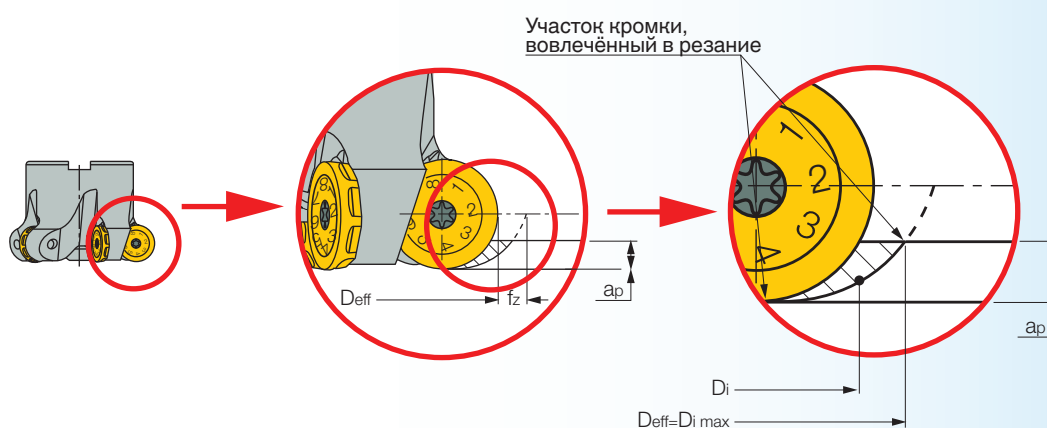


Рис. 12

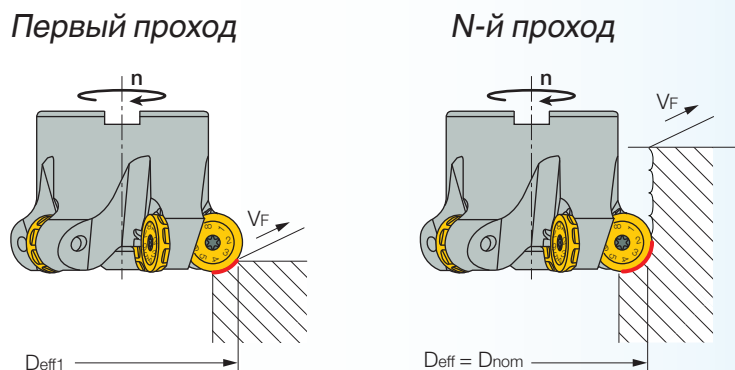


Таблица 43. Базовая скорость V_0 , м/мин, для фрез с круглыми пластинами семейства **MILLSHRED***

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала**	Vo для марки твёрдого сплава ИСКАР		
		IC908	IC910	IC928
P	1	260	240	190
	2-4	240	210	170
	5	220	200	155
	6,7	210	180	155
	8-9	190	160	145
	10	190	145	135
	11	150	135	130
M	12, 13	180		155
K	15-16	240	270	230
	17-18	220	230	200
H	38.1***	110		70

■ - Предпочтительный выбор сплава.

* Для периода стойкости 20 мин.

** Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

*** HRC 45 max.

Пример

Найти скорость резания для рассмотренного ранее случая обработки детали холодного штампа из инструментальной стали X12BMФ твёрдостью HB 210 фрезой FRW D034A050-04-22-16 с пластинами RCMT 1607-FW IC908. Вылет фрезы составляет 120 мм, а глубина фрезерования - 6 мм. По результатам расчёта стартовая подача определена как 0.18 мм/зуб.

Для материалов группы No. 10, к которой принадлежит сталь X12BMФ, $V_0=190$ м/мин (таблица 43).

$KF=0.75$ (для круглых пластин с зубчатой режущей кромкой), $KN=1$ (коэффициент вылета фрезы, таблица 38).

Значит, для 20-минутного периода стойкости $V_c=190 \times 0.75 \times 1=143$ (м/мин).

Эффективный диаметр для глубины резания 6 мм: $D_e=34+2 \times \sqrt{(16 \times 6 - 0.6^2)}=49.5$ (мм).

Полученное значение очень близко к номинальному диаметру фрезы (50 мм), поэтому можно пренебречь погрешностью вычислений и рассчитывать частоту вращения шпинделя по отношению к номинальному диаметру.

Задаваемая частота вращения шпинделя: $N=1000 \times 143 / (\pi \times 50)=910$ (об/мин)

Для ожидаемой стойкости 60 мин. коэффициент стойкости $K_t=0.8$ (таблица 8), поэтому скорость резания и частота вращения шпинделя станут 114 м/мин и 728 об/мин соответственно

Пример

Определить параметры режима резания для операции фрезерования плиты из инструментальной легированной стали 4XC твёрдостью HRC 32. Используемый инструмент - фреза насадная производства ИСКАР FRW D080A100-06-32-20 с круглыми пластинами RCMW 2009MO IC928. Обработка ведётся с глубиной резания 1.8 мм. Вылет фрезы равен 86 мм. Эффективный диаметр: $D_e = 80 + 2 \times \sqrt{(20 \times 1.8 - 1.8^2)} = 91$ (мм).

KF=0.75 (для гладких круглых пластин).

Материал заготовки с указанной твёрдостью относится к группе No. 9.

Начальная подача на зуб определяется по таблице 36: $f_z \approx 0.73$ мм/зуб (примерно среднее значение между табличными 0.8 и 0.67).

Начальная скорость резания по формуле (9): $V_c = 145 \times 1 \times 1 \times 1 = 145$ (м/мин).

Программируемая частота вращения шпинделя: $N = 1000 \times 145 / (\pi \times 91) = 507$ (об/мин).

Скорость резания относительно номинального диаметра фрезы:

$V_n = \pi \times 100 \times 507 / 1000 = 160$ (м/мин)

Пример

В бюро рекламаций компании ИСКАР поступила жалоба на низкую стойкость пластин RCCW 1206MO IC908, которые заказчик приобрёл для многопроходного фрезерования глубокой и узкой полости в детали из конструкционной легированной стали 40XH2MA. Операция фрезерования производится фрезой ERW D020A032-A-3-C25-12 с закреплёнными в ней указанными пластинами, и каждый из проходов характеризуется глубиной резания 0.7 мм. Заказчик определил параметры режима резания в соответствии с рекомендациями ИСКАРА, взяв в расчёт и эффективный диаметр, и влияние вылета инструмента. В чём причина проблематичной стойкости пластин?

Во время первого прохода лишь малая часть кромки пластины непосредственно режет материал. Но уже на каждом из последующих проходов в резание вовлекаются всё новые и новые участки кромки, а уже на восьмом проходе практически вся кромка участвует в резании вблизи стенки полости: 8×0.7 мм = 5.6 мм (максимальная глубина составляет 6 мм - радиус пластины).

Эффективный диаметр, рассчитанный для глубины фрезерования 0.7 мм, составит $20 + 2 \times \sqrt{(12 \times 0.7 - 0.7^2)} = 25.6$ (мм); и по отношению к нему заказчик определил частоту вращения шпинделя.

В результате скорость резания относительно номинального диаметра (который является режущим после восьмого прохода, как показано выше) станет в 1.25 раза выше, чем требуется ($32/25.6 = 1.25$)! По всей вероятности, это и есть причина невысокой стойкости. Ведь несмотря на то, что глубина резания действительно мала, вся кромка пластины вовлекается в резание, и расчёт необходимо отнести к номинальному диаметру фрезы.

Высокая прочность кромки и функциональные преимущества режущей окружности делают фрезы с круглыми пластинами наиболее применяемым инструментом в операциях чернового и получистового фрезерования при изготовлении штампов и пресс-форм. Завершая раздел, отметим ещё раз особенности использования фрез MILLSHRED:

- При работе с малыми глубинами резания и небольшим вылетом фрезы лучшим решением будут круглые пластины с гладкой кромкой. Максимальная эффективность достигается при глубине резания в пределах 10-30% радиуса пластины (то есть 5-15% её диаметра). Увеличение глубины в данном случае может стать причиной вибраций, интенсивного износа пластины и чрезмерного нагружения инструмента.
- Если же выполняемая операция характеризуется большими глубинами резания, значительным вылетом фрезы, недостаточной жёсткостью системы СПИД (проблемы с закреплением, тонкостенная заготовка и пр.), применение пластин с зубчатой кромкой обеспечит лучшие результаты.

- Эффект стружкоразделения, свойственный круглым пластинам с зубчатой кромкой, может послужить успешным средством решения задач затруднённого удаления стружки.
- Пластины с зубчатой кромкой потребляют меньше мощности, что позволяет их успешное применение в станках с ограниченной силовой характеристикой главного привода.
- При определении параметров режима резания следует учесть влияние эффективного диаметра и глубины резания, так как ошибочные вычисления могут привести к существенному снижению стойкости пластин.

3.1.1.1. HELIDO H400 - новое решение для эффективного фрезерование сложнопрофильных поверхностей

Семейство фрез **HELIDO H400**, одна из последних разработок компании ИСКАР, представляет собой действенный инструмент для многокоординатной обработки фасонных поверхностей. Основа семейства - двухсторонняя сменная режущая пластина H400 RNHU 1205..., которая смотрится круглой, но строго говоря, ей не является.

Пластина H400 RNHU 1205... (рис. 13) имеет четыре главные режущие кромки, каждая из них представляет собой 120-градусную дугу окружности радиусом 6 мм (для сопоставления: режущая кромка круглой пластины традиционной конструкции располагает четырьмя 90-градусными дугами). Более того, в пластине предусмотрены ещё и четыре вспомогательные режущие кромки, главным образом предназначенные для работы при врезании под углом. Комбинация четырёх режущих 120-градусных дуг и четырёх кромок для врезания значительно расширяет возможности семейства фрез **HELIDO H400** в обработке поверхностей сложного пространственного профиля, в особенности с использованием пятикоординатных станков с ЧПУ, что делает применение таких фрез очень перспективным в современном прессоштамповом производстве.

По сравнению с круглыми пластинами того же номинального диаметра пластина H400... меньше - появляется дополнительная возможность уменьшения углового шага зубьев. Инструменты **HELIDO H400** выпускаются в различных вариантах исполнения: насадные торцевые фрезы, концевые фрезы с хвостовиком и сменные головки для модульного сборного инструмента системы **FLEXFIT**. Для фрез стандартной поставки диапазон номинальных диаметров составляет 32...80 мм.

Разработаны три вида режущей геометрии пластин H400...: ML, HP и AX, ориентированные на фрезерование различных конструкционных материалов. Основные режущие кромки пластин вида AX спиральные, в то время как основные дугообразные кромки пластин видов ML и HP - плоские (рис. 15). Для производства пластин применяются новейшие твёрдые сплавы с использованием упрочняющей технологии обработки поверхностей после нанесения покрытия SUMO TEC. Таблица 44 содержит общие данные, характеризующие пластины. Из таблицы следует, что наиболее подходящими для нужд прессоштампового производства являются пластины видов ML и AX. Тем не менее, пластины вида HP с их высокопозитивной формой передней поверхности, сконструированные прежде всего для фрезерования жаропрочных сплавов, тоже могут найти своё применение в изготовлении деталей штампов и форм, например, при обработке мягких углеродистых сталей или некоторых нержавеющей сталей ферритно-мартенситного типа.

Рис. 13

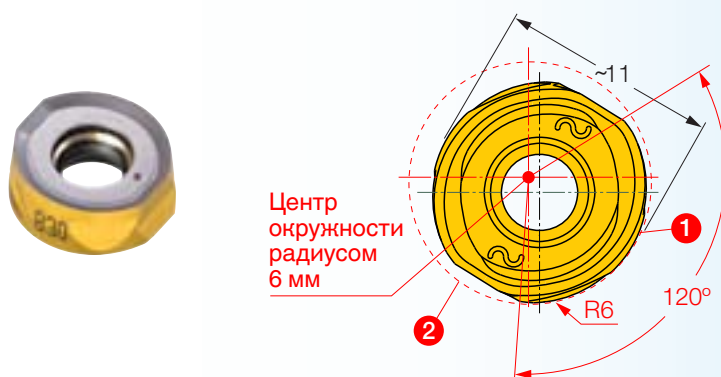


Рис. 14

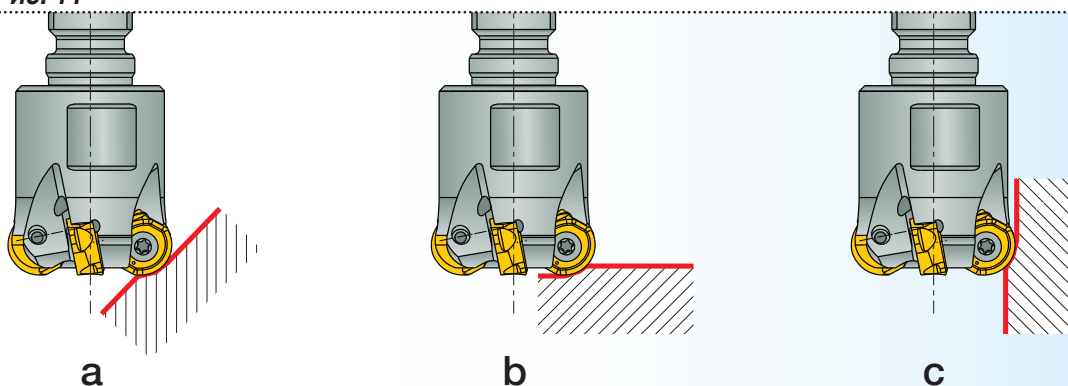


Рис. 15

Плоская кромка ML, HP

Спиральная кромка AX



a



b

Нейтральная, позитивная и высокопозитивная

Пластины для токарных резцов по своим геометрическим параметрам разделяют на негативные, позитивные и негативно-позитивные. В отличие от них для СМП для фрез не сложилась общепринятая классификация, однако термины “нейтральная”, “позитивная” и т.п. часто встречаются применительно и к пластинам фрезерной группы, а в профессиональной среде они буквально “на слуху”. Очевидно, внесение ясности с определениями потребует небольшого комментария. Пластина с плоской передней поверхностью, которая параллельна основанию, называется нейтральной. Её типичные примеры: пластины для фрезерования заклённых сталей и чугуна. Какая же пластина относится к “позитивным”?

Прогресс порошковой металлургии и прессования принес с собой невиданные возможности формирования передней поверхности пластин, и они становятся всё более и более впечатляющими. Тем самым открылся новый путь увеличения положительного переднего угла фрезы в нормальном и осевом сечениях, то есть для снижения силы резания, улучшения стружкообразования и обеспечения плавной работы инструмента. Вот почему соответствующие пластины стали называться позитивными.

Дальнейшее развитие технологии позволило дополнительно увеличить разницу высот двух

угловых вершин режущей кромки пластины. Таким образом, и передний угол (прежде всего, осевой) фрезы стал больше, а в профессиональной речи появилось несколько нечёткое определение “высокопозитивная пластина”.

Разумеется, технология изготовления СМП путём прессования порошковых материалов с их последующим спеканием ещё не исчерпала свой потенциал, и фрезерные пластины, которые считаются высокопозитивными сегодня, могут оказаться лишь просто позитивными завтра.

Таблица 44. Пластины HELIDO H400

Пластина	Режущая кромка	Упр. фаска	Обрабатываемые материалы		Марка тв. сплав		
			основное применение	возможное применение	IC808	IC830	IC330
H400 RNHU 1205-ML	плоская	негативная	сталь	нерж. сталь			
H400 RNHU 1205-AX	спиральная	нейтральная	нерж. сталь	сталь			
H400 RNHU 1205-HP	плоская	позитивная	жаропрочн. мат.	нерж. сталь, мягкая сталь			

Начальные значения параметров режима резания для фрез H400 определяются так же, как и для фрез с круглыми пластинами. По уравнению (6) находят подачу на зуб, по уравнению (7) - коэффициент уменьшения толщины стружки и по уравнению (9) - скорость резания. Углы фрезы в плане вычисляются по уравнениям (4)-(5а) или назначаются по таблице 32 (в последнем случае переменная r представляет собой радиус дугообразной режущей кромки пластины H400, например: 6 мм для пластины H400 RNHU 1205). Можно также воспользоваться и табличным методом оценки. Таблицы 45 и 46 содержат значения базовых подачи на зуб f_{zo} и скорости V_o , а в таблице 47 указаны величины базовой подачи в зависимости от глубины резания.

Таблица 45. Фрезы с пластинами HELIDO H400 RNHU 1205. Базовая начальная подача f_{zo} , мм/зуб

Группа по ISO (DIN/ISO 513)	Группа материала*	f_{zo} для видов пластин		
		ML	AX	HP
P	1-4	0.21	0.14	0.14
	5-9	0.21	0.14	
	10-11	0.15	0.1	
M	12, 13	0.18	0.12	0.12
K	15-16	0.21		
	17-18	0.18		
H	38.1	0.12		

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

□ - Рекомендуемое применение.

Таблица 46. Фрезы с пластинами HELIDO H400 RNHU 1205. Базовая скорость резания V_o , м/мин

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала**	V_o для марки твёрдого сплава ИСКАР		
		IC908	IC830	IC330
P	1	260	180	160
	2-4	240	160	145
	5	220	145	130
	6,7	210	145	130
	8-9	190	140	125
	10	190	135	125
	11	150	125	120
M	12, 13	180	150	140
K	15-16	240	240	
	17-18	220	220	
H	38.1***	110	90	

□ - Предпочтительный выбор сплава.

* Для периода стойкости 20 мин.

** Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

***HRC 45 max.

Таблица 47. Фрезы с пластинами HELIDO H400 RNHU 1205. Базовая начальная подача f_{zo} , мм/зуб, в зависимости от глубины резания a_p

a_p , мм	f_{zo} для видов пластин		
	ML* ¹	AX* ²	HP* ³
0.15	0.8	0.56	0.56
0.37	0.7	0.5	0.5
0.6	0.54	0.41	0.41
0.75	0.5	0.36	0.36
1.5	0.4	0.26	0.26
1.8	0.36	0.24	0.24
3	0.27	0.18	0.18
3.75	0.21	0.14	0.14
4.5	0.21	0.14	0.14
5.25	0.21	0.14	0.14
6	0.21	0.14	0.14

*¹ Пластины вида ML:

Значения подач в таблице относятся к фрезерованию углеродистых и низколегированных сталей (группы материалов 1-9), а также серого чугуна (группы 15-16). При обработке высоколегированных и инструментальных сталей (группы 10-11) табличные величины следует умножить на 0.7, при обработке ферритных и мартенситных нержавеющих сталей (группы 12-13) и высокопрочного чугуна (группы 17-18) - на 0.85, а при обработке закаленных сталей твердостью не более HRC 45 (группа 38.1) - на 0.55.

*² Пластины вида AX:

Значения подач в таблице относятся к фрезерованию углеродистых и низколегированных сталей (группы материалов 1-9). При обработке высоколегированных и инструментальных сталей (группы 10-11) табличные величины следует умножить на 0.7, а при обработке ферритных и мартенситных нержавеющих сталей (группы 12-13) - на 0.85.

*³ Пластины вида HP:

Значения подач в таблице относятся к фрезерованию углеродистых сталей (группы материалов 1-4). При обработке ферритных и мартенситных нержавеющих сталей (группы 12-13) табличные величины следует умножить на 0.85.

Что же касается влияния вылета фрезы, таблица 42 содержит необходимые данные и рекомендации.

Пример

На инструментально-штамповом участке собираются применить фрезу H400 ER D32-4-060-C32-12 с закреплёнными в ней пластинами H400 RNHU 1205-HP IC830 для многокоординатной обработки детали пресс-формы сложного вида, изготавливаемой из нержавеющей стали мартенситного класса 08X13 твердостью HB 300...310. Глубина резания при выполнении операции фрезерования меняется от 1 мм до 4.5 мм. Система СПИД обладает достаточной жесткостью. Специалисты участка обратились к местному представителю компании ИСКАР с просьбой предоставить рекомендации по назначению стартовых параметров режима резания.

Материал детали принадлежит к группе материалов ИСКАР No. 13. Из-за переменного значения глубины резания в качестве расчётной принимается наибольшая величина (4.5 мм). Эффективный диаметр $De = (32-12) + 2 \times \sqrt{(12 \times 4.5 - 4.5^2)} = 31.6$ (мм) ≈ 32 мм (практически вся кромка пластины участвует в резании металла).

Базовая подача на зуб (таблица 45): $f_{zo} = 0.18$ мм/зуб (в качестве альтернативного метода подачу можно определить и по таблице 47, уменьшив табличное значение на 15% согласно примечанию). Базовая скорость резания (таблица 46): $V_0 = 150$ м/мин.

Программируемая стартовая частота вращения шпинделя: $N = 1000 \times 150 / (\pi \times 32) = 1492$ (об/мин). Начальная скорость подачи: $V_F = 0.18 \times 4 \times 1492 = 1074$ (мм/мин).

3.1.2. Тороидальные цельные твёрдосплавные фрезерные головки MULTI-MASTER

Сменные фрезерные головки **MULTI-MASTER** тороидального профиля, как и головки других форм этой линии, выпускаются в двух конструктивных исполнениях: двухзубые MM HT... экономичной серии, предварительно спрессованные с максимальным приближением к окончательному виду, и многозубые MM ETR..., получаемые шлифованием цилиндрических ступенчатых бланков.

В таблице 48 представлены номинальные диаметры D и радиусы закругления вершины (угловой радиус) R тороидальных головок **MULTI-MASTER** стандартной поставки.

Таблица 48. Тороидальные головки MULTI-MASTER

Диаметр фрезы D, мм	8	10				12					16					20			
Радиус закругления R, мм	2	0.5	1	2	3	1.6	2	2.5	3	4	2	3	4	5	3	4	5	6	8
Двухзубые MM HT...																			
Шестизубые MM ETR...																			

Обратная конусность и поднутрённый торец

Уменьшение диаметра фрезы с круглыми пластинами на определённом этапе повлечёт и уменьшение винта, крепящего пластину. Фреза теряет прочность, становится менее производительной, и начиная с некоторого диаметра, изготовление таких инструментов становится практически невозможным. Подобное наблюдается и при уменьшении диаметра круглой пластины. Однако, производству штампов и пресс-форм необходимы тороидальные фрезы, позволяющие вести эффективную обработку малогабаритных деталей и небольших радиусов. А жесткие требования к точности ставят заслон применению фрез с круглыми пластинами в некоторых операциях.

Цельные твёрдосплавные фрезы и сменные режущие головки позволяют справиться с возникшей проблемой и таким образом расширить область применения вращающихся инструментов тороидального профиля.

Существуют технические термины, относящиеся к монолитным фрезам и сменным головкам, которые вошли в обиход и часто используются производителями. Стоит посвятить им небольшое пояснение.

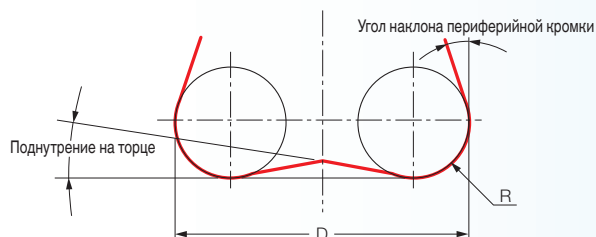
Вершины зубьев (уголки) 90-градусных цельных концевых фрез бывают острыми, с закруглением по радиусу или с фаской. Вспомогательные режущие кромки на торце концевой фрезы выпускаются с поднутрением в осевом направлении (например, у шпоночных фрез) или без него, а основные кромки, расположенные на цилиндрической части, могут изготавливаться с небольшой обратной конусностью, то есть с уменьшением диаметра в нормальном сечении по направлению от торца к хвостовику фрезы. Обратная конусность позволяет свести к минимуму контакт инструмента с обрабатываемой боковой стороной уступа, особенно, если такой контакт нежелателен (изгиб фрезы под действием радиальной составляющей силы резания, значительный вылет фрезы, вибрации и т.д.). Справедливости ради необходимо отметить, что для большинства цельных концевых фрез свойственны и малое поднутрение торцевой кромки, и незначительная (в пределах допуска на диаметр) обратная конусность основной кромки зуба на периферии, острая же вершина при ближайшем рассмотрении оказывается не такой и острой, а слегка закруглена по радиусу или снабжена фаской, но такие общепринятые принципы конструирования не являются предметом данного рассмотрения.

Понятно, что зуб фрезы с обратной конусностью и поднутрённым торцом по сути дела представляют собой тороидальный режущий профиль. Эта форма и положена в основу цельных твёрдосплавных тороидальных фрез и сменных головок. Среди них наиболее

распространены инструменты диаметром 10...25 мм. Обычно они имеют 2-3 зуба с углом наклона периферийной кромки к оси фрезы, определяющим обратную конусность, 5...7°. Задняя, а в большинстве случаев и передняя поверхности зуба шлифованные. Отмеченные тороидальные фрезы и головки удачно сочетают в себе преимущества круглых пластин с точностью монолитных концевых фрез с закруглёнными вершинами зубьев, что делает их очень популярными при выполнении самых разных операций от производительного чернового и получистового фрезерования небольших деталей штампов и пресс-форм до чистовой обработки закруглений высокой точности. Иногда режущая кромка этих инструментов выполняется с зачистным участком на торце или периферии зуба. Встречаются также и варианты кромки со стружкоразделяющими канавками.

В сущности цельные твёрдосплавные тороидальные фрезы и головки можно представить в виде инструмента с высокоточными круглыми пластинами, часто малого диаметра, причём пластина является нераздельной частью корпуса, составляя с ним единое целое (рис. 16).

Рис.16



Головки MM HT... отличаются высокой прочностью, позволяющей тяжёлое нагружение зуба. Передняя поверхность - шлифованная с нейтральной геометрией (передний угол равен нулю). Эти конструктивные особенности головки обеспечивают эффективное резание заготовок из сталей (в том числе и закалённых) и чугуна. Головки нашли успешное применение во фрезеровании с высокой подачей на зуб, обработке полостей и карманов по методам винтовой интерполяции и врезания под углом, осевом врезании и даже сверлении отверстий малой глубины.

Многозубые головки MM ETR... с углом винтовой канавки 30° и нулевым передним углом предназначены, главным образом, для высокопродуктивного чистового фрезерования закалённых сталей и окончательного формирования точных закруглений. У головок нет режущей кромки у центра, поэтому она не должна использоваться в операциях сверления. Тем не менее, геометрия головок обеспечивает высокопроизводительное врезание под углом и по спирали (интерполяция).

Оба типа головок используются также и для фрезерования поднутрений, углублений и канавок.

Большинство тороидальных головок MULTI-MASTER производится из твёрдого сплава IC908. Головки же, разработанные для фрезерования материалов высокой твёрдости (HRC 56-63), выпускают из сплава IC903.

Начальные параметры режима резания

а) Начальная подача на зуб f_z

Программируемая начальная подача на зуб, относящаяся к номинальному диаметру головки, находится по уже известной формуле (8):

$$f_z = f_{zo} \times KH$$

Таблица 49 содержит значения базовой начальной подачи f_{zo} при фрезеровании различных конструкционных материалов.

Если вылет фрезы не превышает 3D (трёх номинальных диаметров головки), то коэффициент учёта вылета $KH=1$. Для больших вылетов следует принять $KH=0.7$.

При фрезеровании инструментом с тороидальными головками припуск обычно составляет 0.01D...0.2D. Если головка используется для торцевого фрезерования, то припуск определяется глубиной резания, и если радиус закругления вершины зуба головки достаточно велик, влияние эффекта уменьшения толщины стружки может быть существенным. Радиус закругления, который "достаточно велик", не поддаётся строгому определению, однако проверенное практическое правило гласит, что это радиус 3 мм (а для головок диаметром 8 мм - 2 мм) и более. В таблице 50 указаны коэффициенты уменьшения толщины стружки K_{TH} , и

их необходимо учесть в подобных случаях:

$$fz = fzo \times KH \times KTH \quad (13)$$

б) Начальная скорость резания V_c

В таблице 51 собраны усреднённые значения начальной скорости резания. Если жёсткость системы СПИД недостаточна (проблемное закрепление, большой вылет инструмента, фрезерование тонкостенной заготовки и пр.), табличные величины необходимо уменьшить на 20-30%..

б) Начальная скорость резания V_c

В таблице 51 собраны усреднённые значения начальной скорости резания. Если жёсткость системы СПИД недостаточна (проблемное закрепление, большой вылет инструмента, фрезерование тонкостенной заготовки и пр.), табличные величины необходимо уменьшить на 20-30%.

Таблица 49. Тороидальные головки MULTI-MASTER: базовая начальная подача fzo , мм/зуб, для головок диаметром D , мм

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*2	fzo для D				
		8	10	12	16	20
P	1-4	0.13	0.14	0.16	0.18	0.2
	5	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18
	6, 7	0.1	0.11	0.12	0.13	0.15
	8, 9	0.09	0.1	0.12	0.13	0.15
	10	0.08	0.09	0.1	0.11	0.13
	11	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11
M	12, 13	0.08	0.09	0.1	0.11	0.13
K	15-16	0.13	0.14	0.16	0.18	0.2
	17-18	0.12	0.13	0.15	0.17	0.18
H	38.1*3	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08
	38.2*4	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
	39*5	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05

*1 Припуск на обработку: (0.01...0.2)D для головок MM HT... и (0.01...0.06)D для головок MM ETR... .

*2 Группа материалов ИСНАР по стандарту VDI 3323.

*3 HRC 45-49

*4 HRC 50-55

*5 HRC 56-63

□ – Наиболее рекомендуемое применение.

Тороид для улучшения параметров шероховатости поверхности.

Для улучшения параметров шероховатости обрабатываемой поверхности деталей штампов и пресс-форм компания ИСКАР разработала тороидальные фрезерные головки со стружкоразделительными канавками и зачистным участком на периферийной (боковой) кромке зуба (рис. 17 и 18).

Разделение стружки на мелкие сегменты уменьшает образование царапин и задигов на стенах при фрезеровании полостей и углублений и намного облегчает стружкоудаление. Зачистной участок на периферийной кромке зуба обеспечивает заметное снижение параметров шероховатости поверхности стены полости. Для получения лучших результатов при программировании траектории фрезы следует учесть, что врезание в заготовку в осевом направлении после каждого прохода не должно превышать длины зачистного участка.

Рис. 17

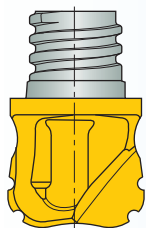


Рис. 18

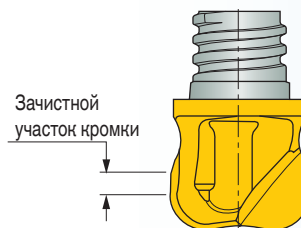


Таблица 50. Коэффициент уменьшения толщины стружки КТН для тороидальных фрезерных головок MULTI-MASTER диаметром D мм, и радиусом закругления вершины зуба R, мм

ap/D	D=8		D=10		D=12			D=16				D=20					
	ap	R2	ap	R3	ap	R3	R4	ap	R3	R4	R5	ap	R3	R4	R5	R6	R8
0.01	0.08	3.6	0.1	3.5	0.12	3.2	3.6	0.16	2.8	3.2	3.5	0.2	2.4	2.9	3.2	3.5	4
0.02	0.16	2.5	0.2	2.5	0.24	2.2	2.2	0.32	2	2.2	2.5	0.4	1.8	2.1	2.2	2.5	2.9
0.05	0.4	1.7	0.5	1.6	0.6	1.4	1.7	0.8	1.3	1.4	1.6	1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.8
0.1	0.8	1.2	1	1.2	1.2	1.1	1.3	1.6	1	1.1	1.2	2	1	1	1.1	1.2	1.3
0.15	1.2	1.1	1.5	1	1.8	1	1.1	2.4	1	1	1	3	1	1	1	1	1.1
0.2	1.6	1	2	1	2.4	1	1.1	3.2	—	1	1	4	—	1	1	1	1

* Припуск на обработку: (0.01...0.2)D для головок MM HT... и (0.01...0.06)D для головок MM ETR....

Как уже отмечалось ранее, при нахождении программируемой частоты вращения шпинделя недостаточно оперировать номинальным диаметром головки. Так же, как и в случае фрез с круглыми пластинами, определение частоты вращения должно учитывать эффективный диаметр головки De в конкретной операции.

$$De = D - 2R + 2 \times \sqrt{(2R \times ap - ap^2)} \quad (14)$$

Где: D – номинальный диаметр головки,
 R – радиус закругления вершины зуба головки,
 ap – глубина резания в осевом направлении.

Правильный подход к вычислениям в “режущей математике” диктует всегда ориентироваться на эффективный диаметр. В то же время малые радиусы закругления (угловые радиусы) зубьев головки, такие как 0.5 или 1 мм, допускают игнорировать расчёт эффективного диаметра и использовать вместо него номинальный диаметр, ведь разница между ними будет незначительной, а значит, полученной ошибкой вычислений можно пренебречь. Подобная ситуация наблюдается и при глубине резания, приближающейся к величине радиуса закругления.

Так например, эффективный диаметр головки диаметром 12 мм и радиусом закругления вершины зуба 3 мм при фрезеровании с глубиной резания 2 мм составляет 11.6 мм. Для глубины же 0.5 мм эффективный диаметр станет 9.3 мм, а для глубины 0.3 мм - уже только 8.6 мм. Ясно, что при использовании номинального диаметра вместо эффективного в вычислениях погрешность результата будет 3% в первом из указанных случаев, 23% - во втором и почти 30% - в третьем.

А что говорит практика?

Если разница между номинальным и эффективным диаметрами менее 20%, скорость резания можно смело определять относительно номинального диаметра, так как погрешность вычислений будет небольшой.

Таблица 51. Сменные головки ММ НТ... и фрезы с пластинами НТR...: начальная скорость V_c , м/мин

Группа по ISO/ DIN/ISO 513	Группа материала*	V_c , м/мин
Р	1	180
	2-4	160
	5-6	150
	7-9	140
	10	130
	11	120
М	12, 13	120
К	15-16	200
	17-18	180
Н	38.1	120
	38.2	100
	39**	80

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** Для данного случая рекомендуется высокоскоростное фрезерование.

□ – Наиболее рекомендуемое применение.

Пример

Технолог лаборатории резания решил проверить возможности сборной фрезы системы МУЛЬТИ-МАСТЕР, состоящей из хвостовика MM S-A-L065-W16-T08 с закреплённой в нём тороидальной головкой MM HT120N06R3.0-2T08 908 в обработке заготовки из серого чугуна. Глубина резания на проход составляет 0.6 мм, а пошаговое смещение в радиальном направлении после каждого прохода - 10 мм. Определить стартовые параметры режима резания для проведения испытания фрезы, если жёсткость системы СПИД оценивается как высокая.

Для серого чугуна, представленного группами материалов ИСКАР No. 15 и 16 по стандарту VDI 3323, начальная скорость резания $V_c=200$ м/мин (таблица 51), а базовая начальная подача $f_{z0}=0.16$ мм/зуб. Коэффициент уменьшения толщины стружки $K_{TN}=1.4$ (таблица 50), следовательно, программируемая начальная подача будет 0.22 мм/зуб (формула (13)). Эффективный диаметр $D_e=12-2 \times 3+2 \times \sqrt{(2 \times 3 \times 0.6-0.6^2)}=9.6$ мм, тогда программируемая частота вращения шпинделя составит $1000 \times 200 / (\pi \times 9.6)=6630$ (об/мин).

Для сравнения: если не учитывать эффективный диаметр и использовать значение номинального диаметра (12 мм) в расчёте, то частота вращения шпинделя станет 5305 об/мин, а скорость резания - 160 м/мин, то есть на 20% меньше.

Скорость подачи $V_F=0.22 \times 2 \times 6630=2917$ (мм/мин).

Как уже подчёркивалось ранее, предпочтительно применять многозубые головки типа MM ETR... (как и цельные твёрдосплавные фрезы аналогичной геометрии) для чистового фрезерования закалённых сталей твёрдостью до HRC 55. Припуск в таком случае как правило не превышает 0.06 D (обычно даже 0.03 D). Для определения начальных параметров режима резания можно использовать таблицы 49-51. Для небольших припусков на чистовых операциях табличное значение скорости резания следует увеличить на 10-15%.

Пример

Чистовое фрезерование формообразующей полости пресс-формы для пластмассового изделия осуществляется сборным инструментом Мульти-Мастер, состоящим из хвостовика MM S-A-L090-C12-T08 с закреплённой в нём режущей головкой MM ETR080A04R2.0-6T05 908. Глубина резания меняется от 1 до 1.3 мм, пошаговое смещение фрезы в поперечном направлении равно 0.3 мм. Найти начальные значения параметров режима резания, если материал заготовки - инструментальная легированная сталь 4XC твёрдостью HRC 50...52.

Базовая начальная подача (таблица 49) равна 0.05 мм/зуб, а коэффициент уменьшения толщины стружки (таблица 50) - 1.1. Информация, позволяющая оценить состояние системы СПИД, отсутствует. В то же время, достаточно оснований полагать, что жёсткость системы достаточная: короткий хвостовик типа А и малая величина снимаемого припуска. Значит, программируемая начальная подача будет $0.05 \times 0.11=0.055$ (мм/зуб).

Возможность увеличения табличной скорости 100 м/мин (таблица 51) на 10-15% приводит к начальной скорости резания 110 м/мин. Эффективный диаметр $D_e=8-2 \times 2+2 \times \sqrt{(2 \times 2 \times 1.3-1.3^2)}=7.7$ (мм). Расчётное значение эффективного диаметра очень близко к номинальному диаметру головки: эффективный диаметр составляет 96% номинального, поэтому для определения частоты вращения шпинделя допустимо пренебречь поправкой на эффективный диаметр и определить частоту вращения через номинальный диаметр: $1000 \times 110 / (\pi \times 8)=4377$ (об/мин). Скорость подачи получается как $0.055 \times 6 \times 4377=1444$ (мм/мин).

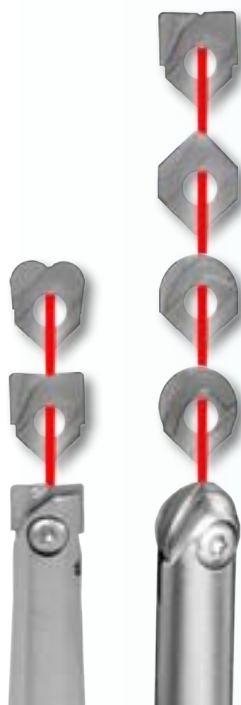
3.1.3. Тороидальные фрезы со сменной режущей пластиной семейства BALLPLUS

Семейство **BALLPLUS** (рис. 19) представляет собой систему многофункционального сборного режущего инструмента, состоящего из корпуса-хвостовика и механически закрепляемой в нём сменной пластины. Конструкция хвостовика включает в себя собственно цилиндрическую хвостовую часть для зажима в патроне и шейку, которая бывает как цилиндрической, так и конической. На пластине имеется две режущие кромки, и при установке в хвостовике они выполняют роль двух режущих зубьев инструмента. Существует несколько типов пластин, причём каждый из них может закрепляться в одном и том же хвостовике, образуя таким образом инструменты различного функционального назначения. V-образная задняя (нережущая) часть пластины базируется по соответствующим контактным поверхностям паза хвостовика, а зажимной винт при затягивании плотно прижимает пластину к этим поверхностям, обеспечивая высокую точность и надёжность закрепления даже под действием значительной силы резания. Замена пластины очень проста.

В семействе **BALLPLUS** представлены пластины следующих типов:

- сферические,
- тороидальные,
- 90-градусные (с плоским торцом),
- клиновидные (для фрезерования фасок и зенкования).

Рис. 19



Эксплуатационная гибкость режущего инструмента (1)

Эксплуатационная гибкость или многофункциональность режущего инструмента со сменными пластинами в значительной мере определяется разнообразием режущей геометрии, которую может обеспечить инструмент. Обычная практика инструментального производства предусматривает применение СМП или сменных головок похожего профиля, создаваемых для обработки преимущественно определённой группы материалов путём изменения формы передней и задней поверхностей. Чем больше пластин или головок разной геометрии пригодно к установке в инструменте, тем больше его гибкость в применении.

Во фрезеровании системы сборного инструмента со сменными головками, допускающие закрепление в том же корпусе головок совершенно несходной формы, существенно раскрывают границы многофункциональности. Например, комбинации одного хвостовика семейства МУЛЬТИ-МАСТЕР с различными режущими головками порождают эффективные инструменты от концевых 90-градусных фрез с плоским торцом до сферических фрез или от дисковых фрез до центровочных свёрл-зенковок. Системы сборного инструмента с одной режущей пластиной хотя и располагают меньшими возможностями для таких сочетаний, однако тоже обладают хорошими резервами эксплуатационной гибкости. Закрепление соответствующей пластины в хвостовике **BALLPLUS** производит сферическую фрезу, тороидальную фрезу или зенковку. Даже в случае фрез с СМП со всеми их ограничениями по комбинированию, тем не менее, находятся пути расширения функциональности: хорошей иллюстрацией послужат уже рассмотренные ранее фрезы **HELIDO S845**, допускающие установку и четырёхгранных, и восьмигранных пластин.

Эксплуатационная гибкость во многом увеличивает область применения инструмента и создаёт условия для сокращения номенклатуры изделий и складского запаса инструментального хозяйства. Поэтому обеспечение наибольшей многофункциональности является важным принципом разработки высокопроизводительного вращающегося режущего инструмента, в особенности сборных фрез со сменными головками, как одного из факторов повышения рентабельности современного производства.

Многофункциональность за счёт закрепления в хвостовике пластин различного профиля делает фрезы **BALLPLUS** в своей основе похожими на инструменты семейства **МУЛЬТИ-МАСТЕР**.

Врезание тороидом

В дополнение к основным видам фрезерования фасонных поверхностей многие тороидальные фрезы выполняют также операции осевого врезания (плунжерования) с подачей вдоль оси инструмента, пошаговое сверление с периодическим выводом фрезы и даже непосредственное сверление на небольшие глубины.

В таблице 52 представлены данные по диапазону угловых радиусов (закругления вершин) тороидальных пластин семейства **BALLPLUS**.

Таблица 52. Тороидальные пластины **BALLPLUS**

Угловой радиус R, мм	Диаметр пластины D, мм			
	12	16	20	25
1				
1.5				
2				
3				
4				
5				
6				

Начальные параметры режима резания

В большинстве случаев начальные параметры режима резания для фрез **BALLPLUS** с тороидальной пластиной определяются так же, как и для фрез **МУЛЬТИ-МАСТЕР** с тороидальными головками. Руководствуясь теми же принципами, решаются вопросы о введении поправок, вызванных уменьшением толщины стружки, и какой диаметр: эффективный или номинальный, должен быть использован в вычислениях.

В таблице 53 содержатся значения базовой начальной подачи на зуб f_{z0} , по которым с помощью уравнений (8) и (13) находят программируемую начальную подачу f_z . Коэффициенты уменьшения толщины стружки представлены в таблице 54.

При черновом и получистовом фрезеровании плоских поверхностей тороидальными фрезами **BALLPLUS** диаметром D ширина резания обычно равна $(0.6...0.7) \times D$, а глубина резания - $(0.08...0.15) \times D$ (разумеется, в любом случае глубина не должна превышать величину углового радиуса пластины). Работой в таких условиях достигается высокая производительность обработки в сочетании с хорошей стойкостью пластины.

При чистовом фрезеровании припуск, как правило, не превышает $0.12 \times D$ для сталей средней твёрдости, $0.08 \times D$ - для сталей твёрдостью HRC 45...49 (группа материалов 38.1), $0.06 \times D$ - для сталей твёрдостью HRC 50...55 (группа 38.2) и $0.05 \times D$ - при твёрдости стали HRC 56...63 (группа 39).

Таблица 53. Фрезы BALLPLUS с тороидальной пластиной:
базовая начальная подача f_{zo} , мм/зуб

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	f_{zo} для D, мм			
		12	16	20	25
P	1-4	0.18	0.19	0.21	0.23
	5	0.16	0.17	0.19	0.21
	6, 7	0.14	0.15	0.16	0.18
	8, 9	0.13	0.14	0.15	0.16
	10	0.11	0.12	0.13	0.14
	11	0.1	0.11	0.12	0.13
M	12, 13	0.11	0.12	0.13	0.14
K	15-16	0.18	0.19	0.21	0.23
	17-18	0.16	0.17	0.19	0.21
H	38.1	0.07	0.07	0.08	0.1
	38.2	0.06	0.06	0.07	0.08
	39	0.04	0.04	0.05	0.06

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

Так же, как и для уже рассмотренных тороидальных головок типа **МУЛЬТИ-МАСТЕР**, в таблице 51 собраны усреднённые данные для оценки начальной скорости резания V_c . Аналогичным же образом их следует уменьшать на 20-30%, если жёсткость системы СПИД недостаточная.

Таблица 54. Коэффициент уменьшения толщины стружки КТН для тороидальных пластин диаметром D мм, и радиусом закругления вершины зуба R, мм, к фрезам BALLPLUS

ap/D	D=12			D=16		D=20			D=25				
	ap	R3	R4	ap	R3	ap	R3	R4	ap	R3	R4	R5	R6
0.01	0.12	3.2	3.6	0.16	2.8	0.2	2.4	2.9	0.25	2.2	2.6	2.9	3.1
0.02	0.24	2.2	2.2	0.32	2	0.4	1.8	2.1	0.5	1.6	1.9	2.1	2.2
0.05	0.6	1.4	1.7	0.8	1.3	1	1.2	1.3	1.25	1.1	1.2	1.3	1.5
0.1	1.2	1	1.3	1.6	1	2	1	1	2.5	1	1	1	1.1
0.15	1.8	1	1.1	2.4	1	3	1	1	3.75	1	1	1	1
0.2	2.4	1	1.1	3.2	—	4	—	1	5	—	1	1	1

Пример

На предприятии по изготовлению штампов и форм собираются применить концевую фрезу HSE D25-A-L170-C25 с установленной в ней пластиной HTR D250-R5.0-QF IC908 для черновой обработки полости профилирующего вкладыша формы, производимой из нержавеющей стали мартенситного класса 30X13. Планируемые глубина и ширина резания составляют соответственно 2.5 и 17 мм. Фрезерный станок, отведенный для проведения операции, находится в хорошем состоянии, заготовка жёстко закрепляется в зажимном приспособлении, установленном на столе станка. Определить программируемые начальные значения частоты вращения шпинделя и подачи.

Базовая начальная подача для групп материалов ИСКАР No. 12-13 (ферритные и мартенситные нержавеющие стали) по стандарту VDI 3323 равна 0.14 мм/зуб (таблица 53), коэффициент уменьшения толщины стружки КТН для пластины диаметром 25 мм с угловыми радиусами 5 мм для глубины резания 2.5 мм - 1 (таблица 54).

В результате начальная подача будет 0.14 мм/зуб.

Таблица 51 рекомендует начальную скорость резания 120 м/мин.

Эффективный диаметр $D_e = 25 - 2 \times 5 + 2 \times \sqrt{(2 \times 2.5 \times 5 - 2.5^2)} = 23.7$ (мм), что составляет примерно 95%

номинального диаметра пластины. $1000 \times 120 / (\pi \times 25) = 1528$ (об/мин). Значит, программируемая скорость подачи получается $0.14 \times 2 \times 1528 = 427.8$ (мм/мин)

Рис. 20

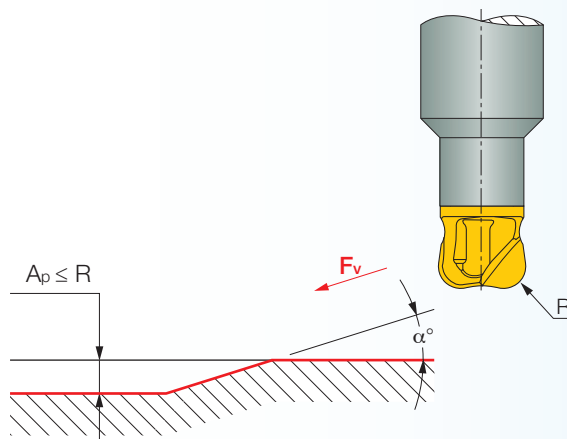
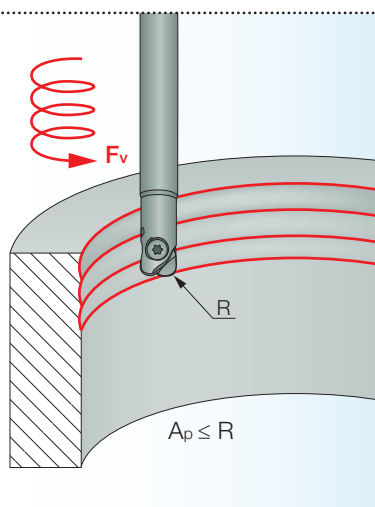


Рис. 21



Тороидальная фреза и врезание под углом

Тороидальные фрезы пригодны для обработки с врезанием под углом, будь то фрезерование наклонной плоскости или винтовая интерполяция. Планируя выполнение операций, следует учесть, что для каждого из отмеченных методов глубина резания не должна быть больше величины углового радиуса (закругления вершины зуба) головки, пластины или цельной фрезы (рис. 20, 21). Понятно, что подобное ограничение относится и для круговой интерполяции - частного случая винтовой.

Подводя итоги раздела, посвящённого тороидальным фрезам, необходимо отметить следующее:

- Тороидальные фрезы применяются для обработки плоских и фасонных поверхностей.
- Тороидальные фрезы демонстрируют хорошие эксплуатационные показатели в операциях торцевого фрезерования, винтовой и круговой интерполяции, осевого врезания. С определёнными ограничениями их можно использовать для наклонного врезания и пошагового сверления с периодическим выводом инструмента.
- Вследствие эффекта уменьшения толщины стружки, определяемого формой режущего профиля, тороидальные фрезы позволяют значительно повысить скорость подачи, что ведёт к заметному сокращению основного времени.
- У тороидальной фрезы нет точки, в которой скорость резания равна нулю, как в случае сферической фрезы, например. Данная черта является ощутимым преимуществом, обеспечивая гладкое торцевое фрезерование с большой шириной резания.
- Эксплуатационная гибкость и впечатляющие резервы повышения производительности определяют исключительную распространённость тороидальных фрез в различных операциях черного, получистового и чистового фрезерования при изготовлении штампов и пресс-форм, особенно при обработке полостей и плоских поверхностей.

Неожиданное резкое возрастание припуска

Одно из самых востребованных приложений тороидальных фрез - обработка полостей спиральной интерполяцией. Часто полость уже предварительно подготовлена по форме, например, литьём или предшествующей операцией чернового резания. В таком случае основание полости соединяется с боковыми стенками закруглением по радиусу, при фрезеровании которого наблюдается увеличение припуска, иногда резкое и значительное, и оно может оказаться проблематичным и даже роковым для инструмента. Несмотря на впечатляющие возможности саморегулирования современных станков с ЧПУ, оснащённых системами адаптивного контроля, необходимо всегда брать в расчёт отмеченное возрастание припуска и тщательно проверять форму обрабатываемой поверхности и параметры режима резания. Кстати, с подобной ситуацией можно столкнуться и при фрезеровании наружных поверхностей (к примеру, пуансона, рис. 23).

Рис. 22

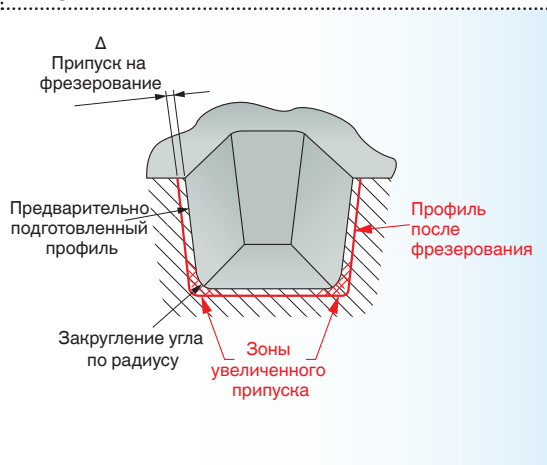
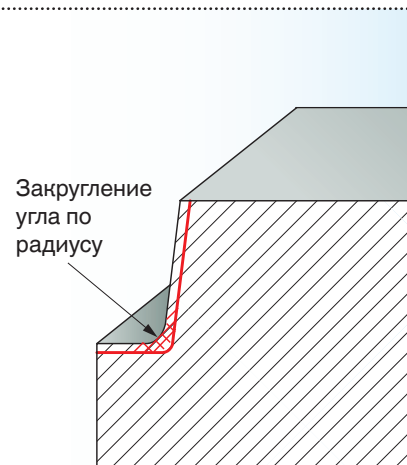


Рис. 23



3.2. Инструмент для производительного чернового фрезерования с высокой подачей на зуб

Роль угла фрезы в плане и явление уменьшения толщины стружки, рассмотренные в предыдущем разделе, служат хорошим введением к основному принципу фрезерования с высокой подачей на зуб. Как уже было показано, сочетание небольшой глубины резания с определённой геометрией инструмента создаёт возможность значительного увеличения подачи на зуб. Говоря о действующих нагрузках, такое сочетание уменьшает радиальную составляющую силы резания и увеличивает её осевой компонент. Соответственно, результирующее усилие, действующее на фрезу в плоскости резания, направлено, главным образом, вдоль оси шпинделя станка, что снижает вибрации и повышает устойчивость обработки.

Сказанное выше наводит на мысль, что тороидальный режущий профиль и является нужным решением для фрезерования с высокой подачей на зуб. Но это не совсем так, и применение тороидальных фрез здесь сталкивается с несколькими ограничениями. Во-первых, незначительный рост малой глубины резания в состоянии вызвать заметное изменение угла в плане, особенно для фрез с круглыми СМП небольшого диаметра и для тороидальных сменных головок, цельных фрез или фрез с одной пластиной, угловой радиус которых невелик (рис. 24). Далее, рез зуба достаточно узок ($W1$ и $W2$ на рис. 24). Однако, если придать режущей кромке форму дугу большего радиуса (рис. 25), можно преодолеть отмеченные ограничения.

Рис. 24

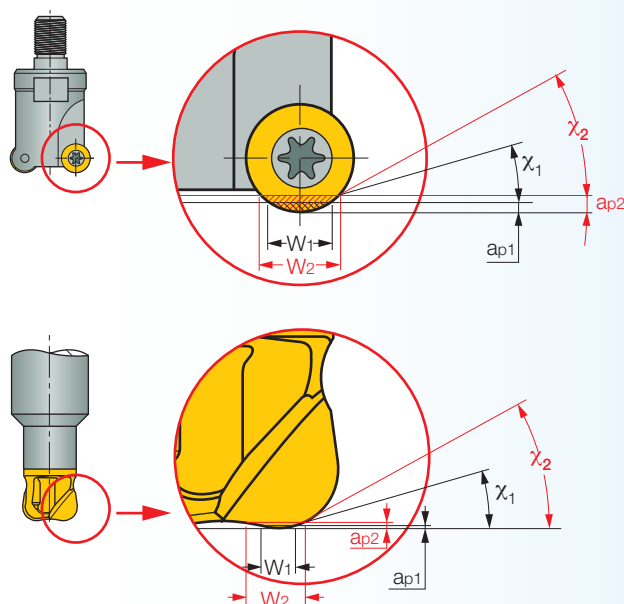
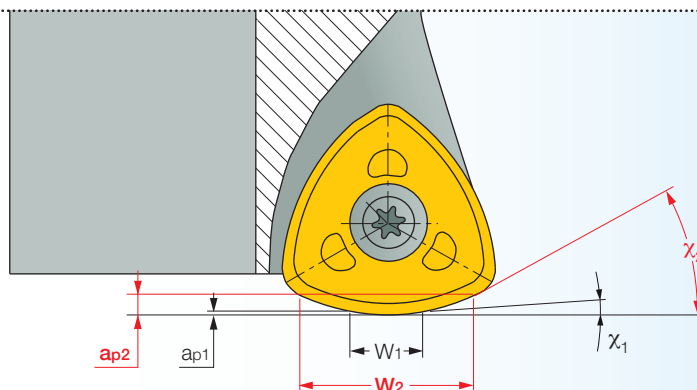


Рис. 25



Ещё совсем недавно ставший классическим подход к черновому фрезерованию предписывал использование инструмента максимально допустимых размеров и, соответственно, требовал мощных металлорежущих станков. Современная техника фрезерования с высокой подачей на зуб способна привести к тем же результатам, но с меньшими инструментами и сокращением расхода мощности резания. Неудивительно, что у многих современных фрезерных станков внутренний конус типичного шпинделя снизился до типоразмера 40, вполне достаточного для надёжного закрепления инструмента и обеспечения хороших рабочих показателей при черновой обработке с высокой подачей на зуб.

Фрезерование с высокой подачей на зуб часто рассматривают лишь в контексте черновых операций, однако не следует забывать, что с его помощью можно заметно сократить полное время обработки. Во-первых, такая техника приводит к интенсивному съёму металла благодаря крайне высокой скорости подачи. Во-вторых, главный компонент силы резания действует, в основном, вдоль оси шпинделя. В результате резко уменьшается уровень вибраций и обеспечивается устойчивое производительное черновое резание с высоким вылетом фрезы - важнейшее качество при обработке полостей штампов и форм, пуансонов, пробойников, выталкивателей и т.п. Наконец в третьих, малая глубина резания позволяет подготовить контур, близкий к окончательному, и тем самым сократить и даже исключить

получистовое фрезерование. Отмеченные свойства делают фрезерование с высокой подачей на зуб значимым фактором экономии времени обработки и повышения производительности.

Фрезерование с высокой подачей на зуб особенно эффективно при обработке крупногабаритных полостей, карманов и углублений методом винтовой (спиральной) интерполяции. Такую технику успешно применяют для быстрого формирования отверстия большого диаметра в сплошном материале или расширения предварительно подготовленного отверстия, а в случае глухого отверстия его основание получится уже плоским. Одна и та же фреза пригодна для фрезерования отверстий разного диаметра. Кроме того, зона контакта фрезы для работы с высокой подачей с боковой стенкой полости намного меньше, чем у тороидальной фрезы. В случае последней даже при малой глубине резания зона контакта значительно возрастает уже после нескольких проходов (рис. 26), что вызывает вибрации и неустойчивый режим работы.

Однако, привод станка, используемого для фрезерования с высокой подачи, должен обеспечивать необходимую скорость подачи и требует соответствующее устройство ЧПУ. Частые ускорения и замедления рабочих перемещений в комбинации с быстрым изменением их траектории создают дополнительные динамические нагрузки на движущиеся части станка, такие как направляющие, ходовые винты, подшипники и т.д., вызывая их более интенсивный износ. Поэтому сегодняшнее станкостроение учитывает отмеченные особенности при конструировании станков, предназначенных именно для фрезерования с высокой подачей в прессоштамповом производстве.

Рис. 26: первый проход

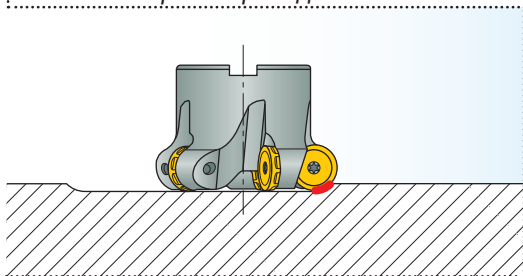


Рис. 26: второй проход

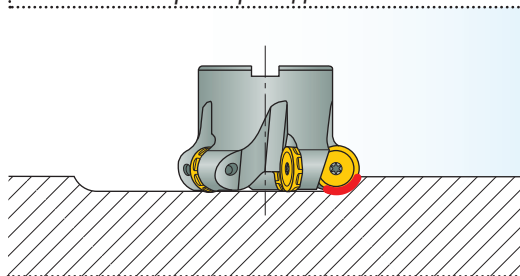


Рис. 26: третий проход

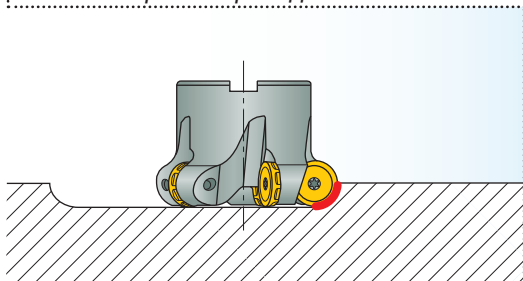
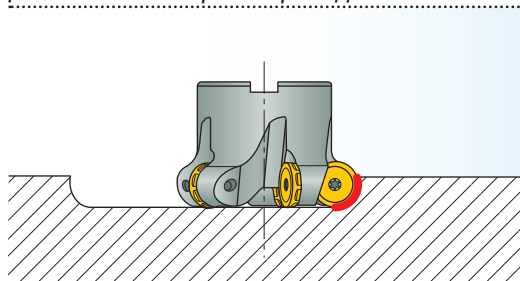


Рис. 26: четвёртый проход



Фрезерование с высокой подачей и “обычные” станки с ЧПУ

А можно ли применять технику фрезерования с высокой подачей на “обычных” станках с ЧПУ с частотой вращения шпинделя 6000-7000 об/мин? Такие станки по-прежнему привычны для прессоштампового производства. Ответом на поставленный вопрос в большинстве случаев будет: “Да, можно”. Действительно, привод подачи станков обеспечивает, как правило, требуемую скорость подачи, а отмеченные значения частоты вращения шпинделя достаточны для резания основных материалов штампов и пресс-форм. При фрезеровании с высокой подачей ключевым фактором производительной обработки служит соединение воедино увеличенной подачи на зуб, нормальной скорости и малой глубины резания.

Вначале для фрезерования с высокой подачей применяли инструменты достаточно большого диаметра со сменными пластинами трёх- или четырёхгранной формы (рис. 27). Режущая кромка таких СМП обычно представляла дугу или две хорды дуги (профили 1 и 2 на рис. 28). Развитие многокоординатных заточных станков с ЧПУ позволило создавать сложные режущие геометрии в различных инструментах, в том числе и малых размеров. В результате форма пластин к фрезам для работы с высокой подачей стала более совершенной, а кроме того, появилась возможность пополнить фрезами данного вида, но уже с меньшими диаметрами линии цельного инструмента и сменных режущих головок. Такое “второе рождение” высокопроизводительного инструмента оказалось очень важным для прессштампового производства и разрешило приложение техники чернового фрезерования с высокой подачей на зуб к обработке не только плоскостей и крупногабаритных профилей, но и к сложным фасонным поверхностям средних и малых размеров.

Линия фрез ИСКАР для резания с высокой подачей на зуб представлена семействами фрез с СМП, цельными твёрдосплавными, а также сменными головками **МУЛЬТИ-МАСТЕР** (для закрепления в хвостовиках).

Рис. 27

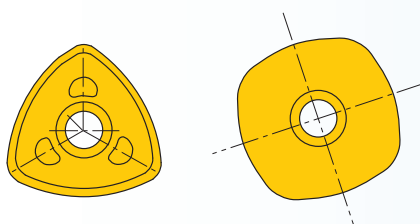


Рис. 28

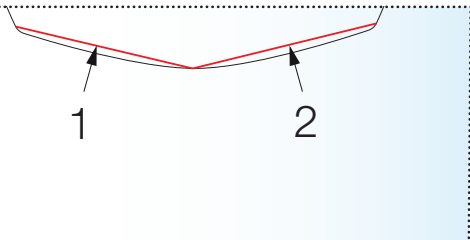


Рис. 29

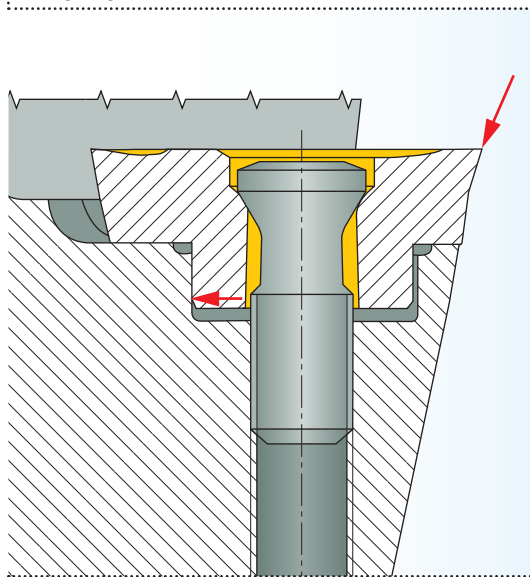


Рис. 30



3.2.1. Фрезы с СМП для резания с высокой подачей на зуб

Первые фрезы с односторонней СМП треугольной формы, предназначенные для резания с высокой подачей, появились в рамках семейства **FEEDMILL**. Основание пластин имеет цилиндрический выступ, который входит в соответствующее углубление гнезда при установке пластины в корпусе фрезы, обеспечивая надёжное крепление пластины и заметно облегчая нагружение зажимного винта силой резания (рис. 29).

Дальнейшие поиски более совершенных решений привели к соединению высокой прочности фрез **HELIDO** с рабочей геометрией **FEEDMILL** в семействе **HELIDO UPFEED** с треугольной, но уже двухсторонней сменной пластиной с 6 режущими кромками (рис. 30). Боковые стенки гнезда фрез наклонены к основанию, образуя в сечении профиль “ласточки хвоста”, что определяет жёсткое закрепление пластины в корпусе. Режущая кромка пластины включает в себя главную кромку (наружную) и вспомогательную (внутреннюю). Такая компоновка заметно повышает показатели работы фрезы, особенно при врезании под углом, когда вспомогательная кромка играет решающую роль (рис. 31). Для улучшения стружкообразования передняя поверхность пластины в районе главной режущей кромки выпуклая, а у вспомогательной кромки - вогнутая.

Благодаря отмеченным конструктивным особенностям семейство **HELIDO UPFEED** очень эффективно в черновой обработке с большой скоростью подачи и высоким темпом снятия металла. Угол в плане у фрез семейства составляет 17°, а сами фрезы выпускаются в следующих исполнениях: насадные, с хвостовиком и режущие головки с СМП для различных систем модулярного инструмента.

Таблица 55. Основные семейства фрез для резания с высокой подачей на зуб

Семейство	Тип	Исполнение фрез	Диапазон диаметров, мм	Число реж. кромок СМП	Обозначение фрезы (хвостовика)	Обозначение СМП (головки)
HELIDO UPFEED	С СМП	Насадные	40-125	6	FF FWX...	H600 WXC...
		С хвостовиком	16-40		FF EWX...	
		Головки FLEXFIT	20-40		FF EWX...M...	
		Головки MULTI-MASTER	16-20		FF EWX...MMT...	
FEEDMILL	С СМП	Насадные	40-125	3	FF FW...	FF WO...
		С хвостовиком	25-40		FF EW...	
		С хвост. CLICKFIT	25-40		FF EW...CF...	
		Головки FLEXFIT	25-40		FF EW...M...	
16FEEDMILL	С СМП	Насадные	80	16	FF NM...	ONMU...
FEEDMILL	Монолит.	Цельные концевые	6-20	4*	EFF S4...	
MULTI-MASTER	Монолит. головки	Сборные: хвостовики с головками	10-25	2*	MM...	MM FF...
			8-25	4*		MM EFF...

* Число зубьев для монолитных фрез и головок **MULTI-MASTER**.

Пластины **HELIDO UPFEED** выпускаются в двух вариантах режущей геометрии: Т, предназначенный для фрезерования стали и чугуна, и НР, спроектированный, в основном, для обработки нержавеющей аустенитной стали и жаропрочных сплавов. На передней поверхности пластин с Т-геометрией имеются характерные риски (латинская буква “I”) для визуального распознавания (рис. 30).

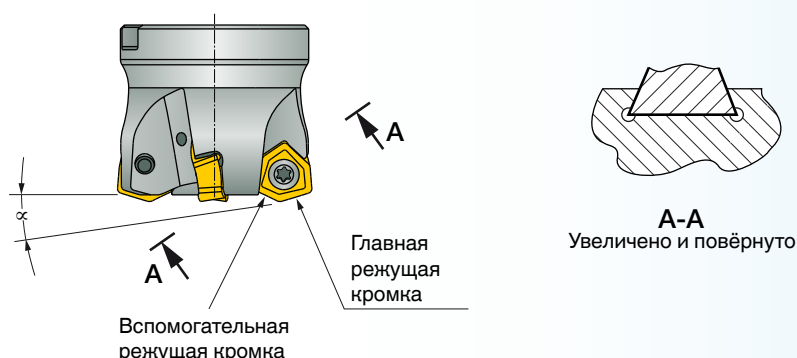
В производстве штампов и пресс-форм доминирует обработка стали, что определяет большую распространённость пластин с Т-геометрией в отрасли. Тем не менее, пластины вида НР также нашли здесь своё применение при фрезеровании соответствующих материалов.

Работать скорее

Буквы “FF” в наименовании фрез, пластин и головок для резвния с высокой подачей на зуб производства ИСКАР означают: “Fast Feed” - “быстрая подача”.

Работать скорее на быстрой подаче для высокопроизводительного чернового фрезерования!

Рис. 31



Начальные параметры режима резания

а) Глубина резания A_p

В таблице 56 представлены диапазоны глубин резания для фрез **HELIDO UPFEED** с пластинами H600 WXC...T в зависимости от размера пластины.

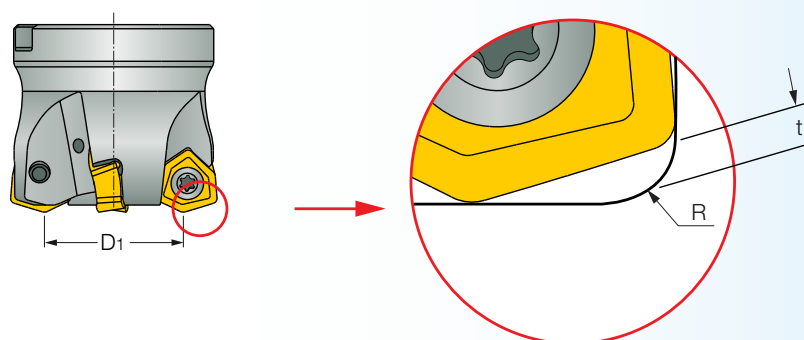
Таблица 56. Глубина резания A_p для фрез FF... с пластинами H600 WXC...T

Размер пластины	Обозначение пластины	A_p , мм	
		min.	max.
04	H600 WXC...T	0.2	0.8
05	H600 WXC...T	0.25	1
08	H600 WXC...T	0.4	2

Радиус для программирования

При подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ фрезы для резания с высокой подачей на зуб часто заменяют на 90°-е фрезы с зубом, закруглённым по радиусу. Этот радиус (R на рис. 32), называемый радиусом для программирования, является важным параметром и указывается в каталогах и технических руководствах. Он определяет максимальную толщину выступа (t на том же рис.), который образуется как результат замены реального профиля..

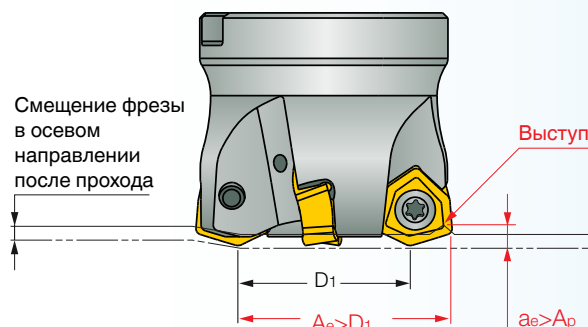
Рис. 32



б) Ширина резания A_e

Во избежание избыточного нагружения зуба настоятельно рекомендуется назначать ширину резания не более, чем величина диаметра D_1 . В противном же случае происходит чрезмерное увеличение припуска в выступах, образующихся при углублении в обрабатываемый материал после каждого прохода (рис. 33).

Рис. 33



с) Начальная подача на зуб f_z

Как правило, при фрезеровании большинства материалов для изготовления штампов и пресс-форм подача лежит в пределах, указанных в таблице 57.

Данных таблиц достаточно для быстрого определения подачи на зуб, и они приводят к приемлемым результатам. Для более точного назначения можно воспользоваться таблицей 58. В случае нежёсткого закрепления заготовки, большого вылета инструмента, фрезерования вблизи тонких стен и других проявлений неустойчивой системы СПИД табличные значения следует уменьшить на 30%.

Таблица 57. Диапазоны часто встречающихся подач для фрез FF... с пластинами H600 WXC...T

Размер пластины	Обозначение пластины	Подача F_z , мм/зуб
04	H600 WXC 04...T	0.4...1
05	H600 WXC 05...T	0.5...1.5
08	H600 WXC 08...T	0.6...2

Таблица 58. Усреднённые значения начальной подачи f_{z0} для фрез FF... с пластинами H600 WXC...T

Группа по ISO DIN/ISO 513	Материал заготовки		Подача f_{z0} , мм/зуб, для фрез FF с пластинами**		
	Тип	Группа материала	H600 WXC 04	H600 WXC 05	H600 WXC 08
P	Углеродистая сталь	1-4	1	1.3	1.7
		5	1	1.3	1.6
	Легированная и инструментальная сталь	6, 7	1	1.2	1.5
		8, 9	0.9	1.2	1.4
		10	0.8	1.1	1.3
M	Нерж. мартенсит. сталь	12, 13	0.9	1.2	1.4
K	Серый чугун	15-16	1	1.3	1.6
	Высокопрочный чугун	17-18	0.8	1.1	1.3
H	Закалённая сталь	38.1	0.4	0.5	0.6
		38.2	0.3	0.3	0.4

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

** При недостаточной жёсткости системы СПИД следует уменьшить табличные значения на 30%.

Частный случай: угловое врезание в сплошной материал

При черновом фрезеровании (в т.ч. и с высокой подачей на зуб) полостей и карманов в сплошном материале инструмент вначале врезается в материал под углом, а затем продолжает обработку поверхности по методу винтовой (спиральной) интерполяции. Определяя параметры режима резания, следует учесть, что при врезании в материал необходимо снизить подачу, поэтому значения в таблице 58 для этапа врезания требуется убавить на 30-40%. Кроме того, рекомендуется уменьшить на 20% и максимальную глубину резания, приведенную в таблице 57.

д) Начальная скорость резания, V_c

В таблице 59 собраны усреднённые значения начальной скорости резания V_c с отношением к марке твёрдого сплава пластины. В случае недостаточно жёсткой системы СПИД (большой вылет фрезы, проблемы с закреплением заготовки и т.п.) табличные величины должны быть уменьшены на 20-30%.

Таблица 59. Фрезы FF... с пластинами H600 WXC...T: начальная скорость резания V_c

Группа по ISO DIN/ISO 513	Материал заготовки		V_c , м/мин, для марок тв. сплава			
	Тип	Группа*	IC808	IC810	IC830	IC330
P	Углеродистая сталь	1-4	150	150	150	135
		5	150	140	135	125
	Легированная и инструментальная сталь	6, 7	150	135	125	120
		8, 9	150	130	120	115
		10	130	125	115	110
		11	120	120	115	100
M	Нерж. мартенсит. сталь	12, 13	120		120	120
K	Серый чугун	15-16	200	220	220	
	Высокопрочный чугун	17-18	180	200	200	
N	Закалённая сталь	38.1	80	70		
		38.2	60	50		

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323.

■ – Рекомендуемая марка сплава.

Глубина резания: стремись к максимуму!

Угол фрезы FF... с СМП H600... в плане практически постоянен вдоль основной режущей кромки пластины, установленной в гнезде. По этой причине при прочих равных условиях уменьшение глубины резания не влечёт за собой эффекта сокращения стружки по толщине и не приводит к увеличению подачи, позволяя фрезеровать быстрее. Если ваш станок обладает достаточной мощностью главного привода, и заготовка надёжно закреплена на столе станка, смело работайте с максимально допустимой глубиной резания - вознаграждением будут сокращение основного времени и рост производительности обработки.

Пример

Работая над снижением оперативного времени при изготовлении детали ковочного штампа, технолог инструментального цеха решил использовать фрезу **FF FWX D080-06-32-08** с пластинами **H600 WXC 080612T IC830** для чернового фрезерования плоской поверхности крупногабаритной заготовки. Материал заготовки - легированная штамповая сталь X12BMF твёрдостью HB 190...210. Для выполнения операции используется мощный станок с приспособлением, обеспечивающим жёсткое закрепление заготовки. Обработка проводится с малым вылетом фрезы.

Предполагая, что станок отвечает расчётным требованиям операции по потребляемой мощности резания, следует вести обработку с максимально допустимой глубиной фрезерования (см. заметку “Глубина резания: стремись к максимуму!”) 2 мм согласно таблице 56.

Материал заготовки относится к группе материалов ИСКАР No. 10 по стандарту VDI 3323. Соответственно, начальная подача $f_z=1.3$ мм/зуб (таблица 58) и начальная скорость резания $V_c=115$ м/мин (таблица 59).

Ширина фрезерования $A_e=62$ мм - см. пункт б) Ширина резания A_e и данные каталога для выбранной фрезы ($D1=64$ мм).

Частота вращения шпинделя $N=1000 \times 115 / (\pi \times 80) = 458$ (об/мин).

Скорость подачи $V_f=1.3 \times 6 \times 458 = 3572$ (мм/мин).

Скорость (интенсивность) съёма материала $Q \approx 1.3 \times 62 \times 3572 = 287.9$ (см³/мин).

Частный случай: фрезерование паза в сплошном материале

При фрезеровании с высокой подачей на зуб паза в сплошном материале начальные значения подачи и скорости резания, приведенные в таблицах 58 и 59, необходимо уменьшить на 30%.

3.2.2. Сменные фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР и цельные твёрдосплавные концевые фрезы для обработки с высокой подачей на зуб

Головки **МУЛЬТИ-МАСТЕР** для резания с высокой подачей представлены двумя группами: двухзубые MM FF... “экономичного” исполнения и многозубые MM EFF... Последние по своей режущей геометрии повторяют цельные твёрдосплавные фрезы семейства **FEEDMILL**. В таблицах 60 и 61 приведены общие данные, характеризующие головки и цельные фрезы.

Таблица 60. Число зубьев Z и максимальная глубина резания Артах для головок **МУЛЬТИ-МАСТЕР** и цельных твёрдосплавных фрез, предназначенных для фрезерования с высокой подачей

Тип	Обозначение	Число зубьев Z	Артах, мм, для номин. diam. D, мм						
			6	8	10	12	16	20	25
МУЛЬТИ-МАСТЕР	MM FF...	2			0.6	1	1.1	1.5	
МУЛЬТИ-МАСТЕР	MM EFF...	4		0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2
Цельные фрезы	EFF...	4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	

Эксплуатационная гибкость режущего инструмента (2) и ... сменная пластина

Компания ИСКАР предлагает потребителю сменные пластины, которые при закреплении во фрезах широкого применения стандартной поставки превращают их в инструменты для фрезерования с высокой подачей на зуб. Пластины OFMW...FF, предназначенные для семейства фрез **HELIOCTO**, и пластины ADKT...FF, ADCT...FF и APKT...FF, спроектированные для фрез семейства **HELIMILL**, расширяют область применения данных инструментов и позволяют их использование в высокопроизводительном черновом резании.

Торцевая фреза FF NM D080-06-27-R08 с номинальным диаметром 80 мм использует “рядовые” 8-гранные пластины ONMU 0806..., расположенные так, чтобы создать режущую геометрию, необходимую для обработки с высокой подачей. Работая такой фрезой, можно увеличить скорость съёма материала в 1.5-2 раза по сравнению с обычной торцевой фрезой диаметром 80 мм с указанными СМП. А если учесть, что у пластины 16 режущих кромок, то налицо выигрышное экономичное решение для высокопродуктивного чернового фрезерования плоских поверхностей больших размеров!

В каталогах и информационных выпусках ИСКАР можно найти более полную информацию о результативных решениях, основанных на принципе широкой функциональности (гибкости), когда правильно выбранная комбинация фрез и соответствующих пластин приводит к новому положительному эффекту.

Таблица 61 Максимальная ширина резания Аемах* для головок МУЛЬТИ-МАСТЕР и цельных твёрдосплавных фрез, предназначенных для фрезерования с высокой подачей

Тип	Аемах, мм, для номин. диам. D, мм						
	6	8	10	12	16	20	25
Головки MM FF...			7.7	9.1	13.6	17.5	
Головки MM EFF... и фрезы EFF...	4.5	6.1	7.7	9.1	12.5	15.5	19.5

* При фрезеровании с глубиной резания Армах в соответствии с таблицей 60

Таблицы 62-64 служат для более точной оценки глубины и ширины резания в зависимости от обрабатываемого материала. Усреднённые значения, приведенные в таблицах, дают хорошие результаты при определении стартовых параметров режима резания.

Таблица 62 Фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР MM FF...: средние значения глубины резания Ар, мм

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*1	Соотношение	Ар для номин. диам. D, мм			
			10	12	16	20
P	1-9	~0.06 D	0.6	0.7	1	1.2
	10-11	0.05 D	0.5	0.6	0.8	1
M	12, 13	0.05 D	0.5	0.8	0.8	1
K	15-18	Армах	0.6	1	1.1	1.4
H	38.1*2	~0.045 D	0.4	0.5	0.7	0.9
	38.2*3	~0.03 D	0.3	0.4	0.5	0.6
	39*4	~0.02 D	0.2	0.25	0.3	0.4

*1 Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

*2 HRC 45-49

*3 HRC 50-55

*4 HRC 56-63

Таблица 63 Цельные твёрдосплавные фрезы и головки МУЛЬТИ-МАСТЕР MM EFF...: средние значения глубины резания Ар, мм

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*1	Соотношение	Ар для номин. диам. D, мм						
			6	8	10	12	16	20	25
P	1-9	~0.045 D	0.3	0.35	0.45	0.55	0.75	0.9	1.1
	10-11	~0.04 D	0.25	0.3	0.4	0.5	0.65	0.8	1
M	12, 13	~0.04 D	0.25	0.3	0.4	0.5	0.65	0.8	1
K	15-18	Армах	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.2
H	38.1*2	~0.035 D	0.2	0.25	0.35	0.45	0.6	0.7	0.9
	38.2*3	~0.03 D	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.75
	39*4	~0.02 D	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5

*1 Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

*2 HRC 45-49

*3 HRC 50-55

*4 HRC 56-63

Частный случай: фрезерование паза в сплошном материале

Говоря о фрезеровании с высокой подачей паза в сплошном материале цельными твёрдосплавными фрезами и головками **МУЛЬТИ-МАСТЕР**, следует взять в расчёт определённые ограничения, как и в рассмотренном ранее аналогичном случае с фрезами **HELIDO UPFEED**:

- Уменьшить подачу на 30% при недостаточно жёсткой системе СПИД.
- Снизить подачу на 30-40% и максимально допускаемую глубину резания на 20% при угловом врезании в материал.
- Уменьшить подачу и скорость резания на 30% при фрезеровании паза в сплошном материале.

Таблица 64 Фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР MM FF... / MM EFF... и цельные твёрдосплавные фрезы EFF...: средние значения ширины резания A_e , мм

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*2	Соотношение	A _e для номин. диам. D, мм						
			6	8	10	12	16	20	25
P	1-9	~0.7 D	4	5.5	7	8.5	11.5	14	17.5
	10-11	~0.6 D	3.5	4.5	6	7	9.5	12	15
M	12, 13	~0.6 D	3.5	4.5	6	7	9.5	12	15
K	15-18	~0.7 D	4	5.5	7	8.5	11.5	14	17.5
H	38.1*3	~0.45 D	2.5	3.5	4.5	5.5	7	9	11
	38.2*4	~0.3 D	2	2.5	3	3.5	4.5	6	7.5
	39*5	~0.25 D	1.5	2	2.5	3	4	5	6

*1 При фрезеровании с глубиной резания A_p , указанной в таблице 63

*2 Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

*3 HRC 45-49

*4 HRC 50-55

*5 HRC 56-63

Таблица 65 Фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР MM FF... / MM EFF... и цельные твёрдосплавные фрезы EFF...: начальная скорость резания V_c , м/мин

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	V_c , м/мин
P	1	180
	2-4	160
	5-6	150
	7-9	140
	10	130
	11	120
M	12, 13	120
K	15-16	180
	17-18	160
H	38.1	100
	38.2	80
	39**	60

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

Таблица 66. Фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР ММ FF...: начальная подача на зуб, f_{z0} , мм/зуб

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала ¹	Соотношение	А _р для номин. диам. D, мм			
			10	12	16	20
P	1-9	~0.06 D	0.6	0.7	1	1.2
	10-11	0.05 D	0.5	0.6	0.8	1
M	12, 13	0.05 D	0.5	0.8	0.8	1
K	15-18	~A _{pmax}	0.6	1	1.1	1.4
H	38.1 ²	~0.045 D	0.4	0.5	0.7	0.9
	38.2 ³	~0.03 D	0.3	0.4	0.5	0.6
	39 ⁴	~0.02 D	0.2	0.25	0.3	0.4

*1 Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

*2 HRC 45-49

*3 HRC 50-55

*4 HRC 56-63

В таблицах 65-67 приведены рекомендуемые начальные значения скорости резания и подачи на зуб.

Пример

Для производства детали из стали 4XC твёрдостью HRC 32...35 в инструментальном цехе собираются применить фрезу EFF-S4-12 045/34C12R2.0M. Система СПИД достаточно жёсткая, чтобы обеспечить необходимую устойчивость фрезерной операции. Определить начальные значения параметров режима резания.

Диаметр фрезы 12 мм, обрабатываемый материал принадлежит к группе материалов ИСКАР No. 6 по стандарту VDI 3323. По таблице 63 находится глубина резания 0.55 мм, а по таблице 64 - ширина резания 8.5 мм.

Начальная скорость резания принимается равной 150 м/мин (таблица 65), начальная подача - 0.48 мм/зуб (таблица 67).

Вычисления:

- Частота вращения шпинделя $1000 \times 150 / (\pi \times 12) = 3980$ (об/мин)
- Скорость подачи $0.48 \times 4 \times 3980 = 7641.6$ (мм/мин)
- Примерная скорость (интенсивность) съёма материала $0.55 \times 8.5 \times 7641.6 / 1000 = 35.7$ (см³/мин)

Таблица 67. Цельные твёрдосплавные фрезы EFF... и фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР ММ EFF...: начальная подача на зуб, f_{z0} , мм/зуб

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала ¹	f_{z0} для номин. диам. D, мм						
		6	8	10	12	16	20	25
P	1-4	0.35	0.48	0.57	0.67	0.75	0.9	1
	5	0.33	0.43	0.5	0.57	0.65	0.75	0.87
	6, 7	0.28	0.33	0.4	0.48	0.57	0.67	0.78
	8, 9	0.25	0.3	0.35	0.43	0.52	0.6	0.7
	10	0.22	0.28	0.33	0.38	0.48	0.57	0.67
	11	0.2	0.25	0.3	0.35	0.43	0.52	0.62
M	12, 13	0.25	0.3	0.35	0.43	0.52	0.6	0.7
K	15-16	0.34	0.45	0.52	0.6	0.7	0.8	0.9
	17-18	0.3	0.38	0.45	0.52	0.6	0.7	0.8
H	38.1 ²	0.16	0.2	0.25	0.33	0.4	0.48	0.55
	38.2 ³	0.12	0.16	0.22	0.3	0.38	0.45	0.52
	39 ⁴	0.1	0.12	0.16	0.16	0.2	0.2	0.25

*1 Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

*2 HRC 45-49

*3 HRC 50-55

*4 HRC 56-63

Глубина резания и проходы строками

При фрезеровании с высокой подачей проходами строками глубина резания и шаг строчечной подачи (т.е. смещения фрезы или стола станка после каждого прохода) являются взаимосвязанными величинами. Так как режущий профиль цельной твёрдосплавной фрезы EFF... или головки ММ FF.../ММ EFF... представляет собой дугу окружности большого диаметра, максимальный шаг строчечной подачи ограничен длиной хорды t , определяемой глубиной резания a_p (рис. 34). Поэтому при резании с максимально допустимой глубиной, указанной в таблицах 60, 62 и 63, не рекомендуется назначать ширину резания больше значений, приведенных в таблицах 61 и 64. В противном случае образуется острый выступ, способный вызвать избыточное нагружение фрезы (головки) при её смещении вглубь для резания следующего слоя металла. Очевидно, что уменьшение шага строчечной подачи влечёт за собой сокращение размеров выступа (рис. 35) и улучшение микрогеометрии обрабатываемой поверхности.

Обычно при черновом фрезеровании с высокой подачей поверхностей (особенно плоских) крупных размеров с припуском не более рекомендуемой глубины резания принято назначать максимально возможную ширину резания для наибольшей производительности. Если же снимаемый припуск разделён на проходы по глубине, определение ширины фрезерования требует более глубокого анализа во избежание перегрузки инструмента на очередном проходе.

Рис. 34

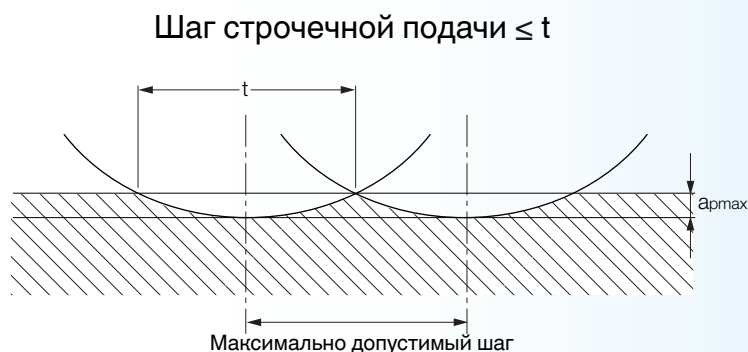
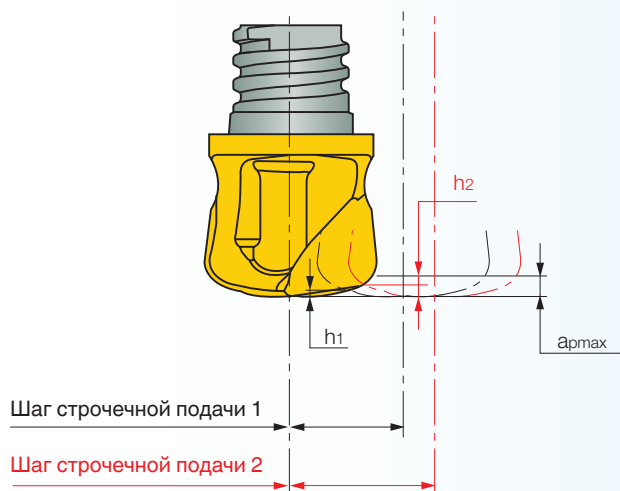


Рис. 35



3.3. Сферические фрезы

Режущая кромка сферической (шаровой) фрезы лежит на поверхности сферы, что и определило название такого вида режущего инструмента. Именно сфера имеет общую нормаль с обрабатываемой поверхностью и обеспечивает теоретически точечный контакт с ней. Поэтому применение сферических фрез позволяет получить без искажения поверхности требуемого профиля в пределах определённых для него допусков формы (рис. 37).

Вращающийся напильник

Иногда сферические фрезы называют борфрезами. Несмотря на то, что такое определение бытует и в профессиональной среде, его нельзя признать правильным. Прежде всего, борфрезы бывают не только сферическими, но также и цилиндрическими, овальными, коническими, параболическими, каплевидными и т.п. Припуск, снимаемый борфрезами, невелик, а требования по точности, предъявляемые к борфрезам, существенно ниже по сравнению со сферическими фрезами. Ведь основная задача борфрез - зачистить или закруглить поверхность или кромку, удалить облой и выполнять многие другие подобные работы. Часто борфрезы (боры, шарошки) используются в различных ручных слесарных машинах с электрическим или пневматическим приводом. Можно сказать, что это своего рода вращающийся напильник, без которого не обходится и прессоштамповое производство, что лишь подтверждает необходимость быть более строгим в определениях.

В производстве штампов и пресс-форм нет недостатка в механической обработке сложных поверхностей, и сферические фрезы идеально подходят для таких операций. Неудивительно, что говоря о специфике режущего инструмента, применяемого для изготовления штампов и форм, чаще всего подразумевают сферические или тороидальные фрезы.

Важной характеристикой сферической фрезы служит угловая величина собственно сферического участка режущей кромки. Обычно она составляет 180° (полусфера, рис. 38), но выпускаются также фрезы со сферической кромкой как больше 180° , так и меньше 180° . Для фрез грушевидной формы (рис. 39) сферическая кромка в большинстве случаев равна 220° - 250° , а для конических фрез с шаровидным концом (рис. 40) она, как правило, исчисляется 80° - 89° . Все указанные виды фрез нашли своё применение в прессоштамповом производстве.

Часто фрезы со сферической режущей кромкой в 180° имеют дополнительно и цилиндрическую кромку - она предназначена для получения менее шероховатой поверхности обрабатываемой стенки, а кроме того, позволяет увеличить пошаговое смещение фрезы в осевом направлении при многопроходном резании (сравни случаи а) и б) на рис. 41).

Рис. 36

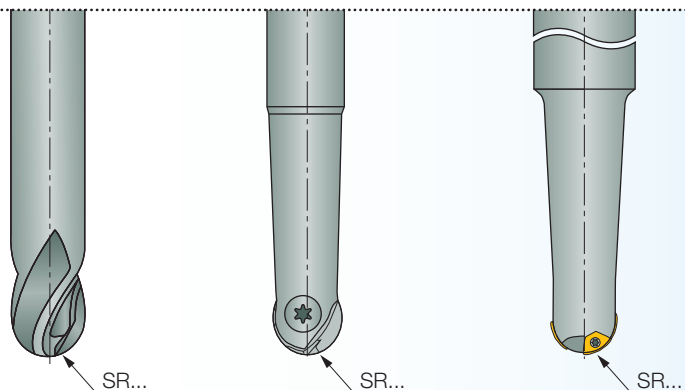


Рис. 37

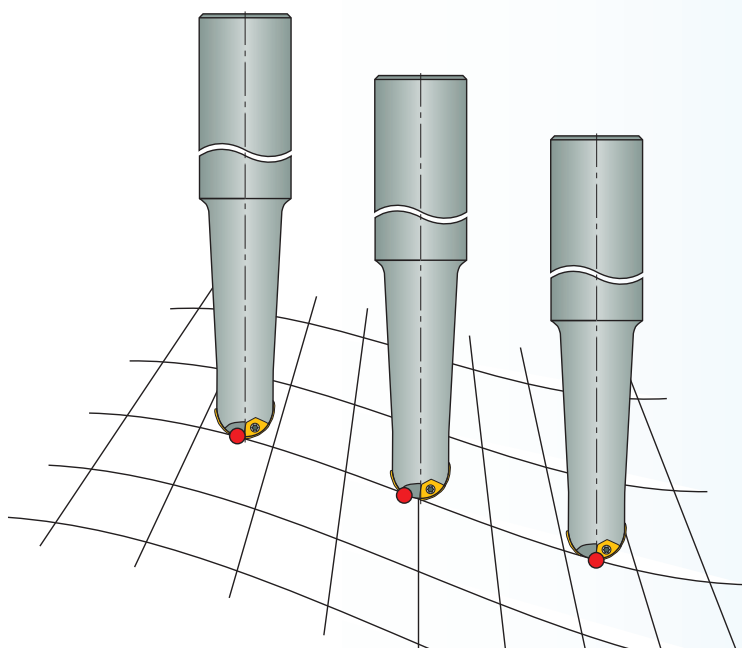
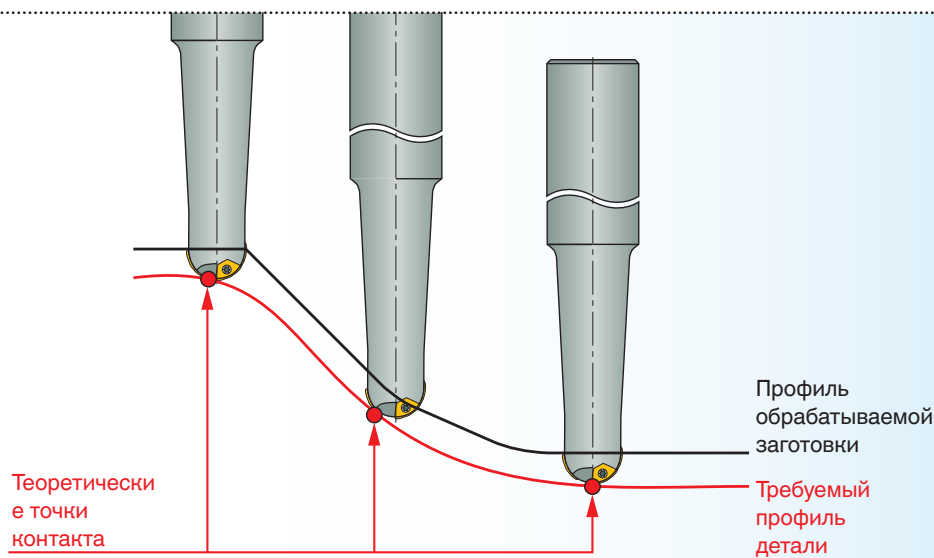


Рис. 38

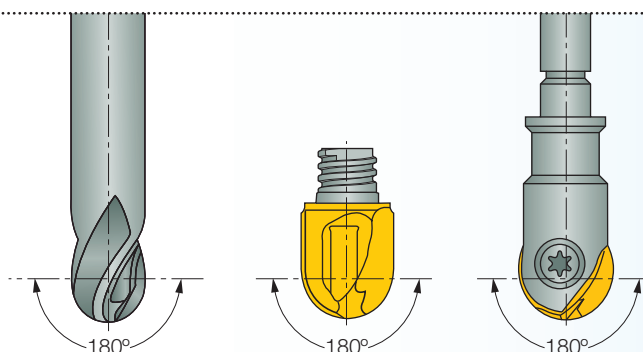


Рис. 39

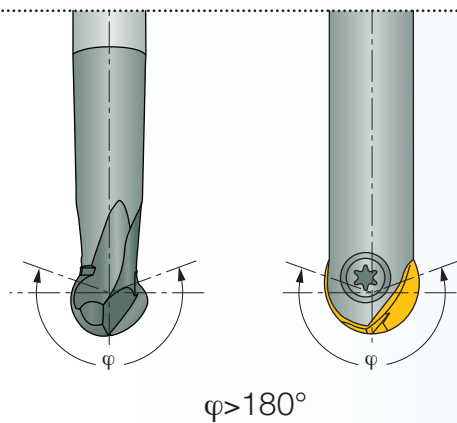


Рис. 40

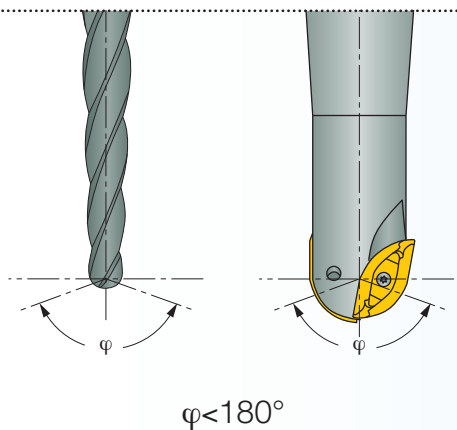


Рис. 41 а

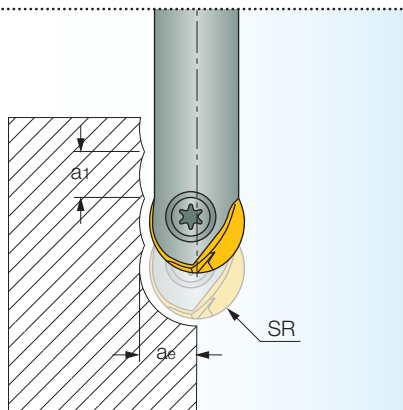
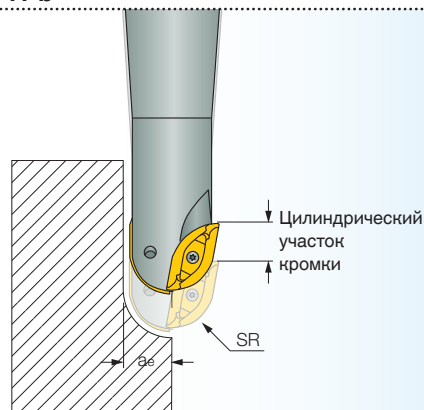


Рис. 41 б



Главное достоинство сферических фрез заключается в их способности генерировать теоретически точную по форме поверхность. Однако, сферическая кромка, определяющая данное важное преимущество, имеет свою ахиллесову пятю: нулевую скорость вершины фрезы. Следовательно, и скорость резания вершины равна нулю, что существенно осложняет резание участком, прилегающим к вершине. Кроме того, точки сферической кромки лежат на различном расстоянии от оси фрезы, которое меняется от нуля (в вершине) до радиуса сферы. Вследствие такого непостоянства точки кромки удаляют материал с разной скоростью резания. Следует помнить также, что и в случае сферических фрез наблюдается эффект уменьшения сечения стружки, рассмотренный в предыдущем разделе руководства. Комбинация неодинаковых скоростей резания и различной толщины стружки приводит к значительной разнице в нагружении участков кромки сферического профиля, что ухудшает условия резания в определённых зонах кромки и приводит к их интенсивному износу.

Инженеры-инструментальщики хорошо знакомы с отмеченным недостатком сферической кромки и учитывают его при проектировании режущей геометрии фрезы. А в арсенале техники фрезерования имеются свои методы, позволяющие улучшить эксплуатационную характеристику шаровых фрез. Скажем, расположив инструмент так, что его ось не будет перпендикулярна поверхности обработки (используя приспособление, на станках с наклоняющимся шпинделем, изменение угла стола и т.д.), можно нагрузить кромку более равномерно (рис. 42). Другой пример: изменение направления подачи при фрезеровании наклонной поверхности с тем, чтобы исключить врезание под углом (случай а) на рис. 43), позволяет заметно улучшить условия резания (случай б), рис. 43). Если определять скорость резания по отношению к номинальному диаметру, то при тех же самых программируемых частоте вращения шпинделя и подаче наиболее нагруженная часть кромки для случая а) находится вблизи вершины фрезы, то есть там, где скорости резания заведомо низкие. В то же время в случае б) часть кромки, воспринимающая основное усилие, находится в лучших условиях, ведь ей соответствуют более подходящие значения скоростей резания. Разумеется, производство конкретных деталей требует разных методов фрезерования и траекторий движения инструмента, и приведенные примеры лишь показывают частные случаи резания сферическими фрезами, связанные с особенностями геометрии инструмента. При проектировании технологического процесса необходимо учитывать специфику сферической режущей кромки, чтобы обработка велась наиболее эффективным способом.

ИСКАР располагает богатым набором сферических фрез разного типа: со сменными пластинами, цельными и сборными с заменяемыми режущими головками из твёрдого сплава. Обычно они выпускаются как фрезы с хвостовиком и отличаются по размерам и точности. Фрезы с пластинами представлены не только в виде инструмента с интегральным корпусом, но также и в качестве головок для модулярных систем **FLEXFIT** и **МУЛЬТИ-МАСТЕР**. Для фрез с интегральным корпусом (рис. 44) существуют разные конструктивные исполнения с прямой (тип А) или конической шейкой (типы В и D). Как правило, рабочим углом α для типа В является 5° , а для типа D - 2° . Таблица 68 содержит общие данные о наиболее распространённых семействах сферических фрез компании ИСКАР.

Экскурс в историю: копировальная фреза

Достаточно часто сферические фрезы называются ещё и копировальными или копирными. Такие определения ведут свою историю от совсем недалёкого прошлого, когда фрезерование фасонных поверхностей велось на универсальных фрезерных станках с помощью копиров и на копировально-фрезерных станках со следящим приводом (электрическим, гидравлическим или пневматическим). В обоих отмеченных случаях траектория инструмента, генерирующая поверхность обработки, определялась формой копира. Сферические фрезы, обеспечивающие теоретически точечный контакт с трёхмерным профилем, наиболее подходили для обработки пространственных поверхностей, что и определило их название: копировальные. Кстати, к копировальным иногда относят и тороидальные фрезы. А если уж говорить о копировальном (копирном)

фрезеровании более широко, то следует отметить, что и обычные цилиндрические концевые фрезы нашли в нём своё применение, в частности, при обработке криволинейных контуров. Правда, никто не называл их копировальными.

Появление ЧПУ коренным образом изменило технологию изготовления фасонных поверхностей резанием. Если классическое копировальное фрезерование всё-таки имело дело в основном с двухмерными контурами, то современные многокоординатные станки с ЧПУ в состоянии обрабатывать очень сложные пространственные поверхности, а сегодняшние “копиры” - это компьютерные модели систем CAD/CAM, по которым создаются соответствующие управляющие программы ЧПУ. Так что если сейчас и используют такие определения, как “копировальная фреза”, “копирное фрезерование” и т.п., то это скорее следование исторической традиции. Во всяком случае, их нынешний смысл намного отличается от первоначального значения.

Рис. 42

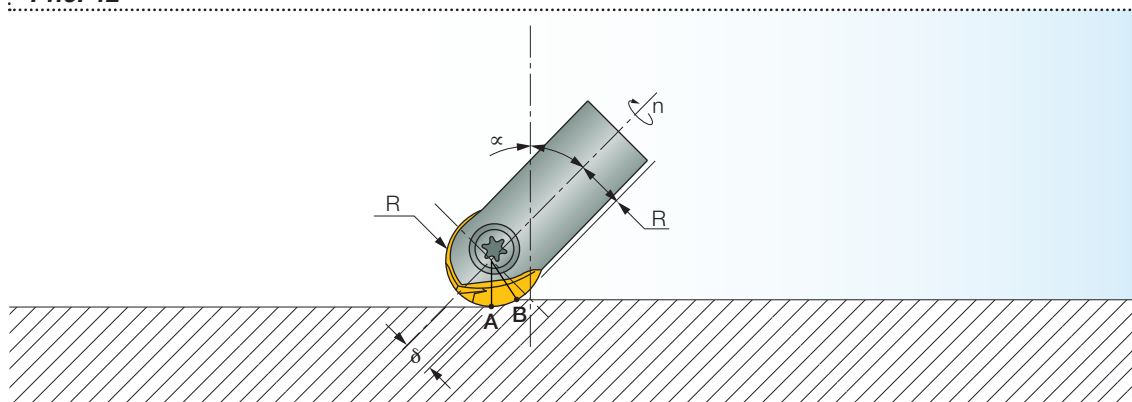


Рис. 43 а

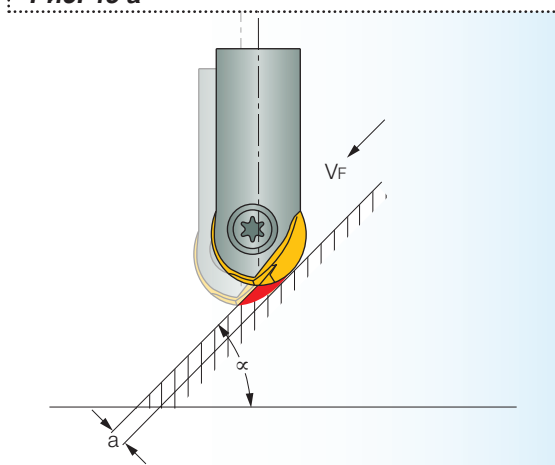


Рис. 43 б

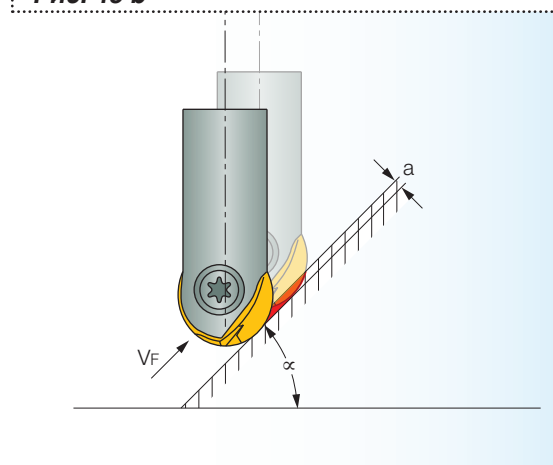


Рис. 44

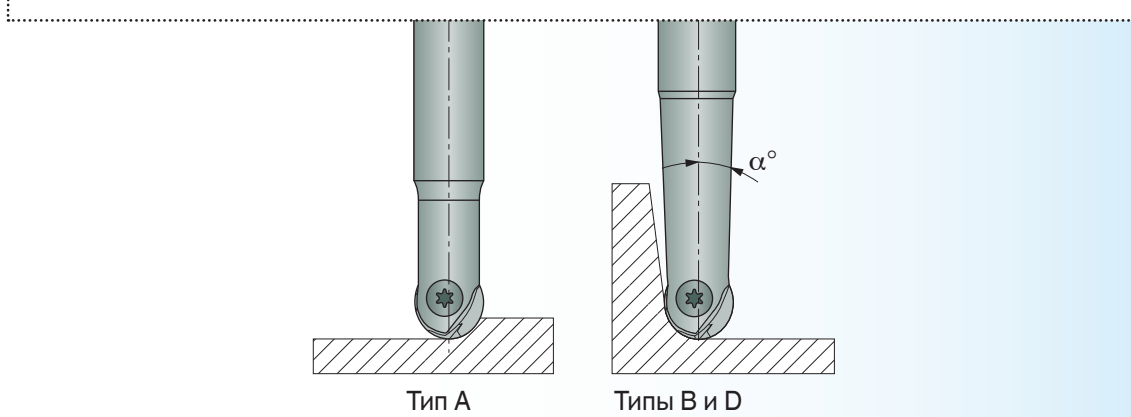


Таблица 68. Основные семейства сферических фрез

Семейство	Тип	Диапазон диаметров, мм*
BALLPLUS	С одной пластиной	12...25
DROPMILL	Со сменными пластинами (СМП)	12...50
HELIBALL	С одной пластиной	8...10
MULTI-MASTER	Со сменными головками	6...25
SOLIDMILL	Цельные твёрдосплавные	0.4...25

* Для фрез стандартной линии

Наклон оси фрезы: численный пример

Скорость резания вершины сферической фрезы равна нулю, а участка кромки вблизи вершины столь мала, что её также можно считать нулевой. Понятно, что условия резания в прилегающей к вершине зоне кромки далеки от нормальных. Если же наклонить фрезу к обрабатываемой поверхности так, чтобы устранить резание вершиной, ситуация заметно улучшается.

Вернёмся снова к рис. 42. Изображённая на нём сферическая фреза радиусом R удаляет припуск δ , причём непосредственно в резание вовлечён участок кромки фрезы АВ.

Скорость резания в любой точке участка АВ прямо пропорциональна расстоянию от точки до оси фрезы и принимает минимальное значение в точке А. Максимальная же скорость наблюдается в точке, лежащей на расстоянии от R оси. Если ось фрезы не перпендикулярна поверхности обработки, а наклонена к ней, то расстояние от точки А до оси станет $R \cdot \sin \alpha$, где α - угол между осью фрезы и нормалью к поверхности.

Нетрудно видеть, что для угла α , равного 5° , скорость резания в точке А составляет примерно 9% от максимальной скорости, если угол α станет 10° , то скорость в точке А возрастёт до 17% от максимума, а при угле α в 15° она уже достигнет 26% от максимальной.

Начальные параметры режима резания и выбор инструмента

Как уже неоднократно подчёркивалось ранее, скорость резания меняется вдоль сферического участка кромки, непосредственно режущего материал, а вследствие эффекта утончения стружки переменна и толщина стружки. При правильно выбранном методе фрезерования область стружки с наибольшей толщиной удаляется участком кромки с максимально возможной скоростью резания. Для пояснения вернёмся вновь к уже рассмотренным случаям а) и б) на рис. 43. Если а) отражает верный выбор техники фрезерования, то б) показывает резание в неблагоприятных условиях, которое желательно избегать.

Для сферической фрезы эффективный диаметр резания (см. заметку на стр. 58) De , определяемый той точкой вовлечённого в резание участка кромки, у которой скорость резания максимальна, находится по следующей формуле:

$$De = 2 \times \sqrt{(D \times ap - ap^2)} \quad (15)$$

Где: D – номинальный диаметр фрезы,
 ap – глубина резания в осевом направлении.

Вместе с тем, приведенная формула не годится для расчёта эффективного диаметра при фрезеровании наклонных поверхностей или отвесных стен (случаи а) и в) на рис. 45), так как в резании участвуют участки кромки с диаметром больше, чем результат вычислений по формуле (15). В таблице 69 собраны соответствующие уравнения, позволяющие найти эффективный диаметр для различных видов обработки с использованием сферической фрезы.

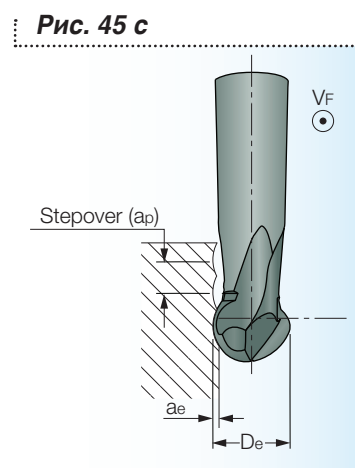
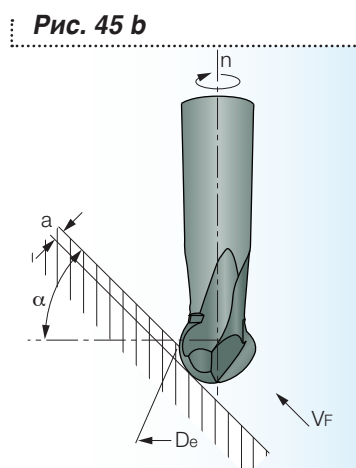
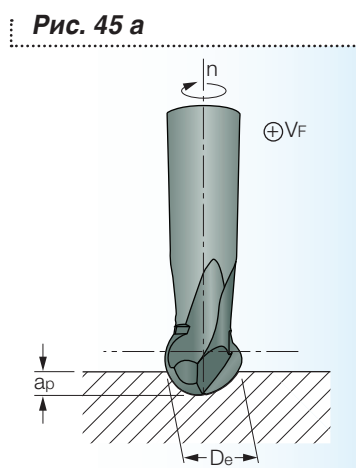


Таблица 69. Эффективный диаметр сферических фрез

Характеристика обработки	Случай на рис. 45	Эффективный диаметр D_e	Примечание
Ось фрезы перпендикулярна поверхности обработки	а)	$2 \times \sqrt{D \times a_p - a_p^2}$	
Фрезерование наклонной поверхности	б)	$(D - 2 \times a) \times \sin \alpha + 2 \times \sqrt{D \times a - a^2} \times \cos \alpha^*$	$\approx D \times \sin \alpha^{**}$
Фрезерование отвесной стены	в)	D	

* α - угол наклона поверхности, a - припуск, удаляемый за один проход

** Такая упрощённая формула достаточно часто применяется для нахождения эффективного диаметра и во многих случаях обеспечивает приемлемый результат. В то же время её следует использовать лишь для грубых оценочных вычислений, так как погрешность формулы, вызванная упрощением, может стать источником серьёзного отклонения от действительного значения диаметра.

Внимание: эффективный диаметр!

При работе со сферическими фрезами, особенно при угловом врезании и фрезеровании наклонной поверхности, очень важно правильно определить эффективный диаметр. Точность в его вычислении обеспечит верное назначение параметров режима резания и лучшую функциональную характеристику.

Пример

Найти эффективный диаметр при фрезеровании наклонной поверхности сферической фрезой, номинальный диаметр которой 10 мм. Угол наклона поверхности 30° , резание производится с подъёмом по поверхности. Припуск на обработку составляет 0.4 мм и снимается за один проход.

В соответствии с таблицей 69 (случай б) на рис. 45):

$$D_e = (10 - 2 \times 0.4) \times \sin 30^\circ + 2 \times \sqrt{(10 \times 0.4 - 0.4^2)} \times \cos 30^\circ = 7.99 \text{ (мм)} \approx 8 \text{ мм.}$$

Для сравнения: указанная в таблице упрощённая формула приведёт к иному результату:

$$10 \times \sin 30^\circ = 5 \text{ (мм)} - \text{погрешность вычислений составит } 37.5\%.$$

Если же для той же фрезы угол наклона составит 10° , а припуск - 2 мм, расчётный эффективный диаметр $D_e = (10 - 2 \times 2) \times \sin 10^\circ + 2 \times \sqrt{(10 \times 2 - 2^2)} \times \cos 10^\circ = 8.9 \text{ (мм)}$, упрощённая формула даст только 1.7 мм! Таким образом, погрешность вычислений достигает 80%!

С другой стороны, для угла подъёма фрезы 70° и номинального диаметра 25 мм при снимаемом припуске 1 мм $D_e = (25 - 2 \times 1) \times \sin 70^\circ + 2 \times \sqrt{(25 \times 1 - 1^2)} \times \cos 70^\circ = 24.96 \text{ (мм)} \approx 25 \text{ мм}$; а по упрощённой формуле - $25 \times \sin 70^\circ = 23.5 \text{ (мм)}$.

Погрешность в данном случае всего лишь 6%, что вполне приемлемо. Нетрудно видеть, что формула (15) является частным случаем формулы расчёта эффективного диаметра сферической фрезы при её подъёме по наклонной поверхности и легко получается из последней при подстановке нулевого значения для угла подъёма α .

Сферическая форма режущей кромки является причиной изменения толщины стружки в осевом направлении (рис. 46). Как и в случае с тороидальным профилем, варьирование глубины резания при обработке сферической фрезой влечёт изменение максимального угла фрезы в плане. Эффект изменения толщины стружки уже рассматривался ранее и нет нужды возвращаться к нему снова. Но важно ещё раз подчеркнуть, что для обеспечения требуемой нагрузки при программировании подачи на зуб необходимо учесть коэффициент уменьшения толщины стружки КТН, который является функцией сферического диаметра фрезы D и глубины резания ap (рис. 47).

Коэффициент КТН может быть найден по формуле:

$$KTH = 1/\sin \chi_{max} \quad (16)$$

Максимальный угол фрезы в плане χ_{max} , как вытекает из формулы (4), определяется следующим образом:

$$\chi_{max} = \arccos (1 - (2 \times ap/D)) \quad (4a)$$

Пример

Найти программируемые подачу и частоту вращения шпинделя для операции фрезерования двухзубой сферической фрезой диаметром 16 мм, если по условиям обработки требуется обеспечить скорость резания 100 м/мин и максимальную толщину стружки 0.12 мм. Глубина резания составляет 3.5 мм.

Эффективный диаметр $De = 2 \times \sqrt{(16 \times 3.5 - 3.5^2)} = 13.2$ (мм)

Соответствующая частота вращения шпинделя $n = 1000 \times 100 / (\pi \times 13.2) = 2411$ (об/мин)

Максимальный угол в плане $\chi_{max} = \arccos (1 - (2 \times 3.5/16)) = 55.8^\circ$

Коэффициент уменьшения толщины стружки $KTH = 1/\sin \chi_{max} = 1/\sin 55.8^\circ = 1.2$

Тогда подача на зуб $fz = 0.12 \times 1.2 = 0.14$ (мм/зуб), а программируемая скорость подачи

$V_f = 0.14 \times 2 \times 2411 = 675$ (мм/мин)

Для сравнения: игнорирование в расчёте влияния таких факторов, как эффективный диаметр и изменение толщины стружки приведёт к определению частоты вращения шпинделя $n = 1000 \times 100 / (\pi \times 16) = 1990$ (об/мин) и скорости подачи $V_f = 0.12 \times 2 \times 1990 = 477.6$ (мм/мин).

С такими параметрами режима резания производительность операции будет примерно на 30% ниже!

Рис. 46

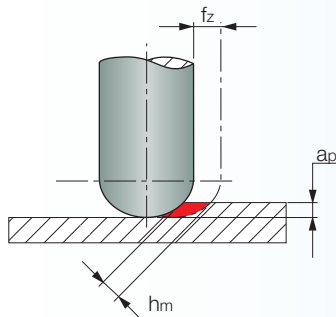
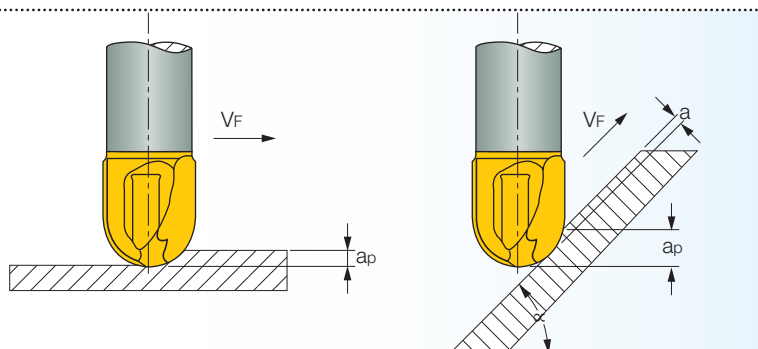


Рис. 47



В дополнение к формулам (15) и (16) эффективный диаметр D_e и коэффициент уменьшения толщины стружки КТН могут быть найдены и из таблицы 70. Применение табличных данных особенно удобно при быстрой оценке параметров режима резания.

При расчёте подачи и скорости резания для сферических фрез следует всегда учитывать влияние эффективного диаметра и эффекта изменения толщины стружки. Пренебрежение ими может привести к ухудшению эксплуатационных показателей и меньшей производительности обработки.

Таблица 70. Эффективный диаметр D_e , мм, и коэффициент уменьшения толщины стружки КТН для сферических фрез

ap, мм	D, мм															
	SØ4		SØ5		SØ6		SØ7		SØ8		SØ10		SØ12		SØ16	
	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH
0.2	1.7	2.3	1.9	2.5	2.1	2.8	2.3	3	2.5	3.2	2.8	3.6	3.1	3.9	3.5	4.5
0.3	2.1	1.9	2.4	2.1	2.6	2.3	2.8	2.5	3	2.6	3.4	2.9	3.7	3.2	4.3	3.7
0.5	2.6	1.5	3	1.7	3.3	1.8	3.6	1.9	3.9	2.1	4.3	2.3	4.8	2.5	5.6	2.9
0.7	3	1.3	3.5	1.4	3.8	1.5	4.2	1.7	4.5	1.8	5.1	1.9	5.6	2.1	6.5	2.4
1	3.5	1.1	4	1.2	4.5	1.3	4.9	1.4	5.3	1.5	6	1.7	6.6	1.8	7.7	2.1
2	4	1	4.9	1	5.6	1.1	6.3	1.1	6.9	1.1	8	1.2	8.9	1.3	10.6	1.5
3	—	—	—	—	6	1	6.9	1	7.7	1	9.1	1.1	10.4	1.1	12.5	1.3
4	—	—	—	—	—	—	—	—	8	1	9.8	1	11.3	1.1	13.8	1.1
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	1	11.8	1	14.8	1.1
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	1	15.5	1
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15.9	1
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	1

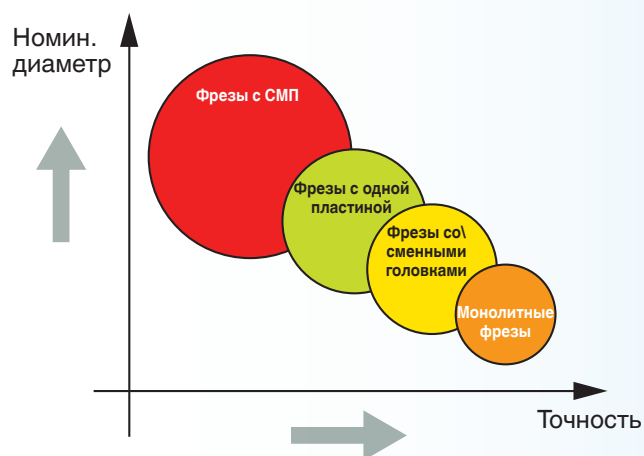
Таблица 70. Эффективный диаметр D_e , мм, и коэффициент уменьшения толщины стружки KTH для сферических фрез (продолжение)

ap, мм	D, мм									
	SØ20		SØ25		SØ32		SØ40		SØ50	
	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH	De	KTH
0.3	4.9	4.1	5.4	4.6	6.2	5.2	6.9	5.8	7.7	6.5
0.5	6.2	3.2	7	3.6	7.9	4	8.9	4.5	9.9	5
1	8.7	2.3	9.8	2.5	11.1	2.9	12.5	3.2	14	3.6
3	14.3	1.4	16.2	1.5	18.6	1.7	21	1.9	23.7	2.1
5	17.3	1.1	20	1.2	23.2	1.4	26.4	1.5	30	1.7
8	19.6	1	23.3	1.1	27.7	1.1	32	1.2	36.7	1.4
10	20	1	24.5	1	29.7	1.1	34.6	1.1	40	1.2
12	—	—	25	1	30.1	1	36.7	1.1	42.7	1.2
16	—	—	—	—	32	1	39.2	1	46.6	1.1
20	—	—	—	—	—	—	40	1	49	1
25	—	—	—	—	—	—	—	—	50	1

Помимо всего прочего, определение параметров режима резания зависит и от типа сферической фрезы: с СМП, монолитная и т.п.. Обычно сферические фрезы используются для полустиховых и чистовых операций с небольшим снимаемым припуском. Обрабатываемые детали пресс-форм и штампов различны по своим размерам и к точности, они производятся по разным технологическим цепочкам с соответствующим разделением на черновые и чистовые проходы. Следовательно, изготовление деталей выдвигает разные требования к режущему инструменту и в частности, к сферическим фрезам.

На рисунке 48 в упрощённой форме представлена зависимость типа сферической фрезы от её точности и номинального диаметра. В определённом смысле рисунок служит пособием по выбору инструмента: конструкция с СМП обеспечивает большие диаметры, но точность фрезы ограничена. В то же время применение монолитных фрез решает проблемы прецизионной обработки, однако диаметр таких фрез редко превышает 20 мм. Сферические фрезы с одной режущей пластиной или сборные фрезы с заменяемыми твёрдосплавными режущими головками **МУЛЬТИ-МАСТЕР** занимают промежуточное положение между указанными типами как по точностным характеристикам, так и по номинальному диаметру. Существуют высокоточные сферические головки **МУЛЬТИ-МАСТЕР**, у которых допуски на размеры и форму более жёсткие, чем у монолитных фрез, однако это скорее исключение из известного правила, гласящего, что цельный инструмент точнее сборного.

Рис. 48



Начальные значения скорости резания V_c и подачи на зуб f_z находятся по уже известным формулам (1) и (6):

$$V_c = V_o \times K_s \times K_t \quad (1)$$

$$f_z = f_{z0} \times K_{TH} \times K_s \quad (6)$$

Где: V_o – базовая скорость резания,
 K_t – коэффициент стойкости,
 f_{z0} – базовая подача на зуб,
 K_{TH} – коэффициент уменьшения толщины стружки,
 K_s – коэффициент устойчивости.

Коэффициент стойкости указан в таблице 8.

Для определения коэффициента уменьшения толщины стружки можно воспользоваться уравнением (16) или таблицей 70.

Коэффициент устойчивости, как указывалось ранее, принимается равным 1 для резания в нормальных условиях и 0.7, если жёсткость системы СПИД недостаточная (фрезерование тонкостенных заготовок, обработка с большим вылетом инструмента, проблемное закрепление заготовки и т.д.).

Базовые скорость резания и подача на зуб зависят от типа сферической фрезы и конструктивных особенностей того или иного семейства инструмента.

В подразделах ниже рассмотрены характерные свойства различных семейств сферических фрез и представлены таблицы для определения базовых скоростей и подач.

BALLPLUS и HELIBALL: семейства сферических фрез с одной режущей пластиной

У фрезы семейства **BALLPLUS** имеется режущая пластина с V-образной задней (нерабочей) частью. Пластина размещается в пазу корпуса фрезы и упирается в соответствующие контактные поверхности на дне паза (рис. 19). У фрезы два зуба, которые являются режущими кромками пластины. Диапазон номинальных диаметров фрез **BALLPLUS** составляет 12-25 мм.

Семейство **HELIBALL**, непосредственный предшественник **BALLPLUS** и почти полностью заменённое последним, представлено сегодня только фрезами малого диаметра 8 и 10 мм. Режущие пластины, получаемые непосредственно спеканием без дополнительного шлифования, обеспечивают по одному зубу у фрез, и сами фрезы используются в основном для черновых операций. Пластина для 10 мм фрезы допускает индексирование (замену кромки), так как располагает двумя режущими кромками, а пластина для 8 мм фрезы, типичный продукт одноразового использования, такой возможностью не обладает - у неё только одна кромка.

Пластины **BALLPLUS** отличаются угловой величиной сферической кромки, режущей геометрией и точностью (таблица 71).

Таблица 71. Пластины к сферическим фрезам BALLPLUS

Пластина	Режущая кромка		Точность	Передняя поверхн.	Задняя поверхн.	Применение	
	Сферич.	Цилиндрич.				Тип материала	Операции
HBR...	~220° (грушевидная)	нет	нормальная	прессован.	шлифован.	широкий выбор	черновые-чистовые
HBF...			высокая	шлифован.			чистовые
HCR...-QF	180° (полусфера)	yes	нормальная	прессован.		мягкий	черновые-чистовые
HCR...-QP							

В таблицах 72 и 73 приведены значения базовой подачи на зуб f_{zo} и базовой скорости резания V_0 .

Таблица 72. Сферические фрезы семейств BALLPLUS и HELIBALL: базовая подача f_{zo} , мм/зуб

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	для D, мм					
		8	10	12	16	20	25
P	1-4	0.09	0.1	0.12	0.13	0.15	0.17
	5	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16
	6, 7	0.08	0.09	0.1	0.12	0.13	0.15
	8, 9	0.07	0.08	0.1	0.11	0.12	0.13
	10	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12
	11	0.06	0.07	0.09	0.1	0.1	0.11
M	12, 13	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12
K	15-16	0.09	0.1	0.12	0.13	0.15	0.17
	17-18	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.16
H	38.1	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.1
	38.2	0.04	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08
	39	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

Эмпирическое правило

Как уже говорилось, обработка сферическими фрезами обычно характеризуется небольшим припуском. Для быстрого назначения глубины и ширины резания может быть полезным одно правило, установленное на основе практики. Это правило, "правило 12", применимо к сферическим фрезам с одной режущей пластиной и сменными режущими головками и даёт приемлемые результаты для фрезерования стали низкой и средней твёрдости и нержавеющей стали мартенситного типа. Правило гласит, что для фрезерования с глубиной резания в половину диаметра сферической части фрезы ($D/2$), рекомендуется ширина резания не более одной шестой диаметра ($D/6$), для глубины, равной трети диаметра ($D/3$), - глубина не более его четверти ($D/4$) и т.д. Нетрудно заметить, что $2 \times 6 = 3 \times 4 = 12$.

Таблица 72. Сферические фрезы с пластинами BALLPLUS HCR.../HBR..., HELIBALL CR... и DROPMILL BCR...: базовая скорость резания V_0 , м/мин

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	Vc, для марки тв. сплава		
		IC908	IC928	IC328
P	1	210	180	160
	2-4	200	170	140
	5-6	190	150	130
	7-9	180	140	125
	10	160	125	120
	11	140	120	110
M	12, 13	155	130	125
K	15-16	220	200	
	17-18	200	180	
H	38.1	100	80	
	38.2	70		
	39**	55		

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

** В этом случае рекомендуется применить метод высокоскоростного фрезерования

Пластины сферических фрез семейств **BALLPLUS/HELIBALL** стандартной поставки изготавливаются из следующих трёх марок твёрдого сплава: IC908, IC928 и IC328. Из них марка IC928 представляет собой наиболее универсальный по применению сплав, и её следовало бы считать оптимальным выбором при фрезеровании стали низкой и средней твёрдости. В то же время, так как основное назначение сферических фрез с одной режущей пластиной - получистовые и чистовые операции, популярность марки IC908, (самого твёрдого из перечисленных сплавов), постоянно растёт что делает уже IC908 предпочтительным выбором. А для многих случаев обработки фасонных поверхностей заготовок из закалённой стали и высокопрочного чугуна только эта марка сплава служит единственным решением. Ударновязкий сплав IC328 рекомендуется для фрезерования в условиях малой жёсткости системы СПИД, а также при значительном росте ударной нагрузки. Получаемые только спеканием без дополнительных шлифовальных операций пластины CR... для сферических фрез **HELIBALL** диаметром 8 и 10 мм изготавливаются именно из этого сплава.

Пример

Для обработки заготовки из конструкционной стали 20 применяют сферическую фрезу HCM D20-A-L150-C20 с пластиной HCR D200-QF IC908. Глубина резания в осевом направлении составляет 4 мм, ширина резания - 3.5 мм. Жёсткость системы СПИД достаточная.

Эффективный диаметр D_e и коэффициент уменьшения толщины стружки КТН находится вычислением или определяется по таблице 70: 17.3 мм и 1.1 соответственно.

Материал заготовки представлен группой материалов ИСКАР No. 1 по стандарту VDI 3323. Базовая подача $f_{z0}=0.15$ мм/зуб (таблица 72).

Базовая скорость резания $V_0=210$ м/мин.

Программируемая подача на зуб $f_z=0.15 \times 1.1=0.16$ (мм/зуб).

Скорость резания для предполагаемого периода стойкости 60 мин. $V_c=210 \times 1 \times 0.8=168$ (м/мин).

Частота вращения шпинделя $1000 \times V_c / (\pi \times D_e) = 1000 \times 168 / (\pi \times 17.3) = 3090$ (об/мин).

Программируемая скорость подачи $V_F = 0.16 \times 2 \times 3090 = 988.8$ (мм/мин) ≈ 990 мм/мин.

Математика наклонной поверхности и одно практическое правило

Формулы (16) и (4а) определяют коэффициент уменьшения толщины стружки через диаметр фрезы D и осевую глубину резания ap . При планировании обработки наклонной поверхности не всегда задают непосредственно ap , а задают его косвенно, указывая угол наклона α и снимаемый припуск a . Конечно, современные системы CAD/CAM позволяют моментально найти ap в таком случае. Осевую глубину можно вычислить и самостоятельно по следующей формуле:

$$ap = D/2 + [(a - D/2) \times \cos \alpha + \sqrt{(D \times a - a^2)} \times \sin \alpha] \quad (17)$$

Если выражение в квадратных скобках получается положительным, следует принять ap равным радиусу сферической фрезы (то есть $D/2$).

На практике результат расчёта по формуле (17) часто увеличивают на 10-20% (понятно, что он, однако, не должен превысить $D/2$). Таким образом программируемая подача станет несколько меньше, и обеспечивается некий коэффициент безопасности, учитывающий неоднородное нагружение сферической режущей кромки при фрезеровании наклонной поверхности.

Пример

Концевая сферическая фреза HCM D12-D-L160-C16 диаметром 12 мм с пластиной HBF D120-QF IC908 применяется для чистовой обработки наклонной поверхности детали пресс-формы для изделий из пластмассы. Материал детали - сталь 4XC, закалённая до твёрдости HRC 50...52. Фреза движется по поверхности снизу вверх, осуществляя резание с подъёмом. Угол наклона поверхности составляет 5° , а припуск на обработку, удаляемый за один проход, - 0.2 мм. Операция проводится с большим вылетом инструмента.

Определить параметры режима резания для периода стойкости пластины 20 мин.

Эффективный диаметр в соответствии с таблицей 69, случай б):

$$De = (12 - 2 \times 0.2) \times \sin 5^\circ + 2 \times \sqrt{(12 \times 0.2 - 0.2^2)} \times \cos 5^\circ = 4.1 \text{ (мм)}.$$

$$\text{Осевая глубина резания (формула 17)} \quad ap = 12/2 + [(0.2 - 12/2) \times \cos 5^\circ + \sqrt{(12 \times 0.2 - 0.2^2)} \times \sin 5^\circ] = 0.36 \text{ (мм)}.$$

$$\text{Наибольший угол фрезы в плане } \chi_{\max} = \arccos(1 - (2 \times 0.2 / 12)) = 14.8^\circ.$$

$$\text{Коэффициент уменьшения толщины стружки } K_{TH} = 1 / \sin \chi_{\max} = 1 / \sin 14.8^\circ = 3.9.$$

Большой вылет фрезы указывает на снижение жёсткости системы СПИД и требует учёта коэффициента устойчивости.

Материал детали принадлежит к группе материалов ИСКАР No. 38.2 по стандарту VDI 3323, следовательно:

- Базовая подача $f_{zo} = 0.06$ мм/зуб (таблица 72).
- Базовая скорость резания $V_0 = 70$ м/мин (таблица 73).

$$\text{Программируемая подача на зуб } fz = 0.06 \times 3.9 \times 0.7 = 0.16 \text{ (мм/зуб)}.$$

$$\text{Скорость резания для стойкости пластины 20 мин. } V_c = 70 \times 0.7 \times 1 = 49 \text{ (м/мин)}.$$

$$\text{Частота вращения шпинделя } 1000 \times V_c / (\pi \times De) = 1000 \times 49 / (\pi \times 4.1) = 3804 \text{ (об/мин)}.$$

$$\text{Программируемая скорость подачи } VF = 0.16 \times 2 \times 3804 = 1217 \text{ (м/мин)}.$$

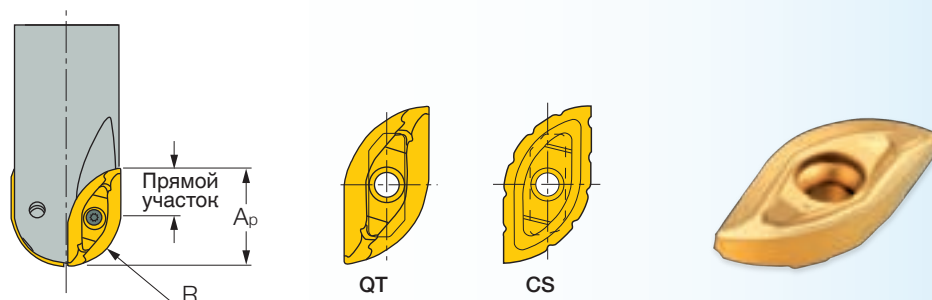
Расчёт скорости резания по отношению к номинальному диаметру фрезы даёт следующее значение:

$$\pi \times 12 \times 3804 / 1000 = 143 \text{ (м/мин)}, \text{ когда действительная скорость резания всего лишь } 49 \text{ м/мин!}.$$

DROMILL: семейство сферических фрез со сменными режущими пластинами

На сферической фрезе семейства **DROMILL** закрепляются две сменных пластины (СМП) каплевидной формы, обеспечивающие два эффективных зуба инструмента (рис. 49). В свою очередь у самой пластины две режущие кромки, допускающие их индексацию, и каждая кромка состоит из сферического и прямого участков. Длина прямого участка кромки достаточно велика: 60-70% сферического, что позволяет успешно обрабатывать уступы с закруглённым углом. На основании пластины выполнен выступ, который входит в паз гнезда пластины при её закреплении в корпусе фрезы. Благодаря выступу пластина в состоянии выдерживать значительные нагрузки в случае их возникновения в процессе фрезерования.

Рис. 49



Фрезы **DROMILL** применяются для обработки фасонных поверхностей по различным методам фрезерования, выполнения полостей и карманов в штампах и формах с помощью интерполяции по окружности и винтовой линии и т.д. Преимущества этих фрез заметны в производительных полуцистических операциях, в ходе которых необходимо удалить значительный припуск. Также возможно использование фрез **DROMILL** в качестве свёрл при сверлении с небольшой глубиной. Конструктивно фрезы семейства представлены в виде инструментов с неразъёмным корпусом и сменных режущих головок для сборного инструмента **FLEXFIT** и **MULTI-MASTER**.

Существуют два вида пластин **DROMILL**: QT со шлифованной боковой (задней) поверхностью и полностью прессованный CS со стружкораздельными канавками. Последний из указанных видов предназначен в основном для черновых операций фрезерования в тяжёлых режимах с большой глубиной резания. Эффект стружкоразделения препятствует образованию широкой стружки, снижает силу резания и улучшает удаление стружки.

Таблица 74. Пластины к сферическим фрезам семейства DROMILL

Пластины	Передняя пов.-ть	Задняя пов.-ть	Стружкоразделитель	Основные операции	Диам. фрезы, мм							
					12	16	20	25	30	32	40	50
BCR D...-QT	прессован.	шлифован.	нет	получистовые								
BCR D...-CS		шлифован.	да	черновые								

Как и в случае семейств сферических фрез с одной сменной пластиной, для производства СМП **DROPMILL** используется твёрдый сплав марок IC908, IC928 и IC328.

В таблице 73 представлены значения базовой скорости резания. При фрезеровании сферическими фрезами **DROPMILL** ширина резания обычно не превышает 30% номинального диаметра инструмента для черновых проходов, а для получистовых и чистовых проходов она намного меньше. В случае же тяжёлонагруженного фрезерования со значительной шириной резания или при выполнении паза в сплошном материале с глубиной резания более четверти диаметра для пластин вида QT и более трети диаметра для пластин вида CS табличные значения следует уменьшить на 10-20%.

Таблица 75. **Сферические фрезы DROPMILL: базовая подача f_{z0} , мм/зуб**

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	f_{z0} для диаметра фрезы D, мм						
		12	16	20	25	30/32	40	50
P	1-4	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.21	0.25
	5	0.11	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21
	6, 7	0.1	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.19
	8, 9	0.1	0.11	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18
	10	0.09	0.1	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17
	11	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13	0.15
M	12, 13	0.09	0.1	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17
K	15-16	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	0.21	0.25
	17-18	0.11	0.12	0.14	0.16	0.17	0.18	0.2
H	38.1	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12	0.13
	38.2	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.09	0.1
	39	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

Капля, разделяющая стружку

Фрезерование пазов и канавок (особенно глубоких за несколько проходов), уступов со снятием большого припуска, высокопроизводительная черновая обработка полостей и карманов со значительной скоростью удаления материала - все эти операции, выполняемые фрезами **DROPMILL**, характеризуются существенным нагружением инструмента и вторичным резанием стружки.

Хорошим решением в такой ситуации является использование пластин вида CS, которые необходимо рассматривать в качестве предпочтительного выбора, если приходится иметь дело с фрезерованием в тяжёлых режимах и проблемного удаления стружки.

Базовые подачи на зуб приведены в таблице 75. При фрезеровании паза в сплошном материале с глубиной резания более четверти диаметра для пластин вида QT и более трети диаметра для пластин вида CS, а также при обработке уступа в тяжёлых режимах рекомендуется уменьшить табличные величины на 10-20%.

Пример

Для выполнения паза с закруглённым дном шириной 50 мм и глубиной 43 мм планируется применить сферическую фрезу с хвостовиком BCM D50-A-W50-C, на которой закрепляются пластины BCR D500-CS IC908.

Материал заготовки - легированная сталь 50ХФА твёрдостью HB 250...260. Жёсткость системы СПИД достаточная. Технолог, проектирующий технологический процесс, предполагает фрезеровать паз в три прохода глубиной 25 мм, 10 мм и 8 мм соответственно. Требуется определить начальные параметры режима резания.

Радиус фрезы равен 25 мм. Таким образом, уже на первом проходе эффективный диаметр

составит 50 мм, а коэффициент уменьшения толщины стружки $K_{TH}=1$.

Материал детали относится к группе материалов ИСКАР No. 8 по стандарту VDI 3323, что приводит к следующим базовым значениям:

- Базовая подача $f_{zo}=0.18$ мм/зуб (таблица 75)
- Базовая скорость резания $V_0=180$ м/мин (таблица 73)

С учётом замечаний выше относительно фрезерования паза в сплошном материале сферическими фрезами **DROPMILL** следует уменьшить найденные по таблицам базовые значения на 10-20% для подачи и на 20-30% для скорости резания.

Если принять средние величины рекомендуемого увеличения, то программируемая подача на зуб получается $0.18 \times 0.75 = 0.13$ (мм/зуб), а скорость резания для периода стойкости 60 мин. $180 \times 0.85 \times 0.8 = 122$ (м/мин).

Частота вращения шпинделя $1000 \times V_c / (\pi \times D_e) = 1000 \times 122 / (\pi \times 50) = 776$ (об/мин) ≈ 770 об/мин

Программируемая скорость подачи $V_F = 0.13 \times 2 \times 776 = 202$ (мм/мин) ≈ 200 мм/мин

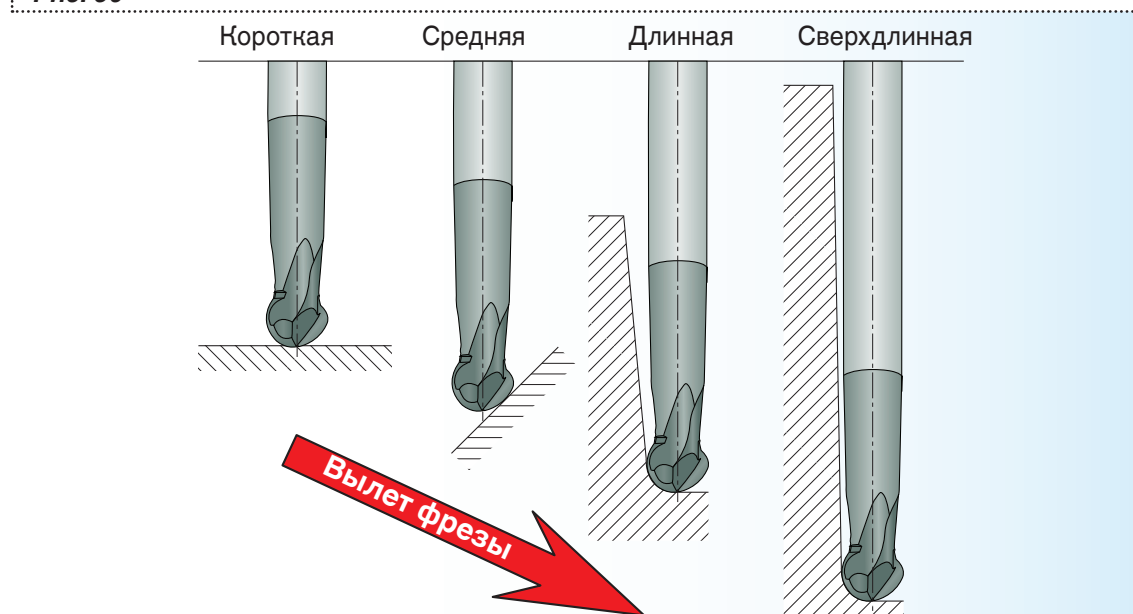
Замечание

В приведенном примере для уменьшения базовых значений подачи и скорости резания использовались усреднённые коэффициенты. Более аккуратный расчёт потребовал бы меньшего уменьшения на первом проходе и большего на третьем (так как проблема удаления стружки становится острее). Скажем, 135 м/мин и 0.14 мм/зуб для первого прохода и 115 м/мин и 0.12 мм/зуб для третьего.

Цельные твёрдосплавные сферические концевые фрезы

SOLIDMILL, линия цельных твёрдосплавных фрез производства ИСКАР, включает в себя большую группу сферических фрез, которые различаются по режущей геометрии и числу зубьев. Для изготовления фрез используются разные марки твёрдого сплава (таблица 10). По своему конструктивному исполнению фрезы представлены короткой, средней, длинной и сверхдлинной сериями длин (рис. 50), а шейка фрезы бывает прямой (цилиндрической) и конической. Такое многообразие цельных твёрдосплавных сферических фрез призвано обеспечить широкий диапазон их применения в прессоштамповом производстве. Обычно диапазон номинальных диаметров сферических фрез составляет 1...25 мм (0.4...2 мм для миниатюрных фрез), угол наклона зубьев к оси фрезы (угол винтовой канавки) - 30° . Допуск на номинальный диаметр фрезы назначается по e8 (h10 для экономичной серии **SOLIDMILL**, таблица 76).

Рис. 50



Понятно, что монолитная конструкция обладает большими возможностями по повышению точности инструмента по сравнению со сборным вариантом в случае фрез со сменными пластинами. Поэтому основное применение цельные твёрдосплавные сферические фрезы нашли в чистовой и получистовой обработке фасонных поверхностей, которая характеризуется небольшим припуском, однако, такие фрезы используются также и для черновых операций. В случаях, когда снимаемый припуск невелик (что часто встречается и при черновом фрезеровании сферическими монолитными фрезами), границы между различными типами обработки размыты. Таблица 77 может помочь определить тип фрезерования типичных материалов, встречающихся в практике прессоштампового производства, и соответствующую величину припуска.

Два или четыре?

Обычно монолитные сферические фрезы ИСКАРА имеют 2 или 4 зуба. Какими преимуществами и недостатками обладает та или иная конструкция?

Четырёхзубые сферические фрезы представляют собой надёжное и продуктивное решение для различных операций, особенно для получистового и чистового фрезерования, и часто характеризуются как сферические фрезы широкого применения.

Двухзубые же фрезы с их увеличенным стружечным карманом и как следствие, лучшими условиями удаления стружки более подходят для чернового фрезерования и обработки пазов. Следует отметить также, что применение двухзубых фрез - конструктивный метод и чистового фрезерования в связи с меньшей накопленной погрешностью, зависящей от числа зубьев инструмента.

Вернёмся опять к четырёхзубым фрезам. Как правило, лишь два из них, а не все четыре непосредственно участвуют в резании вблизи вершины (центра) фрезы. Поэтому при фрезеровании с малой глубиной резания подача на зуб определяется из расчёта двух эффективных зубьев, и преимущества многозубого инструмента здесь не ощущаются. А вовлечение в процесс резания "переходной зоны" между двумя центральными и двумя остальными зубьями приводит к интенсивному износу последних и снижению точности обработки. Понятно, что в данном случае предпочтение следовало бы отдать применению двухзубой фрезы.

Таблица 76. Цельные твёрдосплавные сферические фрезы

Фреза	Режущая кромка		Z*	Диаметр, мм	Эконом. вариант	Марки тв. сплава		Основное применение	Твёрдость заготовок
	Сферич.	Цилиндрич..				Стандартн.	Эконом.		
EBRF	180°	да	3; 4	6...20	по	IC903	–	черн. обр.-ка	до HRC 55
EB	180°	да	2; 3; 4	0.4...25	yes	IC903	–	твёрдые мат.	до HRC 65**
						IC900; IC300; IC08	IC900; IC08	широкого прим.	до HRC 45
ESB	~220°	нет	2; 4	3...16	по	IC903	–	твёрдые мат.	до HRC 65

* Число зубьев

** Подгруппа двухзубых фрез EB ...A... предназначена для обработки заготовок твёрдостью HRC 55...70

Таблица 77. Цельные твёрдосплавные сферические фрезы и сферические сменные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР: тип обработки и усреднённые величины снимаемого припуска

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала *	Обрабатываемый материал		Тип обработки		
				Черновая	Получистовая	Чистовая
P	1, 2, 4, 6, 10	мягкая сталь	HB<250	0.12xD**	0.07xD	0.02xD
	3, 7		HB 250...300	0.1xD	0.05xD	0.015xD
	5, 8, 9, 11	сталь средней твёрдости	HRC 30-37	0.1xD	0.05xD	0.01xD
	9-11		HRC 38-44	0.08xD	0.04xD	0.01xD
M	12, 13	мартен. нерж. ст.	HB<250	0.1xD	0.05xD	0.01xD
K	15-18	чугун	HB< 300	0.15xD	0.08xD	0.03xD
H	38.1	сталь и чугун высокой твёрдости	HRC 45-49	0.08xD	0.04xD	0.01xD
	38.2		HRC 50-55	0.06xD	0.04xD	0.01xD
	39		HRC 56-63	0.05xD	0.03xD	0.01xD

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

** Диаметр сферической фрезы (сменной головки)

Базовые скорость резания и подача приведены в таблицах 78 и 79. Как уже указывалось ранее, для выбора твёрдого сплава следует воспользоваться таблицей 10.

Таблица 78. Цельные твёрдосплавные сферические фрезы и сферические сменные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР: базовая скорость резания Vo

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала**	Vo, м/мин, для типа обработки		
		Черновая	Получистовая	Чистовая
P	1	180	220	280
	2-4	150	170	200
	5	125	140	170
	6	130	150	190
	7-9	120	135	170
	10	115	130	165
	11	100	110	120
M	12, 13	110	110	150
K	15-16	160	180	220
	17-18	150	170	200
H	38.1	70	80	100
	38.2		40	50
	39		30	40

* Указания по выбору марок твёрдого сплава для цельных фрез - см. таблицу 10

** Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

Пример

Для фрезерования мастер-пуансона, изготавливаемого из инструментальной штамповой стали 7ХГ2ВМФ, предлагается использовать цельную твёрдосплавную сферическую концевую фрезу EB-A2 12-12/24C12H110 903. Твёрдость заготовки на момент операции -HRC 55, её (заготовки) стенки наклонены под углом 3° к оси шпинделя станка. Операционный припуск составляет 0.1...0.15 мм на сторону. Жёсткость системы СПИД оценивается как достаточная. Найти начальные параметры режима резания.

По таблице 69, случай б), определяется эффективный диаметр:

$$De = (12 - 2 \times 0.15) \times \sin 3^\circ + 2 \times \sqrt{(12 \times 0.15 - 0.15^2) \times \cos 3^\circ} = 3.3 \text{ (мм)}$$

Осевая глубина резания (рис. 47) вычисляется следующим образом:

$$ap = D/2 - 0.5 \times \sqrt{(D^2 - De^2)} = 12/2 - 0.5 \times \sqrt{(12^2 - 3.3^2)} = 0.23 \text{ (мм)}$$

По таблице 70 коэффициент уменьшения толщины стружки $K_{TH} \approx 3.5$.

Для группы материалов ИСКАР No. 38.2 по стандарту VDI 3323, к которой принадлежит обрабатываемый материал с указанной твёрдостью, базовая скорость резания равна 50 м/мин (таблица 78), базовая подача - 0.011 мм/зуб (0.13×0.85 в соответствии с таблицей 79 и замечаниями к ней).

Программируемая подача на зуб $fz = 0.011 \times 3.5 \times 1 = 0.038 \text{ (мм/зуб)}$.

Скорость резания для периода стойкости 20 мин. $V_c = V_o = 50 \text{ м/мин}$

Частота вращения шпинделя $1000 \times V_o / (\pi \times De) = 1000 \times 50 / (\pi \times 3.3) = 4822 \text{ (об/мин)}$.

Программируемая скорость подачи $V_F = 0.038 \times 2 \times 4822 = 366 \text{ (мм/мин)}$.

Интересно отметить, скорость резания, вычисляемая относительно номинального диаметра фрезы (12 мм), примет следующее значение: $V_c D = \pi \times 12 \times 4822 / 1000 = 182 \text{ (м/мин)}$

Напомним ещё раз!

Изучая отчёт об испытании, статью в технической литературе или руководство, следует обратить внимание на то, как определена скорость резания: по отношению к эффективному или номинальному диаметрам фрезы!

Рис. 51

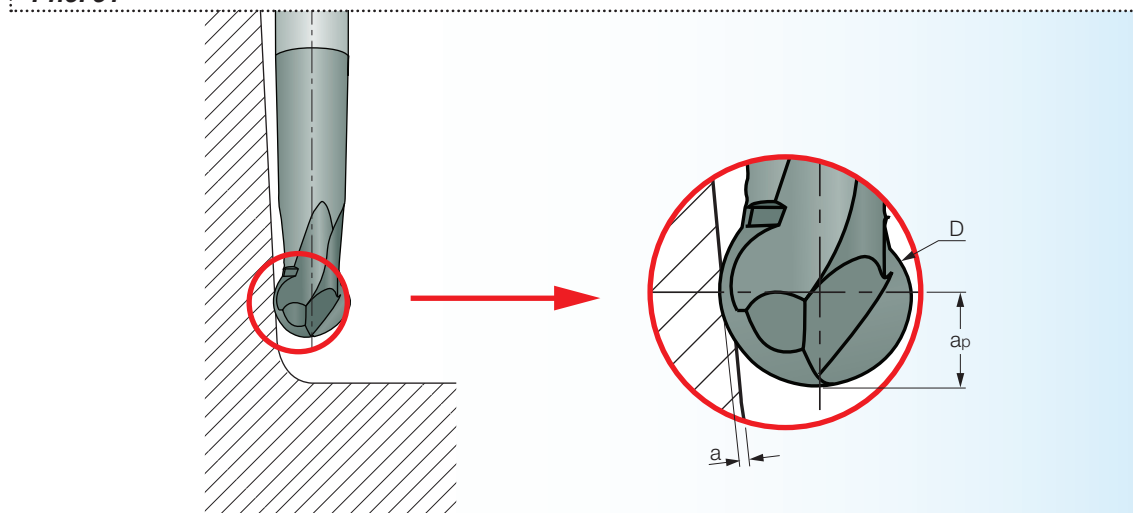


Таблица 79. Цельные твёрдосплавные сферические фрезы и сферические сменные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР ММ ЕВ...: базовая подача на зуб f_{z0}

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала**	f_{z0} , мм/зуб, для диаметра D***											
		1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25
P	1-4	0.008	0.02	0.03	0.04	0.05	0.055	0.062	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13
	5	0.007	0.018	0.025	0.032	0.038	0.043	0.05	0.06	0.068	0.075	0.085	0.11
	6, 7	0.007	0.018	0.02	0.028	0.035	0.04	0.048	0.057	0.062	0.072	0.082	0.09
	8, 9	0.007	0.015	0.02	0.025	0.032	0.035	0.038	0.045	0.05	0.06	0.07	0.08
	10	0.007	0.013	0.015	0.022	0.027	0.03	0.032	0.038	0.042	0.05	0.06	0.07
	11	0.006	0.009	0.01	0.015	0.02	0.025	0.028	0.035	0.038	0.045	0.055	0.06
M	12, 13	0.007	0.013	0.015	0.022	0.027	0.03	0.032	0.038	0.042	0.05	0.06	0.07
K	15-16	0.008	0.021	0.031	0.042	0.052	0.058	0.065	0.073	0.085	0.095	0.117	0.137
	17-18	0.007	0.021	0.031	0.042	0.052	0.058	0.065	0.073	0.085	0.095	0.117	0.137
H	38.1	0.006	0.007	0.008	0.012	0.017	0.021	0.025	0.027	0.03	0.035	0.04	0.05
	38.2	0.005	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009	0.01	0.013	0.015	0.02	0.025
	39	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.007	0.007	0.008	0.009	0.009	0.01	0.013

* Приведенные в таблице данные характеризуют черновое и получистовое фрезерование

Для чистовых проходов следует уменьшить табличные величины на 10-20%

Указания по выбору марок твёрдого сплава для цельных фрез - см. таблицу 10

** Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

*** D - диаметр фрезы (головки), мм

Назначение подач для фрез (головок) диаметром менее 1 мм рассматривается отдельно в руководствах по миниатюрному инструменту

Сменные сферические фрезерные головки системы МУЛЬТИ-МАСТЕР

Линия МУЛЬТИ-МАСТЕР предлагает потребителю широкий спектр сферических фрезерных головок с разными размерами, профилем и точностью. В комбинации с хвостовиками, удлинителями и переходниками головки позволяют создавать многочисленные конструкции сборного инструмента, отвечающие потребностям прессштампового производства.

Как и другие режущие головки МУЛЬТИ-МАСТЕР (90-градусные, тороидальные и т.д.), сферические головки выпускаются в двух главных конструктивных вариантах: многозубые ММ ЕВ... и двухзубые "экономичные" ММ НТ... (таблица 80).

Режущая геометрия головок ММ ЕВ... повторяет геометрию цельных твёрдосплавных фрез. Отличие - длина режущей кромки: у головок она как, правило, меньше. Назначение параметров режима резания для головок ММ ЕВ... происходит по такой же методике, как и для монолитных сферических фрез.

Таблица 80 Сферические фрезерные головки линии МУЛЬТИ-МАСТЕР

Головка	Тип	Режущая кромка	Режущая кромка	Передняя поверхн	Задняя поверхн.	Z*	Допуск Ø	Тв. сплав	Ø головки						Осн. виды обработки
		Сферич.	Цилиндр.						6	8	10	12	16	20	
MM HCR	эконом..	180°	есть	прессов.	шлифов..	2	h9	IC908							широкого применения
MM HRF								IC903						чистовая и обработка тв. сталей	
MM HBR		~240°	нет					IC908							
MM EB	шлифов..	180°	есть		шлифов..	2; 4	e8	IC908							широкого применения

* Число зубьев

Сферические головки MM H... называют экономичными не по причине меньшей точности. Более того, прецизионные головки MM HBR... и MM HRF... имеют жёсткий допуск на наружный диаметр (h7). Просто технология изготовления таких головок, как и других головок экономичного исполнения линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР**, предусматривает предварительное получение формы головки путём прессования с последующим спеканием с минимально необходимым припуском на окончательное шлифование передней и/или задней поверхностей. Следует отметить также, что прессование позволяет наделить головки особыми конструктивными свойствами, реализация которых методами шлифования монолитного стержня затруднительна, причём даже для новейших заточных станков: например, комбинация отрицательных значений переднего угла вблизи вершины с его положительными величинами на протяжении большей части сферического участка режущей кромки головки MM HCR..., заметное увеличение сферической кромки грушевидной (более 180°) головки MM HBR... и др. Зуб прессованной головки очень прочный и выдерживает значительное нагружение, что исключительно важно при черновом фрезеровании фасонных поверхностей и обработке материалов с высокой твёрдостью. В то же время угол наклона зубьев к оси фрезы (угол винтовой канавки) у данных головок значительно меньше, чем у цельных твёрдосплавных фрез и головок MM EB... .

Для изготовления большинства сферических головок линии **МУЛЬТИ-МАСТЕР** применяется твёрдый сплав марки IC908, а головки MM HRF..., предназначенные, в основном, для высокоточного чистового фрезерования сталей и чугуна высокой твёрдости, выпускаются из твёрдого сплава IC903.

Таблица 81 содержит усреднённые величины припуска для различных видов обработки основных групп материалов прессштампового производства с помощью фрез **МУЛЬТИ-МАСТЕР** с головками MM H... . Базовая скорость резания определяется по таблице 78, а базовая подача на зуб - по таблице 82.

Пример

Технологический процесс изготовления формы для литья под давлением предусматривает операцию удаления остаточного припуска сборным инструментом **МУЛЬТИ-МАСТЕР**, состоящим из хвостовика MM S-B-L125-C16-T06 и закреплённой в нём сферической головки MM HCR100-2T06 IC908. Материал формы - инструментальная штамповая сталь 4X5МФС с твёрдостью на момент операции HRC 40...42. Фрезерование производится проходами со снятием припуска до 0.2 мм на проход. Система СПИД характеризуется достаточной жёсткостью. Требуется определить начальные параметры режима резания.

Предположим, что все зубья фрезы участвуют в резании, а эффективный диаметр равен номинальному диаметру фрезы (10 мм) - худший из возможных случаев. Соответственно, коэффициент уменьшения стружки KTH=1.

Материал формы принадлежит к группе материалов ИСКАР No. 38.2 по стандарту VDI 3323.

Таблица 81. Сферические фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР ММ Н...: тип обработки и усреднённые величины снимаемого припуска

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	Обрабатываемый материал		Тип обработки		
				Черновая	Получистовая	Чистовая
P	1, 2, 4, 6, 10	мягкая сталь	HB<250	0.14×D**	0.08×D	0.02×D
	3, 7		HB 250...300	0.12×D	0.06×D	0.015×D
	5, 8, 9, 11	сталь средней твёрдости	HRC 30-37	0.11×D	0.05×D	0.01×D
	9-11		HRC 38-44	0.09×D	0.04×D	0.01×D
M	12, 13	мартен. нерж. ст.	HB<250	0.11×D	0.05×D	0.01×D
K	15-18	чугун	HB< 300	0.17×D	0.08×D	0.03×D
H	38.1	сталь и чугун высокой твёрдости***	HRC 45-49	0.09×D	0.04×D	0.01×D
	38.2		HRC 50-55	0.06×D	0.04×D	0.01×D
	39		HRC 56-63	0.05×D	0.03×D	0.01×D

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

** D - диаметр сферической фрезы (сменной головки)

*** Рекомендуемая марка твёрдого сплава головки - IC903

Фрезерование остаточного припуска

Как правило, при проектировании фрезерных операций технологических процессов, особенно черновых, планируют применение наиболее прочных и жёстких инструментов: таким образом обеспечивается высокий темп снятия материала. Во многих случаях форма инструмента и его размеры не позволяют резание на некоторых участках обрабатываемой заготовки, например, в углах полости штампа или пресс-формы (рис. 52). Сохранившийся материал, остаток, снимается путём фрезерования остаточного припуска - операцией технологического процесса, в ходе которой инструмент меньшего диаметра осуществляет удаление "излишков" материала. Обычно фрезерование остаточного припуска является одной из чистовых операций.

Цельные твёрдосплавные сферические фрезы и сферические фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР являются эффективным инструментом для резания остаточного припуска.

Рис. 52

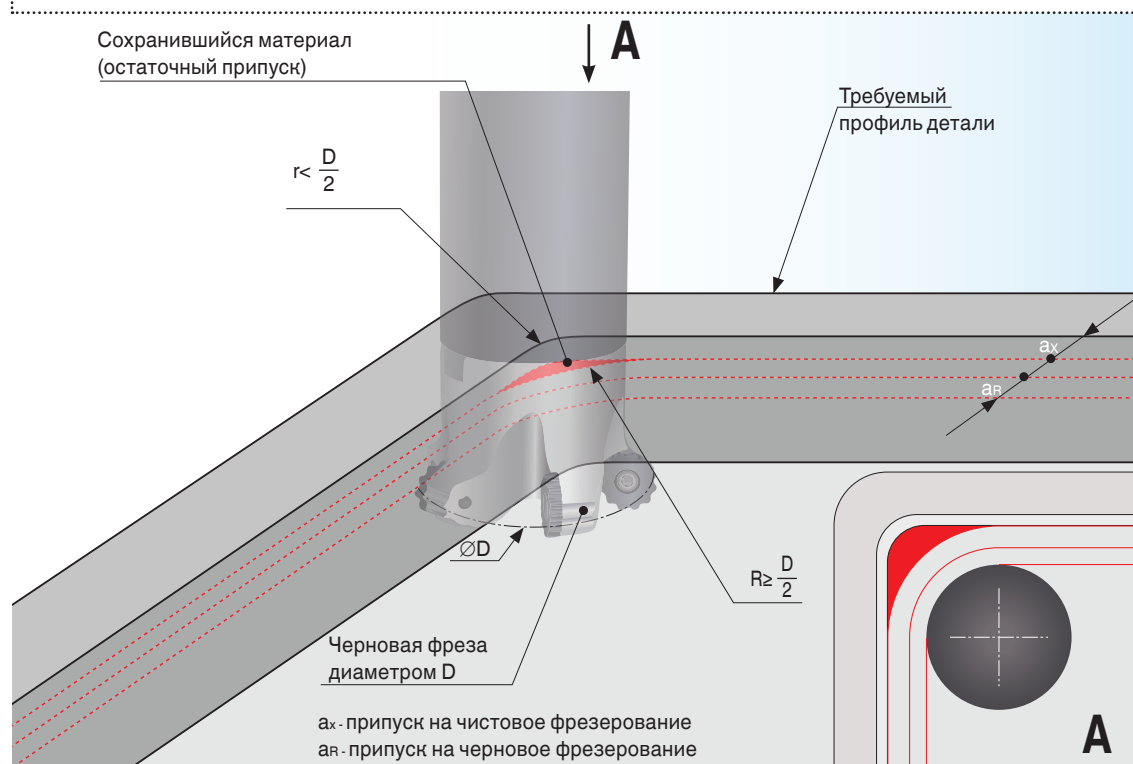


Таблица 82. Сферические фрезерные головки МУЛЬТИ-МАСТЕР ММ Н...:
базовая подача f_{zo}

Группа по ISO- DIN/ISO 513	Группа материала**	f_{zo} , мм/зуб, для диаметра D***				
		8	10	12	16	20
P	1-4	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13
	5	0.07	0.08	0.1	0.11	0.12
	6, 7	0.07	0.08	0.09	0.1	0.11
	8, 9	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
	10	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
	11	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
M	12, 13	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1
K	15-16	0.08	0.09	0.1	0.12	0.13
	17-18	0.08	0.09	0.1	0.11	0.12
H	38.1	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
	38.2	0.03	0.037	0.045	0.055	0.065
	39	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04

- * Приведенные в таблице данные характеризуют черновое и получистовое фрезерование
Для чистовых проходов следует уменьшить табличные величины на 10-20%
При черновом фрезеровании с использованием головок ММ HBR... табличные значения необходимо уменьшить на 10%
При фрезеровании стали и чугуна высокой твердости рекомендуется применять головки из твердого сплава IC903
- ** Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323
- *** D - диаметр сферической фрезы (сменной головки)

Сравнение припуска на проход с данными таблицы 81 показывает, что операция относится к чистовому фрезерованию. Следовательно, базовая скорость резания для периода стойкости головки 20 мин. составляет 165 м/мин (таблица 78), базовая подача - 0.06 мм/зуб (в таблице 82 приведено значение 0.07 мм/зуб, и его следует уменьшить на 10% в соответствии с примечанием к таблице).

Частота вращения шпинделя $1000 \times V_o / (\pi \times D_e) = 1000 \times 165 / (\pi \times 10) = 5252$ (об/мин)
Припрограммируемая скорость подачи $V_F = 0.06 \times 2 \times 5252 = 630$ (мм/мин)

3.4. Специальные методы: высокоскоростное фрезерование и обработка закалённой стали

Термин "высокоскоростная обработка" и его английская аббревиатура "HSM" (High Speed Machining) часто употребляются в промышленности и, в особенности, в прессоштамповом производстве. Что же это такое? Почему высокоскоростная обработка так актуальна в современной технологии изготовления штампов и пресс-форм?

К сожалению, единого определения высокоскоростной обработки пока ещё не существует, а аббревиатура "HSM", такая распространённая в переводной технической литературе может нести несколько значений:

- High cutting speed machining (обработка с высокой скоростью резания)
- High spindle speed machining (обработка с высокой частотой вращения шпинделя)
- High feed speed machining (обработка с высокой скоростью подачи)

Говоря о высокоскоростной обработке, её часто характеризуют как "... высокопроизводительный метод современной технологии резания с высокими частотой вращения шпинделя и скоростью подачи...", обеспечивающий ряд преимуществ. Понятно, что скорость резания, частота вращения шпинделя и скорость подачи связаны друг с другом. Увеличивается частота вращения шпинделя - растёт скорость подачи и т.д. Как определить скорость резания?

В разделе "Цельные твёрдосплавные сферические концевые фрезы" рассматривался пример фрезерования закалённой стали твёрдостью HRC 55. Пример показывает, что если действительная скорость резания (по отношению к эффективному диаметру) составила 50 м/мин, то её пересчёт на номинальный диаметр давал уже 182 м/мин. Более показательным является обработка сферическими фрезами различного диаметра с глубиной резания 0.1 мм (таблица 83). Таблица совершенно ясно демонстрирует, что при фрезеровании фасонных поверхностей с малой глубиной резания даже небольшие скорости резания приводят к существенной частоте вращения шпинделя, что в свою очередь, влечёт значительное увеличение скорости подачи.

Предположим, что у сферической фрезы диаметром 4 мм, приведенной в таблице 83, два зуба, и подача на зуб должна быть 0.04 мм/зуб. Тогда скорость подачи становится равной 815 мм/мин, 1222 мм/мин и 1630 мм/мин для скорости резания 40 м/мин, 60 м/мин и 80 м/мин соответственно!

Малые глубины резания в комбинации со значительной частотой вращения шпинделя являются характерными атрибутами высокоскоростного фрезерования. Данный же вид фрезерования, прогрессивный метод механической обработки, требует для своей реализации особой техники резания и специфических станков, держателей инструмента и разумеется, самого инструмента, обеспечивающего необходимую стойкость. Применение высокоскоростного фрезерования может привести к кардинальному сокращению основного времени.

Стоит, правда, заметить, что высокоскоростная обработка не всегда ведётся с большой частотой вращения шпинделя, и некоторые высокоскоростные фрезерные операции оперируют привычными значениями диапазона частот.

История: высокоскоростная обработка

В двадцатых-тридцатых годах XX века немецкий исследователь доктор-инженер Карл Саломон провёл серию экспериментов по измерению температуры в зоне резания по отношению к скорости резания при обработке различных конструкционных материалов. Графическое представление полученных результатов привело исследователя к предположению, что температура растёт с увеличением скорости до тех пор, пока скорость резания не приобретёт некоторое критическое значение, а затем с дальнейшим ростом скорости температура уменьшается (рис. 53). Следовательно, заключил Саломон, существует область скоростей, значительно превышающих обычные значения, для которых температура в зоне резания такая же, как и при общепринятых величинах скорости. По выдвинутой исследователем гипотезе речь идёт о скоростях, больших в 5-10 раз, чем нормальные.

Рис. 53

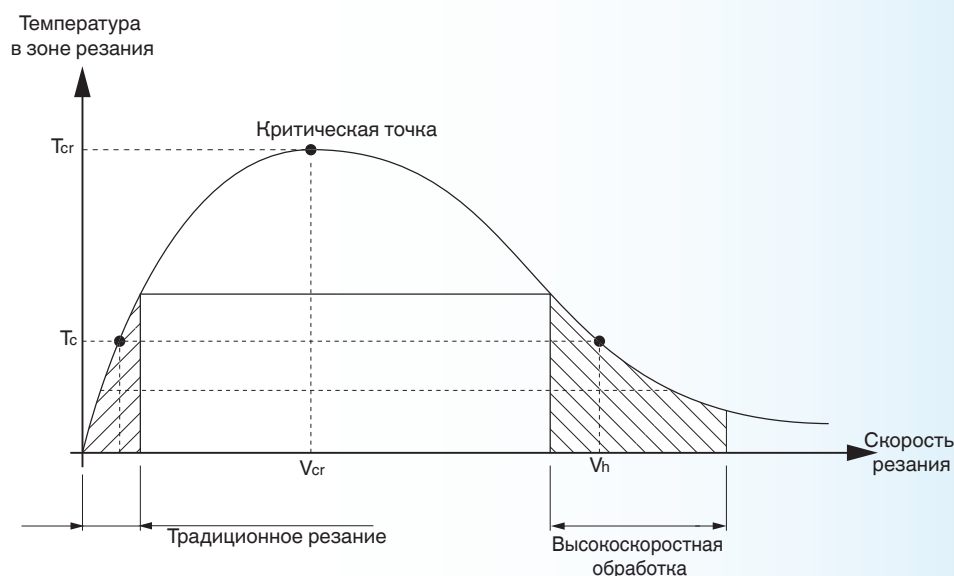


Таблица 83. Сравнительный пример: фрезерование сферическими фрезами различного диаметра с глубиной резания 0.1 мм

Vc, м/мин	D, мм											
	SØ 20		SØ 10		SØ 8		SØ 6		SØ 4		SØ 2	
	De= 2.8		De= 2		De= 1.77		De= 1.5		De= 1.25		De= 0.87	
	об/мин	VcD	об/мин	VcD	об/мин	VcD	об/мин	VcD	об/мин	VcD	rpm	VcD
40	4547	286	6366	200	7193	181	8488	160	10186	128	14635	92
60	6820	429	9549	300	10789	271	12732	240	15279	192	21952	138
80	9094	572	12732	400	14386	362	16976	320	20372	256	29270	184

D - номинальный диаметр фрезы

De, мм, - эффективный диаметр фрезы для глубины 0.1 мм

Vc - скорость резания по отношению к эффективному диаметру De

об/мин - частота вращения шпинделя

VcD, м/мин - скорость резания по отношению к номинальному диаметру фрезы D

Сегодня высокоскоростное резание прочно укоренилось в обработке алюминия в аэрокосмической и автомобильной отраслях промышленности, а также в изготовлении штампов и форм. И именно в прессоштамповом производстве высокоскоростное резание принесло радикальные перемены в технологический процесс.

Традиционный подход к изготовлению штампов и форм предполагает большую долю резания металла невысокой твёрдости (мягкого металла), потом - термическое упрочнение, электроэрозионная обработка, чистовое резание закалённого металла (с высокой твёрдостью), а затем - ручные доводка и полирование. Обработка электрической эрозией и ручные отделочные операции требуют немалых затрат времени. Воспроизводимость - точность повторения результирующего профиля - ручными работами оставляет желать лучшего, что приводит к дополнительным трудностям. Острая конкуренция на рынке производителей штампов и пресс-форм диктует изготовителю предельное сокращение цикла изготовления и всемерное уменьшение ручной отделки. Достижения в области устройств ЧПУ, технологии всемерное уменьшение, привода, подшипников и других элементов металлорежущих станков, прогресс в прецизионных держателях инструмента с возможностью их точной балансировки и конечно же, совершенствование инструментальных материалов и режущей геометрии открыло перед высокоскоростной обработкой широкую дорогу к прессоштамповому производству. Новый метод оказался очень успешным. Он изменил представление о технологическом процессе, позволив сразу начинать обработку закалённых заготовок, значительно снизил потери, связанные с переустановкой и выверкой деталей, и практически исключил ручную отделку. Производственный цикл сократился на 40-50%! Поэтому высокоскоростная обработка в изготовлении штампов и пресс-форм связана прежде всего с высокоскоростным фрезерованием закалённой стали и особенно, фрезами малого диаметра.

Сталь высокой твёрдости

Стали высокой твёрдости (закалённые стали, твёрдые стали) являются труднообрабатываемыми сталями. Не так давно твёрдость HRC 45 считалась предельной для резания, и для более твёрдых материалов рекомендовалось применять абразивную обработку. Достижения инструментальной промышленности изменили устоявшиеся понятия о граничных значениях твёрдости. Сегодня, говоря о твёрдых сталях, обычно подразумевают твёрдость HRC 60 и более. И применительно к таким сталям высокоскоростная обработка является действенным средством для их эффективного резания.

Резание закалённой стали характеризуется интенсивным выделением тепла и часто сопровождается вибрациями. В результате уменьшается стойкость инструмента, снижаются точность и устойчивость обработки и т.д., что приводит к проблемам прогнозирования и планирования операции. Такая неопределённость совершенно неприемлема для прессштампового производства, особенно при изготовлении крупногабаритных штампов и форм, которые требуют длительной механической обработки, измеряемой иногда днями. Высокоскоростное резание предоставляет хорошие возможности для преодоления указанных трудностей. Конечно, высокоскоростная обработка - это не только режущий инструмент, но также и станки особой конструкции, специфические системы управления, инструментальные наладки и методы их закрепления - только правильная комбинация всех необходимых составляющих приведёт к успеху.

По существу, высокоскоростная обработка закалённой стали является комплексным технологическим методом, и все его компоненты от металлорежущего станка до инструмента - обязательные и одновременно критические звенья всего процесса. Она существенно отличается от традиционного фрезерования твёрдой стали и высокоскоростного резания мягкой стали. Поэтому выбор самого подходящего инструмента и назначение начального режима резания требует более глубокого изучения, и мы рекомендовали бы привлечь к нему специалиста компании ИСКАР в данной области. В то же время, для первичной оценки и общей информации по обсуждаемой теме можно воспользоваться таблицей 84, в которой содержатся усреднённые значения, относящиеся к цельным твёрдосплавным концевым фрезам и инструментам с фрезерными головками **МУЛЬТИ-МАСТЕР** диаметром 4...25 мм.

Эмпирическое правило

При высокоскоростной обработке закалённой стали начальную подачу на зуб часто определяют как 0.5-1% диаметра фрезы. Меньшие значения относятся к более твёрдой стали.

Таблица 84. Усреднённые параметры режима резания при высокоскоростном фрезеровании стальных заготовок

Твёрдость		Средняя	Повышенная и высокая			
Группа материала*		11	38.1	38.2	39.1	39.2
Твёрдость, HRC		38-44	45-49	50-55	56-60	>60
Черновое фрезерование	ae	(0.40-0.70)D	(0.40-0.60)D	(0.40-0.60)D	(0.35-0.55)D	(0.30-0.50)D
	ap	(0.07-0.15)D	(0.06-0.12)D	(0.05-0.08)D	(0.04-0.07)D	(0.03-0.07)D
	Vc, м/мин	120-190	100-170	90-150	70-100	60-80
	fz, мм/зуб	0.03-0.24	0.03-0.22	0.03-0.2	0.03-0.17	0.02-0.14
Получистовое фрезерование	ae	(0.40-0.70)D	(0.40-0.60)D	(0.35-0.55)D	(0.35-0.45)D	(0.30-0.45)D
	ap	(0.05-0.12)D	(0.04-0.09)D	(0.03-0.07)D	(0.03-0.05)D	(0.02-0.05)D
	Vc, м/мин	140-200	130-180	120-170	90-150	70-130
	fz, мм/зуб	0.03-0.22	0.03-0.2	0.03-0.17	0.03-0.14	0.02-0.12
Чистовое фрезерование	ae	(0.40-0.70)D	(0.40-0.55)D	(0.35-0.50)D	(0.35-0.45)D	(0.30-0.40)D
	ap	(0.04-0.1)D	(0.03-0.08)D	(0.02-0.06)D	0.1-0.4 мм	0.1-0.3 мм
	Vc, м/мин	150-230	180-220	170-190	130-200	110-160
	fz, мм/зуб	0.03-0.2	0.03-0.18	0.02-0.15	0.02-0.13	0.015-0.11

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

D - диаметр фрезы

ae - ширина резания / шаг строчечной подачи

ap - глубина резания / смещение фрезы в осевом направлении после прохода

Vc - скорость резания по отношению к эффективному диаметру De

Стоит проверить!

Рассматривая вопросы высокоскоростной обработки, в частности, фрезерования закалённой стали сферическими фрезами, некоторые источники технической информации, особенно содержащие рекламные материалы, оперируют не совсем корректными величинами скорости резания. Следует проверить, как определена скорость: по отношению к эффективному или номинальному диаметрам фрезы.

Возьми на заметку!

Различные исследования показывают, что при высокоскоростной обработке сферическими фрезами для обеспечения наименьшей шероховатости поверхности шаг строчечной подачи (смещение фрезы в боковом направлении после окончания прохода) должен быть равным подаче фрезы на оборот.

Пример

Совершенствуя процесс изготовления плиты полости пресс-формы, технолог инструментального участка планирует организацию высокоскоростного фрезерования на заключительных стадиях процесса. С этой целью готовится эксперимент по фрезерованию плиты цельной твёрдосплавной концевой фрезой EC-A4 060-13C06-50 IC903 на недавно приобретённом высокоскоростном вертикальном обрабатывающем центре. Материал плиты - легированная инструментальная сталь 95ХГВФ твёрдостью HRC 58...60. Требуется назначить начальный режим резания.

Имеется достаточно оснований для предположения, что система СПИД обладает необходимой жёсткостью. Материал плиты характеризуется группой материалов ИСКАР No. 39.1 по стандарту VDI 3323. Принимая в расчёт, что в таблице 84 представлены данные для фрез 4...25 мм, а диаметр испытываемой фрезы 6 мм, можно установить следующие значения параметров режима:

Ширина резания = $0.4 \times 6 = 2.4$ мм

Глубина резания = 0.15 мм

Скорость резания = 130 м/мин

Подача = 0.03 мм/зуб

Частота вращения шпинделя = $1000 \times 130 / (\pi \times 6) = 6896$ (об/мин) ≈ 7000 об/мин

Скорость подачи = $0.03 \times 4 \times 7000 = 840$ мм/мин

Замечание

Найденная в примере частота вращения шпинделя лежит в пределах "традиционных" значений. Но не стоит забывать, что рассматриваемый пример относится к фрезерованию стали высокой твёрдости, для которой "обычная" скорость резания (и соответственно, частота вращения шпинделя) в два раза меньше!

3.5. Специальные методы: фрезерование осевым врезанием

Фрезерование осевым врезанием, называемое также скульптурным фрезерованием, врезным фрезерованием и даже "плунжерованием", представляет собой высокопроизводительный метод черновой обработки, при котором вращающаяся фреза движется с подачей вдоль собственной оси (рис. 54), и подобно сверлению, погружается в материал заготовки. Однако, несмотря на то, что некоторые работающие по методу осевого врезания фрезы используются для образования отверстий, их главное назначение - фрезерование выемок, стен и пазов.

Рис. 54



Обычно фрезерование осевым врезанием проходит циклически: фреза входит в материал с подачей вдоль своей оси, возвращается назад, смещается на шаг и повторяет отмеченные движения. Понятно, что такая техника обработки производит зазубренную поверхность с выступами, высота которых снижается с уменьшением шагового смещения, однако как правило, всё равно требует дополнительного фрезерования поверхности для обеспечения необходимой точности профиля и шероховатости.

Фрезерование осевым врезанием быстро завоевало популярность среди производителей штампов и пресс-форм благодаря одному своему важному качеству: обработка с большим вылетом инструмента не приводит к существенным нагрузкам фрезы в радиальном направлении. Следовательно, и изгиб фрезы в таком случае будет минимальным. При фрезеровании же "обычными" методами, когда движение подачи направлено под углом к оси инструмента, и фреза удаляет материал слой за слоем последовательными проходами, большой вылет порождает серьёзное увеличение радиальной составляющей силы резания и изгибающего момента. Во многих случаях фреза не в состоянии выдержать такое нагружение. Кроме того, значительная часть нагрузки передаётся шпинделю станка. В результате наблюдаются вибрации, шум, изгиб фрезы - факторы, определяющие снижение точности обработки, повреждение инструмента, его держателя и даже самого станка. В попытке противостоять им приходится уменьшать значения параметров режима резания и снижать производительность фрезерной операции.

При фрезеровании осевым врезанием основная составляющая силы резания действует вдоль оси фрезы - как раз в направлении наибольшей жёсткости станка, что определяет высокопроизводительную обработку и предельно уменьшает отклонение от прямолинейности генерируемой стенки в направлении подачи. Фрезы, работающие по методу осевого врезания, называют врезными или плунжерными (а также и "плунжерами" в профессиональном жаргоне). В дополнение к способности работать по методу осевого врезания многие конструкции таких фрез позволяют их применение для торцевого фрезерования с ограниченной глубиной резания (для обеспечения плоской поверхности дна полости, например), фрезерования на большом вылете с высокой подачей на зуб, зенкерования и других операций.

Программа стандартной линии ИСКРА предусматривает разнообразные семейства врезных фрез. В таблице 85 представлены общие данные о их наиболее популярных представителях..

Возможность осевого врезания

Фрезерование осевым врезанием не является исключительной функцией только врезных фрез. Некоторые другие инструменты (например фрезы **МУЛЬТИ-МАСТЕР** с тороидальными головками ММ НТ...) тоже в состоянии реализовать такую технику обработки. Правда их использование в качестве плунжерных фрез сопряжено с рядом ограничений и может рассматриваться в качестве дополнительной возможности.

Таблица 85. Основные семейства врезных фрез компании ИСКАР

Семейство	Обозначение	Диаметры, мм	Крепление пластины	Исполнение фрезы			Резание центром	Доп. функции		
				С хвостовиком	Насадная	FLEXFIT*		Торцевое фрез.-е	С высокой подачей	Врезание под углом
TANGPLUNGE	HTP ...LN10	25...52	Тангенциальное	■	■	■	Нет	■		
	HTP ...LN16	50...100	Тангенциальное		■			■		
HELITANG	FTP ...LN10	50...63	Тангенциальное		■				■	■
PLUNGER	PH ...-13	40...63	Тангенциальное		■	■	Есть	■		
	PLX ...-12	32...80	Радиальное		■					

* Сменные головки для сборных фрез системы FLEXFIT

Фрезерование осевым врезанием является эффективным и экономичным методом черновой обработки глубоких полостей, отвесных стен, пазов и фасонных поверхностей. Однако, правильное определение траектории инструмента и подготовка управляющей программы имеют ряд специфических особенностей. В этой связи мы рекомендуем бы изучить соответствующие руководства и инструкции компании ИСКАР или обратиться к местному представителю компании, занимающимся фрезерованием, для получения консультации в данном вопросе.

В то же время для лучшего понимания вопроса рассмотрим назначение начальных параметров режима резания для наиболее популярных врезных фрез HTP ...LN семейства TANGPLUNGE.

Высекать фрезерованием

Возвратно-поступательные движения инструмента при врезном фрезеровании напоминают работу скаргеля в руках скульптора, обрабатывающего камень на ранних стадиях ваяния. Скаргель тоже удаляет материал путём последовательного врезания. Видимо по этой причине врезное фрезерование и называют скульптурными. Часто скульптурной называют и полученную в результате врезного фрезерования поверхность (её отличает множество выемок разной глубины), но такое определение не совсем корректно и относится, пожалуй, больше к области ваяния, чем к обработке металлов резанием.

Рис. 55



Начальная скорость резания V_c и подача на зуб f_z определяются по формулам (17) и (18):

$$V_c = V_o \times KH \times Kt \quad (17)$$

$$f_z = f_{zo} \times KH \quad (18)$$

Где: V_o – базовая скорость резания для периода стойкости 20 мин. (таблица 88),
 KH – коэффициент вылета фрезы (таблица 86),
 Kt – коэффициент стойкости (таблица 8),
 f_{zo} – базовая подача на зуб (таблица 89).

Таблица 86. Коэффициент вылета фрезы для врезных фрез TUNGPLUNGE как функция отношения вылета инструмента H к его номинальному диаметру D

H/D	до 4	свыше 4 и менее 6	свыше 6 и менее 8	свыше 8 и менее 10
KH	1	0.9	0.8	0.7

Таблица 87. Врезные фрезы TANGPLUNGE HTP...LN: наибольшее пошаговое смещение $L1_{max}$ и ширина фрезерования ae для номинального диаметра инструмента D^* (рис. 56)

ae, мм	D, мм															
	HTP... 06			HTP...10								HTP...16				
	16	20	25	25	32	35	40	42	50	52	50	52	63	66	80	100
	L1max, мм															
1	7.7	8.7	9.8	9.8	11.1	11.7	12.5	12.8	14	14.3	14	14.3	15.7	16.1	17.8	19.9
2	10.5	12	13.5	13.5	15.4	16.2	17.4	17.8	19.5	20	19.5	20	22	22.6	24.9	28
3	12.4	14.2	16.2	16.2	18.7	19.6	21	21.6	23.8	24.3	23.8	24.3	26.8	27.5	30.4	34.1
4	13.8	16	18.3	18.3	21.2	22.3	24	24.6	27.1	27.7	27.1	27.7	30.7	31.4	34.8	39.1
4.5	14.3	16.7	19.2	19.2	22.2	23.4	25.2	25.9	28.6	29.2	28.6	29.2	32.4	33.2	36.8	41.4
5		17.3	20	20	23.3	24.5	26.5	27.2	30	30.7	30	30.7	34	34.9	38.7	43.6
6				21.3	25	26.4	28.6	29.4	32.5	33.2	32.5	33.2	37	37.9	42.1	47.5
7				22.4	26.4	28	30.3	31.3	34.7	35.5	34.7	35.5	39.6	40.6	45.2	51
7.5				22.9	27.1	28.7	31.2	32.2	35.7	36.5	35.7	36.5	40.8	41.8	46.6	52.6
8					27.7	29.4	32	33	36.7	37.5	36.6	37.5	41.9	43	48	54.3
9											38.5	39.3	43.1	45.3	50.5	57.2
10											40	41	46	47.3	52.9	60
11											41.4	42.5	47.8	49.2	55.1	62.6
12											42.7	43.8	49.5	50.9	57.1	65
13											43.8	45	51	52.5	59	67.3
14													52.4	53.9	60.8	69.4

* Взаимосвязь величин $L1_{max}$ и ae определяется следующим уравнением: $L1_{max} = 2 \times \sqrt{D \times ae - ae^2}$

Рис. 56

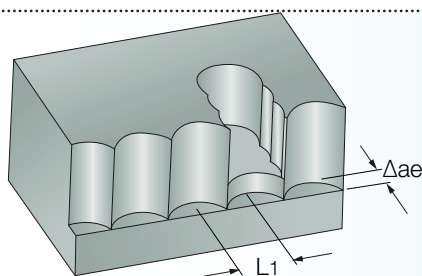


Таблица 88. Врезные фрезы TANGPLUNGE НТР...LN: базовая скорость резания Vo, м/мин*

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала**	Vo для марки твёрдого сплава ИСКАР					
		IC808	IC810	IC830	IC928	IC330	IC328
P	1	190	175	165	155	150	145
	2-4	175	155	150	140	135	135
	5	155	145	140	135	130	130
	6, 7	150	140	135	130	125	120
	8, 9	150	140	135	130	125	120
	10	140	140	135	130	125	120
	11	130	125	125	120	115	110
M	12, 13	145		135	130	125	120
K	15-16	210	230	210	200		
	17-18	175	180	170	165		
H	38.1	105		95	90		

* Для периода стойкости 20 мин.

** Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

□ - Наиболее подходящая марка сплава

Врезание в ... стружку

При фрезеровании различных полостей и карманов, особенно большой глубины, методом осевого врезания вопросы стружкоудаления приобретают особую остроту. Станки с горизонтальным расположением шпинделя главного движения обладают в этом случае лучшими условиями для организации удаления стружки, у станков с вертикальным шпинделем положение несколько хуже. Для станков с вертикальным шпинделем очень важно построить траекторию инструмента так, чтобы стружка не создавала дополнительные препятствия фрезе: желательно скопление стружки в местах, свободных от движений фрезы, следует избегать дополнительного сжатия стружки и её вторичного резания - указанные факторы представляют серьёзные проблемы и могут привести к существенной потере стойкости фрезы.

Таблица 89. Врезные фрезы TANGPLUNGE НТР...LN: базовая подача на зуб fzo, мм/зуб

Группа по ISO DIN/ISO 513	Группа материала*	fzo для марки твёрдого сплава ИСКАР			
		IC808	IC810	IC830 IC928	IC330 IC328
P	1	0.12	0.13	0.14	0.15
	2-4	0.11	0.11	0.12	0.13
	5	0.1	0.11	0.12	0.12
	6, 7	0.1	0.11	0.12	0.12
	8, 9	0.09	0.1	0.11	0.12
	10	0.08	0.09	0.1	0.11
	11	0.08	0.09	0.1	0.1
M	12, 13	0.08		0.1	0.1
K	15-16	0.13	0.15	0.16	
	17-18	0.11	0.12	0.13	
H	38.1	0.07		0.08	

* Группа материалов ИСКАР по стандарту VDI 3323

Возьми на заметку!

Фрезерование осевым врезанием может служить хорошим решением для обработки заготовок на станках с ограниченной мощностью главного привода.

Во врезных фрезах НТР используются пластины следующих двух типов: НТР LNHT... ER широкого применения и НТР LNHT...ETR, рекомендуемые для заготовок из труднообрабатываемых и закалённых сталей, а также для резания в тяжёлых режимах.

Пример

При проектировании технологии изготовления полости формы на недавно приобретённом станке принято решение применить осевое врезание насадной фрезой НТР D040-4-16-R-LN10 с закреплёнными в ней пластинами НТР LNHT 1006 ER IC830. Материал заготовки - легированная инструментальная сталь 4ХС твёрдостью HRC 30...35. Для обеспечения глубины врезания 100 мм фрезу будут устанавливать на оправке DIN69871 40 SEMC 16X100, и вылет инструмента в таком случае составит 140 мм (от базового сечения конического хвостовика оправки).

Ширина фрезерования составляет 5 мм, пошаговое смещение - 20 мм.

Требуется произвести оценку начальных параметров режима резания для периода стойкости 60 мин.

Указанная сталь принадлежит к группе материалов ИСКАР No. 9 по стандарту VDI 3323.

Базовая скорость резания $V_0 = 135$ м/мин (таблица 88).

Базовая подача $f_{z0} = 0.11$ мм/зуб (таблица 89).

Отношение вылета фрезы к её диаметру $140/40$ меньше 4, следовательно, коэффициент $K_H=1$ (таблица 86).

Таким образом:

- начальная скорость резания для периода стойкости 60 мин. ($K_t=0.8$, таблица 8) $V_c = 135 \times 1 \times 0.8 = 108$ (м/мин) (округляя, можно принять 110 м/мин),

- начальная подача $f_z = 0.11 \times 1 = 0.11$ (мм/зуб).

Частота вращения шпинделя = $1000 \times 108 / (\pi \times 40) \approx 860$ (об/мин)

Скорость подачи = $0.11 \times 4 \times 860 \approx 378$ (мм/мин)

ITA - ваш помощник в подборе наиболее эффективного инструмента

ITA, Iscar Tool Advisor, - это поисковая программная система, которая осуществляет подбор требуемого инструмента и определение ряда параметров, необходимых для проектирования технологического процесса, на действительно ином уровне. Она "думает" как инженер-технолог и ведёт поиск инструмента с помощью обширной базы знаний, учитывающий опыт эксплуатации инструмента в различных странах.

Главные три особенности, отличающие её от других поисковых систем в данной области, следующие:

- **Quick Search/Advanced Search Option**, режимы быстрого поиска/расширенного поиска. Используя только три параметра, характеризующих операцию, работа в режиме быстрого поиска приводит к лучшему выбору принципов и стратегии резания, отдавая предпочтение достижениям наивысшей производительности. Режим расширенного поиска требует больше входных данных об операции, уменьшает число возможных вариантов и в итоге предлагает пользователю обоснованное оптимальное решение.
- ИТА в состоянии учесть пожелания пользователя по предпочтительному выбору и взять в расчёт разнообразные индивидуальные ограничения (Shop Preferences and Variables). Пользователь может оговорить свои предпочтения, например, преимущественный выбор монолитного инструмента, название линии, семейство и т.п., а также и такие критерии поиска, как производительность/расходы на инструмент и потребляемая мощность. Поиск можно организовать по типу обработки, доступной частоте вращения шпинделя, мощности привода главного движения, общему состоянию станка, жёсткости системы СПИД, вылету инструмента и многим другим дополнительным характеристикам. Использование ограничений по тем или иным данным (Variables) делает систему исключительно удобной для различных специфических случаев и конкретных предприятий. Создатели системы компании ИСКАР представляют, что производственники хотели бы эффективно использовать один и тот же инструмент на нескольких операциях, и предусмотрели это при создании ИТА.
- Не только подбор режущего инструмента, но и необходимые технологические данные - работая в режиме расширенного поиска, пользователь может найти и рекомендации по параметрам режима резания для своего оборудования и предлагаемую инструментальную оснастку.

Посетите сайт www.iscar.com/ITA и оцените возможности новой поисковой системы! Доступны также и версии на CD - обращайтесь к местным представителям компании!

Инструменты для обработки отверстий

Говоря о режущем инструменте для производства штампов и пресс-форм, подразумевают, как уже неоднократно отмечалось, прежде всего фрезы. Действительно, большинство операций механической обработки резанием по изготовлению штампов и форм относятся к фрезерованию, что и делает фрезы столь характерными для отрасли. Однако трудно представить, что какой-либо технологический процесс прессоштампового производства обходится без операций обработки отверстий, и в этой связи краткий обзор наиболее популярных соответствующих инструментов в рамках данного руководства представляется полезным.

Программа инструмента стандартной поставки компании ИСКАР включает богатое разнообразие свёрл, развёрток, зенкеров и зенковок, как цельных, так и со сменными пластинами и сменными режущими головками.

Одним из наиболее эффективных решений для сверления с малой и средней глубинами является **SUMOCHAM** - относительно новое семейство свёрл со сменными головками (рис. 57). Головки выпускаются в четырёх исполнениях режущей геометрии, направленных на обработку основных типов конструкционных материалов. Путём закрепления головки в стальных хвостовиках различной длины получают высокоэффективные свёрла для изготовления отверстий разной глубины: от полтора диаметра инструмента до восьми диаметров. Прочная конструкция хвостовика имеет спиральные внутренние каналы для подачи СОЖ, а форма винтовой стружечной канавки обеспечивает хорошие условия для отвода стружки. Уникальный принцип крепления позволяет вести обработку на исключительно высоких режимах.

Семейство свёрл относительно большого диаметра (60 мм и выше) **SUMODRILL** использует принцип крепления квадратных сменных пластин в кассетах, которые, в свою очередь, устанавливаются в корпусе инструмента. Каждое сверло поставляется вместе с комплектом регулировочных планок для настройки на диаметр внутри указанного диапазона в случае необходимости (рис. 58).

Свёрла для глубокого сверления со сменными режущими головками **CHAMGUN** (рис. 59) обеспечивают высокопроизводительную и точную обработку в сочетании с малой шероховатостью получаемой поверхности. Существует несколько вариантов конструктивного исполнения головок по их режущей геометрии, предназначенных для сверления отверстий в заготовках из разных материалов. Замена головки производится непосредственно на закрепленном в шпинделе сверле.

По сравнению с традиционными развёртками семейство высокоскоростных инструментов со сменными твёрдосплавными головками **BAYO T-REAM** позволяет значительно увеличить производительность развёртывания. Развёртки этого типа отличаются своеобразным байонетным механизмом надёжного закрепления головки в корпусе и её быстрой смены и направлены на обеспечение точности отверстия по H7. Внутренние каналы, предусмотренные в конструкции, служат для подвода СОЖ прямо к режущим кромкам.

В таблице 90 собраны общие данные, характеризующие наиболее распространённые свёрла.

Рис. 57

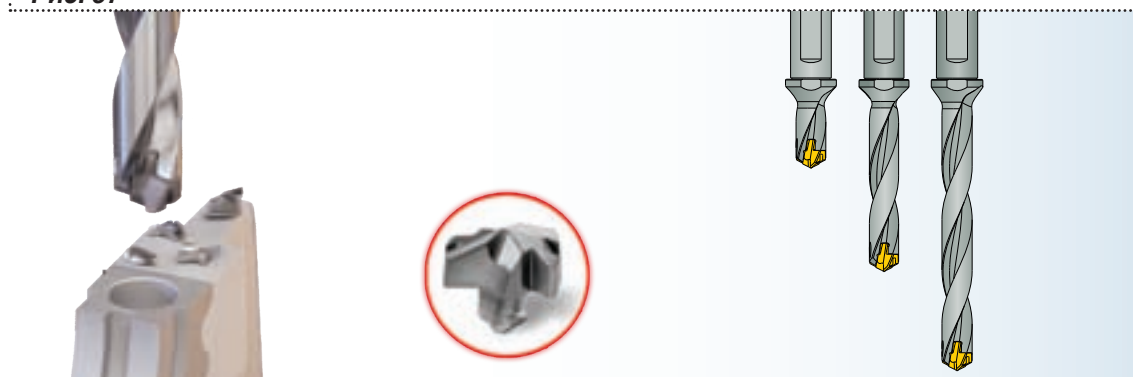


Рис. 58

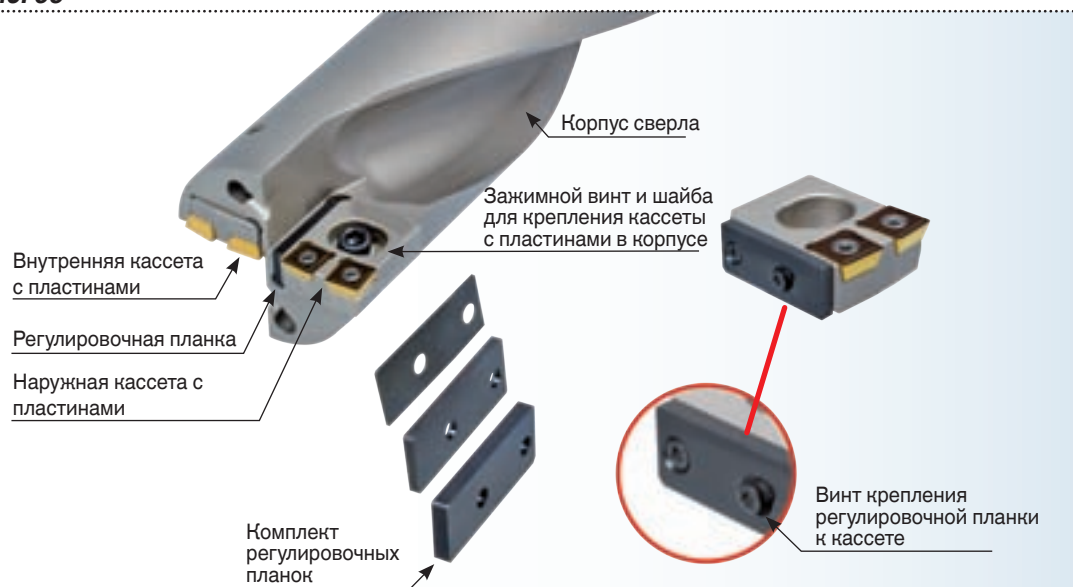


Рис. 59



Модульный принцип конструирования и многофункциональность

Подобно уже рассмотренным линиям фрез, принцип, когда в одном корпусе можно закреплять головки разной режущей геометрии и наоборот, когда одна и та же сменная головка пригодна для установки в различных корпусах, широко распространён в конструкциях инструментов для обработки отверстий. Многофункциональные и надёжные в эксплуатации свёрла и развёртки со сменными режущими головками **SUMOCHAM**, **CHAMGUN** и **BAYO T-REAM** спроектированы как раз в соответствии с таким принципом. Они не требуют дополнительного времени на поднастройку инструмента при замене головки и предоставляют прессоштамповому производству эффективное решение для увеличения производительности металлообработки и повышения рентабельности предприятия.

Таблица 90. Популярные семейства свёрл производства ИСКАР

Семейство	Обозначение	Тип	Диаметр, мм	Наиб. глубина сверления	Примечания
SOLIDDRILL	SCD...	Цельные твёрдосплавные	0.8...20	5xD*	двухзубая
			3...10	8xD	
			5...10	20xD	
	SCCD...		3...20	5xD	трёхзубая
SUMOCHAM	DCN...	Со сменными головками	6...25.9	12xD	
DR-TWIST	DR...	Со сменными пластинами	12...60	5xD	
ISCAR DR-DH	DR-DH...	Со сменными пластинами	25.4...69.5	св. 5xD	
SUMODRILL	DR...CA-N	Со сменными пластинами в кассетах	61...80	~2.5xD	с диам. настройкой
CHAMGUN	STGT...	Со сменными головками	10...16	глубокое сверление	

* D - номинальный диаметр сверла

В заключение

Авторы руководства полны надежды, что оно предоставит сжатую, но действительно необходимую информацию, позволяющую подобрать наиболее подходящий инструмент и назначить для него начальные параметры режима резания.

Данное руководство призвано служить практическим дополнением к каталогам и другим техническим материалам компании ИСКАР, и авторы будут искренне рады, если оно окажется действенным в решении различных производственных задач.

Выступая в качестве краткого справочника, руководство лишь затрагивает некоторые темы, связанные с режущим инструментом в прессоштамповом производстве. Поэтому авторы рассчитывают на отзывы и предложения читателей. Оказалось ли руководство полезным? Что следовало бы добавить? Сократить? Каков Ваш личный опыт, читатель, в работе инструментом компании ИСКАР при изготовлении штампов и пресс-форм?

Авторы будут ждать замечаний и предложений по улучшению руководства и в сотрудничестве с Вами, читатель, сделают его более совершенным и более эффективным.

3P (3): Productivity, Performance, and Profitability - Производительность, Показатели предприятия, Прибыльность

Символ "3P" на упаковке многих изделий компании ИСКАР - не только отличительная особенность новейшей продукции, но и отражение трёх основных принципов, "трёх китов" подхода компании к задачам режущего инструмента по отношению к потребителю. Через прогрессивный инструмент к увеличению производительности операций резания для улучшения показателей предприятия и повышения прибыльности - это и есть дорога к настоящему взаимовыгодному сотрудничеству и действительному партнёрству между компанией ИСКАР и её заказчиками.



Оценка мощности холостого хода двигателя Рм

Мощность холостого хода Рм обычно составляет 7-12% общей потребляемой мощности. Для предварительной оценки можно использовать данные таблицы ниже.

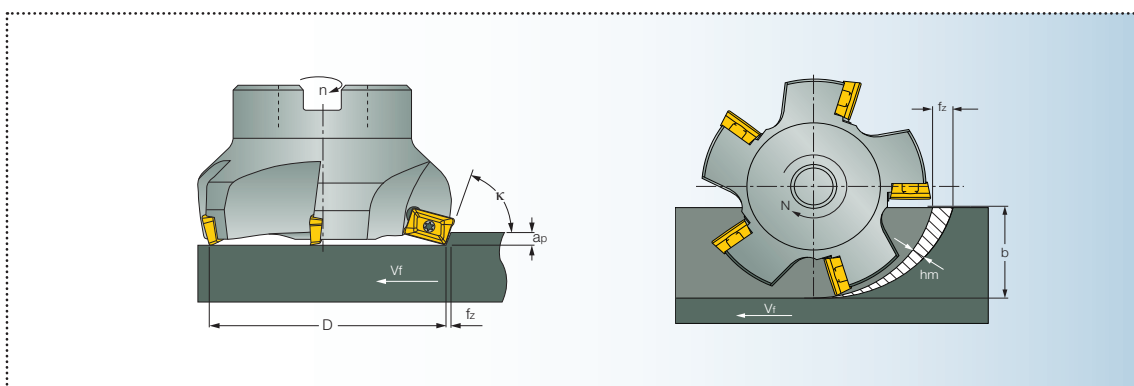
Общая мощность (кВт)	Мощность хол. хода (кВт)
5.5	0.4
7.5	0.4-0.6
11.0	1.0
15.0	1.5
18.0	2.2
22.0	2.5

$$P = P_c + P_m$$

P - общая потребляемая мощность

Pc - мощность резания

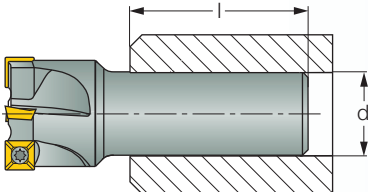
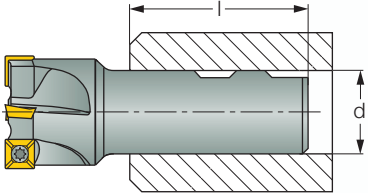
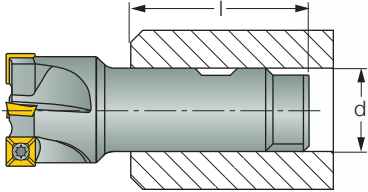
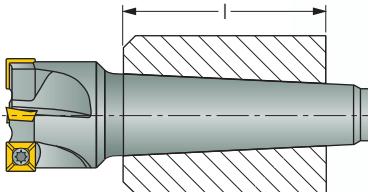
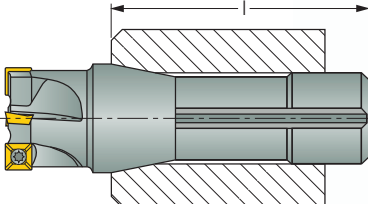
Pm - мощность холостого хода



Формулы для расчёта	
Скорость резания	$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000}$ [м/мин]
Частота вращения шпинделя	$N = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$ [об/мин]
Скорость подачи	$V_F = f_z \cdot Z \cdot N$ [мм/мин]
Подача на зуб	$f_z = \frac{V_F}{N \cdot Z}$ [мм/зуб]
Подача на оборот	$f_N = f_z \cdot Z$ [мм/об]
Скорость снятия материала	$Q = \frac{a_p \cdot b \cdot V_f}{1000}$ [см³/мин]
Машинное время	$T_h = \frac{L_w}{V_f}$ [мин]
Удельная сила резания	$K_c = K_{c1} \cdot h_m^{-mc}$
Средняя толщина стружки при фрезеровании уступа для b/D ≤ 0.1	$h_m \approx f_z \cdot \sqrt{\frac{b}{D}}$ [мм]
Средняя толщина стружки при фрезеровании уступа для b/D > 0.1	$h_m = \frac{(\sin \kappa \cdot 180 \cdot b \cdot f_z)}{\pi \cdot D \cdot \arcsin(b/D)}$ [мм]
Мощность резания	$P = \frac{(a_p \cdot b \cdot V_f \cdot K_c)}{6 \cdot 10^7 \cdot \eta}$ [кВт]

V _c	[м/мин]	Скорость резания
D	[мм]	Диаметр фрезы
N	[об/мин]	Частота вращения шпинделя
V _F	[мм/мин]	Скорость подачи
f _z	[мм/зуб]	Подача на зуб
Z _{eff}		Число эффективных зубьев
f _N	[мм/об]	Подача на оборот
Q	[см³/мин]	Скорость снятия материала
a _p	[мм]	Глубина резания
b	[мм]	Ширина резания
T _h	[мин]	Машинное время
L _w	[мм]	Длина фрезерования
K _c	[Н · мм²]	Удельная сила резания
K _{c1} ⁽¹⁾	[Н · мм²]	Удельная сила резания при снятии 1 мм² материала
H _m	[мм]	Средняя толщина стружки
m _c ⁽¹⁾		Показатель степени для толщины стружки
κ	[°]	Угол фрезы в плане
P	[кВт]	Мощность резания
η		К.п.д. станка

Типы хвостовиков концевых фрез

	Диаметр хвостовика (d)	Рекомендуемая минимальная величина l
 Гладкий цилиндрический	10	1.5xd
	16	1.5xd
	20	1.5xd
	25	1.5xd
	32	1.5xd
	40	1.5xd
 Цилиндрический с лысками (Weldon)	12	45
	16	48
	20	50
	25	56
	32	60
	40	70
	50	80
 Комбинированный (Clarkson)	16	39
	20	—
	25	53
	32	54
	40	75
 Конус Морзе	CM 2	64.0
	CM 3	81.0
	CM 4	102.5
 Bridgeport		101.6

	d	E	d ₁	a	b		
Тип А	16	19	13.5	8.4	5.6		
	22	20	18	10.4	6.5		
	27	23	38	12.4	7.0		
Тип В	22	20	31	10.9	6.5		
	27	25	38	12.4	7.0		
	32	25	46	14.4	8.0		
	40	33	56	16.4	9.0		
Тип С	d	E	d ₁	d ₃	a	b	
	40	33	65	66.7	—	16.4	9.0
	60	38	—	—	—	25.7	14.0
Тип D	d	E	d ₁	d ₃	a	b	
	60	38	—	101.6	177.8	25.7	14.0

ГРУППЫ МАТЕРИАЛОВ ИСКАР

В соответствии с DIN/ISO 513 и VDI 3323

ISO	Материал		Состояние	Прочность на разрыв [Н/мм²]	Кс (1) [Н/мм²]	м _с ⁽²⁾	Твёрдость HB	Группа материала
P	Углерод.. сталь, стальное литьё, автоматная сталь	< 0.25 %C	Отпущенная	420	1350	0.21	125	1
		>= 0.25 %C	Отпущенная	650	1500	0.22	190	2
		< 0.55 %C	Закалённая и отпущенная	850	1675	0.24	250	3
		>= 0.55 %C	Отпущенная	750	1700	0.24	220	4
			Закалённая и отпущенная	1000	1900	0.24	300	5
	Низколегированные сталь и стальное литьё (содержание легирующих элементов менее 5%)		Отпущенная	600	1775	0.24	200	6
				930	1675	0.24	275	7
			Закалённая и отпущенная	1000	1725	0.24	300	8
				1200	1800	0.24	350	9
	Высоколегир. сталь, стальное литьё и инструментальная сталь		Отпущенная	680	2450	0.23	200	10
			Закалённая и отпущенная	1100	2500	0.23	325	11
M	Нержавеющая сталь	Ферритная/мартенситная	680	1875	0.21	200	12	
		Мартенситная	820	1875	0.21	240	13	
		Аустенитная	600	2150	0.20	180	14	
K	Серый чугун	Ферритный/перлитный		1150	0.20	180	15	
		Перлитный		1350	0.28	260	16	
	Высокопрочный чугун	Ферритный		1225	0.25	160	17	
		Перлитный		1350	0.28	250	18	
	Ковкий чугун	Ферритный		1225	0.25	130	19	
		Перлитный		1420	0.3	230	20	
N	Деформируемые алюминиевые сплавы		Неупрочнённые		700	0.25	60	21
			Упрочнённые		800	0.25	100	22
	Литейные алюминиевые сплавы	<=12% Si	Неупрочнённые		700	0.25	75	23
			Упрочнённые		700	0.25	90	24
		>12% Si	Жаропрочные		750	0.25	130	25
	Медные сплавы	>1% Pb	Свинцовая бронза		700	0.27	110	26
			Латунь		700	0.27	90	27
			Электролитическая медь		700	0.27	100	28
	Неметаллические материалы		Дюропласт, волокниты					29
			Твёрдая резина					
S	Жаропрочные сплавы	Fe-основа	Отожжённые		2600	0.24	200	31
			Упрочнённые		3100	0.24	280	32
		Ni или Co основа	Отожжённые		3300	0.24	250	33
			Упрочнённые		3300	0.24	350	34
			Литьё		3300	0.24	320	35
	Титан и титановые сплавы				1700	0.23		36
			Альфа+бета структур.сплавы		2110	0.22		37
H	Закалённая сталь				4600		55 HRC	38
					4700		60 HRC	39
	Отбеленный чугун				4600		400	40
	Чугун со спец. свойствами		Закалённый		4500		55 HRC	41



Сталь



Нерж.. сталь



Чугун



Неметаллич. материалы



Титан и титановые сплавы



Закалённая сталь

⁽¹⁾ Удельная сила резания при снятии стружки материала сечением 1 мм²

⁽²⁾ Показатель степени для толщины стружки.

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
1	A 366 (1012) 1008	0.0030 C10	040 A 10 045 M 10 1449 10 CS	AF 34 C 10 XC 10
1		1.0028 Ust 34-2 (S250G1T)		A 34-2
1		1.0034 RSt 34-2 (S250G2T)	1449 34/20 HR, HS,CR,CS	A 34-2 NE
1		1.0035 St185 (Fe 310-0) St 33	Fe 310-0 1449 15 HR,HS	A 33
1	A 570 Gr. 33,36	1.0036 S235JRG1 (Fe 360 B) Ust 37-2	Fe 360 B 4360-40 B	
1		1.0037 S235JR (Fe 360 B) St 37-2	Fe 360 B 4360-40 B	E 24-2
1	1115	1.0038 GS-CK16	030A04 1A	
1	A 570 Gr. 40	1.0044 S275JR (Fe 430 B) St44-2	Fe 430 B FN 1449 43/25 HR, HS 4360-43 B	E 28-2
1		1.0045 S355JR	4360-50 B	E 36-2
1	A 570 Gr.50 A572 Gr.50	1.0050 E295 (Fe 490-2) St 50-2	Fe 490-2 FN 4360-50 B	A 50-2
1	A 572 Gr. 65	1.0060 E335 (Fe 590-2) St 60-2	Fe 60-2 4360-55 E; 55 C	A 60-2
1		1.0060 St60-2		
1		1.0070 E360 (Fe 690-2) St 70-2	Fe 690-2 FN	A 70-2
1		1.0112 P235S	1501-164-360B LT20	A37AP
1		1.0114 S235JU;St 37-3 U	4360-40C	E 24-3
1	A 284 Gr.D A 573 Gr.58 A 570 Gr 36;C A 611 Gr. C	1.0116 S235J2G3 (Fe 360 D 1) St 37-3	Fe 360 D1 FF 1449 37/23 CR 4360-40 D	E 24-3 E 24-4
1		1.0130 P265S	1501-164-400B LT 20	A 42 AP
1		1.0143 S275J0; St 44-3 U	4360-43C	E 28-3
1	A 573 Gr. 70 A 611 Gr.D	1.0144 S275J2G3 (Fe 430 D 1) St 44-3	Fe 430 D1 FF 4360-43 C; 43 D	E 28-3 E 28-4
1		1.0149 S275JOH; RoSt 44-2	4360-43C	
1		1.0226 DX51D; St 02 Z	Z2	GC
1	M 1010	1.0301 C10	040 A 10 045 M 10 1449 10 CS	AF 34 C 10 XC 10
1	A 621 (1008)	1.0330 DC 01 St 2; St 12	1449 4 CR 1449 3 CS	TC
1	A 619 (1008)	1.0333 Ust 3 (DC03G1) Ust 13	1449 2 CR;3 CR	E
1	A 621 (1008)	1.0334 US1W 23 (DD12G1)		S C

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
	C 10 1 C 10	F.1511 F.151.A	S 10C	10
	Fe 330, Fe 330 B FU Fe 330 B FN		SS 330	Ст2сп
1300	Fe 320	Fe 310-0		Ст0
1311 1312	FE37BFU	AE 235 B Fe 360 B		16Д, 18кп Ст3кп
1311	Fe 360 B 1449 37/23 HR	AE 235 B Fe 360 B	STKM 12 A;C	
1325				
1412	Fe 430 B Fe 430 B FN	AE 275 B Fe 430 B FN	SM 400 A;B;C	Ст3пс, Ст3сп
2172	Fe 510 B	AE 355 B		
1550 2172	Fe 490	a 490-2 Fe 490-2 FN	SS 490	Ст5пс, Ст5сп
1650	Fe 60-2 Fe 590 FE60-2	A 590-2 Fe 590-2 FN	SM 570	Ст6пс, Ст6сп
1655	Fe 70-2 Fe 690	A 690-2 Fe 690-2 FN		
	Fe 360 C	AE 235 C		
	Fe 360 C	AE 235 C		
1312 1313	Fe 360 D1 FF Fe 360 C FN Fe 360 D FF Fe 37-2	AE 235 D Fe 360 D1 FF		Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп 16Д
		SPH 265		
1414-01	Fe 430 D	AE 275 D		
1411, 1412 1414	Fe 430 B, Fe 430 C (FN) Fe 430 D (FF)	AE 275 D Fe 430 D1 FF	SM 400 A;B;C	Ст4кп, Ст4пс, Ст4сп
1412-04	Fe 430 C	Fe 430 C		
1151 10	FeP 02 G	FeP 02 G		
	C 10 1 C 10	F.1511 F.151.A	S 10C	10
1142	FeP 00 FeP 01	AP 11	SPHD	15кп
	FeP 02	AP 02	SPCD	
	FeP 12	AP 12	SPHE	10кп

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
1	A 622 (1008)	1.0335 DD13; StW 24	1449 1 HR	3 C
1	A 620 (1008)	1.0338 DC04 St4; St 14	1449 1 CR;2 CR	ES
1	A 516 Gr. 65; 55 A 515 Gr. 65;55 A 414 Gr. C A 442 Gr.55	1.0345 P235GH H I	1501 Gr. 141-360 1501 Gr. 161-360; 151-360 1501 Gr. 161-400; 154-360 1501 Gr. 164-360; 161-360	A 37 CP;AP
1	(M) 1020 M 1023	1.0402 C22	055 M 15, 070 M 20 2C/2D 1499 22 HS, CS	AF 42 C 20; XC 25;1 C 22
1	1020	1.0402 C22	050A20 2C/2D	CC20
1	1020;1023	1.0402 C22	055 M 15;070 M 20 2C	AF 42 C 20; XC 25;1 C 22
1		1.0425 P265GH H II	1501 Gr. 161-400;151-400 1501 Gr. 164-360; 161-400 1501 Gr. 164-400;154-400	A 42 CP; AP
1	A27 65-35	1.0443 GS-45	A1	E 23-45 M
1		1.0539 S355NH;StE 335		TSE 355-4
1		1.0545 S355N; StE 355	4360-50E	E 355 R
1		1.0546 S355NL;TSStE 355	4360-50EE	E 355 FP
1		1.0547 S355JOH	4360-50C	TSE 355-3
1		1.0549 S355 NLH;TSStE 355		
1		1.0553 S355JO;St 52-3U	4360-50C	E 36-3
1	A 633 Gr.C A 588	1.0562 P355N StE 355	1501 Gr.225-490A LT 20	FeE 355 KG N E 355 R/FP; A 510 AP
1		1.0565 P355NH; WStE 355	1501-225-490B LT 20	A 510 AP
1		1.0566 P355NL1; TSStE 355	1501-225-490A LT 50	A 510 FP
1	1	1.0570 S355J2G3 St 52-3	Fe 510 D1 FF 1449 50/35 HR>HS 4360-50 D	E 36-3 E 36-4
1	1213	1.0715 9 SMn 28 (1SMn30)	230 M 07	S 250
1	1213	1.0715 9 SMn 28	230 M 07	S 250
1	12 L 13	1.0718 9 SMnPb 28 (11SMnPb30)		S 250 Pb
1	1108 1109	1.0721 10 S 20	(210 M 15)	10S20 10F 2
1	11 L 08	1.0722 10 SPb 20		10PbF 2
1	11 L 08	1.0722 10 SPb 20		10 PbF 2
1	1215	1.0736 9 SMn 36 11SMn37)		S 300
1	12 L 14	1.0737 9 SMnPb 36 (11SMnPb37)		S 300 Pb
1		1.0972 S315MC; QStE 300 TM	1501-40F30	E 315 D
1		1.0976 S355MC; QStE 360 TM	1501-43F35	E 355 D
1		1.0982 S460MC; QStE 460 TM	1501-50F45	

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
1147	FeP 13 FeP 04	AP 13 AP 04	SPHE SPCE	08кп 08Ю, ЮБА
1331 1330	FeE235, Fe 360 1 KW;KG Fe 360 2 KW;KG	A 37 RC I RA II	SGV 410, SGV 450 SGV 48, SPV 450; SPV 480	
1450	C 20 C 21, C 25	1 C 22 F.112	S20C	20
1450	C20C21	F.112	S22 C	20
1450	C 20; C 21;C 25	1 C 22F.112	S 20 C;S 22 C	
1431 1430 1432 1305	Fe 410 1 KW; KG; KT Fe 410 2 KW; KG	A 42 RC I A 42 RC II	SPV 315; SPV 355 SG 295; SGV 410 SGV 450; SGV 480	16K 20K
2134-04	Fe 510 B	Fe 355 KGN		
2334-01	FeE 355 KG	AE 355 KG		
2135-01	FeE 355 KT	AE 355 KT		
2172-04	Fe 510 C	Fe 510 C		
2135	Fe 510 D	FeE 355 KTM		
	Fe 510 C			
2106	FeE 355 KG;KW	AEE 355 KG;DD	SM 490 A;B;C;YA;YB	15ГФ
2106	FeE 355-2			
2107-01	FeE 355-3			
2132, 2133 2134, 2174	17GS 17G1S	AE 355 D Fe 510, D1 FF	SM 490 A;B;C;YA;YB	17ГC 17Г1C
1912	CF SMn 28	F.2111 - 11 SMn 28	SUM 22	
1912	CF 9 SMn 28	11 SMn 28	SUM 22	
1914	CF 9 SMnPb 28	F.2112-11 SMnPb 28	SUM 22 L SUM 23 L, SUM 24 L	
	CF 10 S 20	F.2121 - 10 S 20		
	CF 10 SPb 20	F.2122-10 SPb 20		
	CF 10 SPb 20	10 SPb 20		
1926	CF 9 Mn 36 CF 9 SMnPb 36	F.2113 - 12 SMn 35 F.2114- 12 SMnPb 35	SUM 25	
2642	FeE 355TM			

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
1		1.0984 S500MC; QStE 500 TM		E 490 D
1		1.0986 S500MC; QStE 500 TM	1501 - 60F55	E 560 D
1	1010	1.1121 CK 10 (C10E)	040 A 10	XC 10
1		1.1121 St 37-1	4360 40 A	
1	1015	1.1141 CK 15 (C15E)	040 A 15 080 M 15 32C	XC 12 XC 15 XC 18
1	1020 1023	1.1151 C22E CK 22	055 M 15 (070 M 20)	2 C 22 XC 18 XC 25
1	D 3	1.2080 X 210 Cr 12	BD 3	Z 200 C 12
1	A36	St 44-2	4360 43 A	NFA 35-501 E 28
1		StE 320-3Z	1 501 160	
1	A572-60	1.8900 StE 380	4360 55 E	
2	(M) 1025	1.0406 C 25	070 M 26	1 C 25
2		1.0416 GS-38		20-400 M
2	A 537 Cl.1 A 414 Gr. G A 612	1.0473 P355GH	19 Mn 6	A 52 CP
2	1035	1.0501 C35	080 A 32, 080 A 35 080 M 36, 1449 40 CS	1 C 35 AF 55 C 35 XC 38
2	1045	1.0503 CF 45 (C45G)	060 A 47 080 M 46	XC 42 H 1 TS
2	1040	1.0511 C40	080 M 40	1 C 40 AF 60 C 40
2		1.0540 C 50		
2	A27 70-36	1.0551 GS-52	A2	280-480 M
2	A148 80-40	1.0553 GS-60	A3	320-560 M
2	A738	1.0577 S355J2G4 (Fe 510 D 2)	Fe 510 D2 FF 1501 Gr.224-460 1501 Gr. 224-490	A 52 FP
2	1140	1.0726 35 S 20	212 M 36 8M	35MF 6
2	1146	1.0727 45 S 20 (46S20)		45 MF 4
2	1035 1041	1.1157 40Mn4	150 M 36 15	35 M 5 40 M 5
2	1025	1.1158 C25E CK 25	(070 M 25)	2 C 25 XC 25
2	1536	1.1166 34Mn5		
2	1330	1.1170 28Mn6	(150 M 28), (150 M 18)	
20 M 5, 28 Mn 6				
	1330	1.1170 28 Mn 6	150 M 5	20 M 5
2	1330	1.1170 28Mn6		20M5
		1.1178 C30E; CK 30	080M30	XC 32
2	1035	1.1180 C35R Cm 35	080 A 35	3 C 35 XC 32

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
2662	FeE 490 TM FeE 560 TM			
1265	C 10, 2 C 10 2 C 15	F.1510-C 10 K	S 9 CK S 10 C	08;10
1300				
1370	C 15 C 16	F.1110-C 15 K F.1511-C 16 K	S 15 S 15 CK	15
1450	C 20 C 25	F.1120-C 25 K	S 20 C, S 20 CK S 22 C	20
				X12
1411				
1421				
2145	FeE390KG C 25 1 C 25		S25C	
1306				
2101 2102	Fe E 355-2	A 52 RC I RA II	SGV 410 SGV 450 SGV 480	
1572 1550	C 35 1 C 35	F.113	S 35 C	35
1672	C 43 C 46 C40	1 C 40	S 45 C F.114.A	45
1674	C 50	1 C 50		
1505				
1606				
2107		A 52 RB II AE 355 D		
1957 1973		F.210.G		
				40Г
	C25	F.1120 - C 25 K	S 25 C S 28 C	25
	C 28 Mn	TO.B 28 Mn 6	SMn 433 H SCMn 1	30Г
	C28Mn C 30	2 C 30 F.1135-C 35 K-1	SCMn1	
1572				

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала				
	AISI/SAE	W.-Nr. DIN	BS EN	AFNOR
2	1035	1.1181 C35E	080 A 35	2 C 35, XC 32
	1038	CK 35	(080 M 36)	XC 38 H 1
2	1035	1.1181 C35E	080 A 35	XC 38
		CK 35	(080 M 36)	
2	1042	1.1191 GS- Ck 45	080 A 46	XC 45
2	1049	1.1206 C50E	080 M 50	2 C 50
	1050	CK 50		XC 48 H 1; XC 50 H1
2	1050	1.1213 Cf 53	070 M 55	XC 48 HTS
	1055	(C53G)		
2	4520	1.5423 22Mo4	1503-245-420	
3		1.0050 St50-2		
3	A 516 Gr.70 A 515 Gr. 70 A 414 Gr.F; G	1.0481 P295GH 17 Mn 4	1501 Gr. 224	a 48 Cp;AP
3	1043	1.0503 C35	060 A 47 080 M 46 1449 50 HS, CS	1 C 45 AF 65 C 45
3	1074	1.0614 C 76 D; D 75-2		XC 75
3	1086	1.0616 C 86 D; D 85-2		XC 80
3	1095	1.0618 C 92 D;D 95-2		XC 90
3	1036 1330	1.1165 30Mn5	120 M 36 (150 M 28)	35 M 5
3	1335	1.1167 36Mn5	150 M 36	40 M 5
3	1040	1.1186 C40E CK 40	060 A 40, 080 A 40 080 M 40	2 C 40 XC 42 H 1
3	1045	1.1191 C45E CK 45	080 M 46 060 A 47	2 C 45 XC 42 H 1 XC 45 XC 48 H 1
3	1049	1.1201 C45R Cm 45	080 M 46	3 C 45 XC 42 H 1 XC 48 H 1
3		1.7242 18 CrMo 4		
3	A 387 Gr. 12 Cl	1.7337 16 CrMo 4 4		
3	A 387 Gr. 12 Cl.	1.7337 16 CrMo 4 4		
3		1.7362 12 CrMo 19 5	3606-625	Z 10 CD 5.05
3	A572-60	17 MnV 6	436055 E	NFA 35-501 E 36
4	1055	1.0535 C55	070 M 55	1 C 55 AF 70 C 55
4	1060	1.0601 C60	060 A 62 43D 1449 HS,CS	1 C 60 AF 70 C 55
4	107	1.0603 C67	080 A 67 1449 70 HS	XC 65

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
1550 1572 1572	C 35 C36	F.1130-C 35 K	S 35 C S35C	35
1660 1674	C45 C 50	F-1140		45 50
1674	C 53		S 50 C	50
	16 Mo 5 KG; KW FE50	F.2602- 16 Mo 5	SB 450 M; SB 480 M	
	Fe 510 KG;KT;KW Fe 510-2 KG;KT;KW FeE 295	A 47 RC I RA II	SG 365, SGV 410 SGV 450 SGV 480	14Г2
1672 1650	C 45 1 C 45	F.114	S 45 C	45
				75
C 85				85
		F.8211-30 Mn 5 f.8311-AM 30 Mn 5	SMn 433 H SCMn 2	27ХГСЛ 30ГСЛ
2120		F. 1203-36 Mn 6 F. 8212-36 Mn 5	ssmN 438 (H) SCMn 3	35Г2 35ГЛ
	C 40		S 40 C	40
1672	C 45 C 46	F.1140-C 45 K F.1142-C48 K	S 45 C S 48 C	45
1660	C 45	F.1145-C 45K-1 F.1147C 48 K-1	S 50 C	
18 CrMo 4				
	A 18 CrMo 4 5 KW A 18 CrMo 4 5 KW 16 CrMo 20 5			15XM
2142 1655	C 55 1 C 55		S 55 C	55
	C 60 1 C 60		S 58 C	60, 60Г
	C 67			

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
4	1074 1075	1.0605 C75	1449 80 HS	
4	1055	1.1203 C55E CK 55	060 A 57 070 M 55	2 C 55 XC 55 H 1
4	1055	1.1209 C55R Cm 55	070 M 55	3 C 55 XC 55 H 1
4	1060 1064	1.1221 C60E CK 60	060 A 62	2 C 60 XC 60 H 1
4	1070	1.1231 Ck 67 (C67E)	060 A 67	XC 68
4	1074 1075 1078	1.1248 CK 75 (C75E)	060 A 78	XC 75
4	1086	1.1269 CK 85 (C85E)		XC 90
4	1095	1.1274 Ck 101 (C101E)		XC 100
4	W 112	1.1663 C 125 W		Y2 120
4				
5		1.0070 St70-2		
5		1.7238 49 CrMo 4		
5		1.7701 51 CrMoV 4		
6	A573-81 65	1.0116 St 37-3	4360 40 B	E 24-U
6	A515 65	1.0345 H1	1 501 161	A 37 CP
6	5120	1.0841 St 52-3	150 M 19	20 MC 5
6	9255	1.0904 55 Si 7	250A53	55S7
6	9254	1.0904 55 Si 7	250 A 53	55 S 7
6	9262	1.0961 60SiCr7		60SC6
6	L3	1.2067 100Cr6	BL3	Y100C6
6	L1	1.2108 90 CrSi 5		
6	L2	1.2210 115CrV3		100C3
6		1.2241 51CrV4		
6		1.2311 40 CrMnMo 7		
6	4135	1.2330 35 CrMo 4	708 A 37	34 CD 4
6		1.2419 105WCr6		105WC13
6	0 1	1.2510 100 MnCrW 4	BO1	8 MO 8
6	S1	1.2542 45 WCrV7	BS1	
6	S1	1.2550 60WCrV7		55WC20
6	L6	1.2713 55NiCrMoV6		55NCDV7
6	L6	1.2721 50NiCr13		55 NCV 6
6	O2	1.2842 90MnCrV8	BO2	90 MV8
6	E 50100	1.3501 100 Cr 2		
6	52100	1.3505 100Cr6	2 S 135 535 A 99	100 C 6
6		1.5024 46Si7		45 S 7; Y 46 7;46 SI 7

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
	C 75			75
1655	C 55	F.1150-C 55 K	S 55 C	55
	C 55	F.1155-C 55K-1		
1665 1678	C 60		S 58 C	60 60Г, 60ГА
1770	C70			65ГА 68ГА, 70
774	C 75			, 75А)
	C 90			, 85А
1870	C 100	F-5117	SUP 4	
2223				
	FE70-2			
	51 CrMoV 4			
1312 1330	Fe37-3			
2172	Fe 52	F-431		
2085	55Si8	56Si7		
2090				
60SiCr8	60SiCr8			
	100Cr6			X
2092	105WCr 5			
	107CrV3KU			
	35 cRmO 8 KU			
2234	35CrMo4	34CrMo4	SCM435TK	
2140	10WCr6	105WCr5		ChWG
2140	10WCr6	105WCr5	SKS31	95ХГБФ
2710	45 WCrV8 KU	45WCrSi8		5XHM
2710	58WCr9KU			
		F.520.S	SKT4	5ChNM
2550		f-528		
2258	100Cr6	F.1310 - 100 Cr 6	SUJ2	ШХ15
		F. 1451 - 46 SI 7		

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
6	9255	1.5025 51Si7		51 S 7 51 Si 7
6	9255	1.5026 55Si7	251 a 58	55 S 7
6	9260	1.5027 60Si7	251 A 60 251 H 60	60 S 7
6	9260 H	1.5028 65Si7		60 S 7
6		1.5120 38 MnSi 4		
6	A 204 Gr.A 4017	1.5415 16Mo3 15 Mo 3	1503-243 B	15 D 3
6	4419	1.5419 20Mo4	1503-243-430	
6	A 350-LF 5	1.5622 14Ni6		16N6
6	3415	1.5732 1 NiCr10		14 NC 11
6	3310; 3314	1.5752 14NiCr14	655M13	12NC15
6		1.6587 17CrNiMo6	820A16	18NCD6
6		1.6657 14NiCrMo134		
6	5015	1.7015 15Cr3	523 M 15	12 C 3
6	5132	1.7033 34Cr4	530A32	32C4
6	5140	1.7035 41Cr4	530M40	42C4
6	5140	1.7045 42Cr41	530 A 40	42 C 4 TS
6	5115	1.7131 16MnCr5	527 M 17	16 MC 5
6		1.7139 16MnCr5		
6	5155	1.7176 55Cr3	527 A 60	55 C 3
6	4135; 4137	1.7220 34CrMo4	708 Aa 37	35 CD 4
6	4142	1.7223 41CrMo4		
6	4140	1.7225 42CrMo4	708 M 0	42 CD 4
6		1.7228 55NiCrMoV6G	823M30	
6		1.7262 15CrMo5		12 CD 4
6		1.7321 20 mOcR 4		
6	ASTM A182 F-12	1.7335 13CrMo4 4	1501-620Gr27	
6	A 182-F11;12	1.7335 13 CrMo 4 4	1 501 620 Gr. 27	15 CD 4.5
6	ASTM A 182 F.22	1.7380 10CrMo9 10	1501-622gR31; 45	
6	A182 F-22	1.7380 10 CrMo 9 10	1501-622	12 CD 9.10
6		1.7715 14MoV6 3	1503-660-440	
6	A355A	1.8509 41CrAlMo 7	905 M 39	40 CAD 6.12
7	A570.36	1.0038 S235JRG2 (Fe 360 B) RSt 37-2	Fe 360 B FU 1449 27/23 CR 4360-40 B	E 24-2NE
7	3135	1.5710 36NiCr6	640A35	35NC6
7		1.5755 31 NiCr 14	653 M 31	18 NC 13
7	8620	1.6523 2 NiCrMo2	805M20	20 NCD 2
7	8740	1.6546 40 NiCrMo 22	311-Tyre 7	
7	4130	1.7218 25CrMo4	CDS 110	25 CD 4
7		1.7733 24 CrMoV 5 5		20 CDV 6
7		1.7755 GS-45 CrMOV 10 4		

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
2090	48 Si 7 50 Si 7	F.1450-50 Si 7		
2085 2090	55 Si 7 60 Si 7	F.1440 - 56 Si 7 F. 1441 - 60 Si 7		55C2 60C2
			50 P 7 SUP 6	
2912	16Mo3(KG;KW)	F. 2601 - 16 Mo 3		
-2512	G 20 Mo 5 G 22 Mo5		SCPH 11	
14 Ni 6 KG;KT	F.2641 - 15 Ni 6			
16NiCr11	15NiCr11	SNC415(H) SNC815(H)		
	14NiCrMo13 14NiCrMo131			
	34Cr4(KB)	35Cr4	SCr415(H) SCr430(H)	15X 35X
41Cr4	42Cr4	SCr440(H)		
2245	41Cr4	42Cr4	SCr440	
2511	16MnCr5	16MnCr5		
2127				
2253			SUP9(A)	50XГA
2234				35XM 40XΦA
	41CrMo4	42CrMo4	SNB 22-1	
2244				
2512	653M31			
2216		12CrMo4		
2625				
	14CrMo4 5	14CrMo45		
2216		12CrMo4	SCM415(H)	12XM; 15XM
2218	12CrMo9,10	TU.H 13MoCrV6		
2940	41CrAlMo7	41CrAlMo7		
1312	Fe 360 B FN	AE 235 B FN;FU Fe 360 B FN; FU		Ст3пс, Ст3сп
2506	20NiCrMo2 40NiCrMo2(KB)	20NiCrMo2 40NiCrMo2	SNCM220(H) SNCM240	20XГНМ 38XГНМ
2225	25CrMo4(KB) 21 CrMoV 5 11	55Cr3	SCM420/430	20XM, 30XM

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала				
	AISI/SAE	W.-Nr. DIN	BS EN	AFNOR
7		1.8070 21 CrMoV 5 11		
8	4142	1.2332 47 CrMo 4	708 M 40	19A 42 CD 4
8	A128 (A)	1.3401 G-X120 Mn 12		Z 120 M 12
8	3435	1.5736 36 NiCr 10		30 NC 11
8	9840	1.6511 36CrNiMo4	816M40	110 40NCD3
8	4340	1.6582 35CrNiM 6	817 M 40	24 35 NCD 6
8		1.7361 32 CeMo12	722 M 24	40B 30 CD 12
8	6150	1.8159 50 CrV 4	735 A 50	47 50CrV4
8		1.8161 58 CrV 4		
8		1.8515 32 CrMo 12	722 M 24	40B 30 CD 12
8		1.8523 39CrMoV13 9	897M39	40C
9		1.4882 X 50 CrMnNiNbN 21 9		Z 50 CMNNb 21.09
9	3135	1.5710 36NiCr6	640A35	111A 35NC6
9		1.5864 35 niCr 18		
9		31 NiCrMo 13 4	830 m 31	
10	A573-81	1.0144 ST 44-3	4360 43 C	E 28-3
10	A 619	1.0347 DCO3 RSt;RRSt 13	1449 3 CR 1449 2 CR	E
10	M 1015 M 1016 M 1017	1.0401 C15	080 M 15 080 M 15 1449 17 CS	AF 37 C12 XC 18
10		1.0570 ST 52-3	4360 50 B	E 36-3
10	12L13	1.0718 9SMnPb28		S250Pb
10	(12L13)	1.0718 9 SMnPb 28		S 250 Pb
10		1.0723 15 S22 15 S 20	210 A 15 210 M 15	
10		1.2083		
10	H 11	1.2343 x 38 CrMoV 5 1	BH 11	Z 38 CDV 5
10	H 13	1.2344 X 40 CrMoV 5 1	BH 13	Z 40 CDV 5
10	A 2	1.2363 X100 CrMoV 5 1	BA 2	Z 100 CDV 5
10	D 2	1.2379 X 155 CrVMo 12 1	BD2	Z 160 CDV 12
10	HNv3	1.2379 X210Cr12G	BD2	Z160CDV12
10	D 4 (D 6)	1.2436 X 210 CrW 12	BD6	Z 200 CD 12
10	H 21	1.2581 X 30 WCrV 9 3	BH 21	Z 30 WCV 9
10		1.2601 X 165 CrMoV 12		
10	H 12	1.2606 X 37 CrMoW 5 1	BH 12	Z 35 CWDV 5
10	D3	1.3343 S 6-5-2	BM2	Z200C12
10	N08028	1.4563		Z1NCDU31-27-03
10	ASTM A353	1.5662 X8Ni9	1501-509;510	
10	ASM A353	1.5662 X8Ni9	502-650	9 Ni
10	2517	1.5680 12Ni19	12Ni19	Z18N5
10	2515	1.5680 12 Ni 19		Z 18 N 5
11		1.3202 S 12-1-4-5	BT 15	

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
	35 NiCr 9			
2244	42CrMo4	42CrMo4	SCM (440)	
2183	GX120Mn12	F. 8251-AM-X120Mn12	SCMnH 1, SCMn H 11	110Г13Л
	36nCrMo4(KB)	35NiCrMo4	SUP10	40ХН2МА
2541	35NiCrMo6(KB)		SNCM 447	38Х2Н2МА
2240	30CrMo12	F.124.A		
2230	50CrV4	51CrV4		50ХГФА
2240	32CrMo12	F.124.A		
	36CrMoV12			
			SNC236	
2534		f-1270		
1412			SM 400A;B;C	Ст4кп, Ст4пс,
Ст4сп	Fep 02	AP 02		08Ю
1350	C15			
	C16	F.111	S 15 C	
	1 C 15			
2132	Fe52BFN/Fe52CFN		SM490A;B;C;YA;YB	17Г5
1914	CF9SMnPb28	11SMnPb28		
1914	CF 9 SMnPb 28	11 SMnPb 28	12 L 13	
1922		F.210.F	SUM 32	
2314				
	X 37 CrMoV 5 1 KU			4Х5МФС
2242	X40CrMoV511KU	F-5318	SKD61	4Х5МФ1С
2260	X100CrMoV51KU	F-5227	SKD12	95Х5ГМ
2310	X165CrMoW12KU	X160CrMoW12KU		X12BMФ
2736				
2312	X215CrW 12 1 KU	F-5213		
	X30WCrV 9 3 KU	F-526	SKD5	3Х2В8Ф
2310				
	X 35 CrMoW 05 KU	F.537		5ХНМ
2715	X210Cr13KU	X210Cr12	SUH3	X12
2584				
	14 Ni 6 KG;KT	XBNiO9		
	X10Ni9	F-2645	SL9N60(53)	
	HS 12-1-5-5	12-1-5-5		

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
11		1.3207 S 10-4-3-10	BT42	Z130WKCDV
11	T 15	1.3243 S 6-5-2-5		KCV 06-05-05-04-02
11		1.3246 S 7-4-2-5		Z110 WKCDV 07-05-04
11		1.3247 S 2-10-1-8	BM 42	Z110 DKCWV 09-08-04
11	M 42	1.3249 S 2-9-2-8	BM 34	
11	T 4	1.3255 S 18-1-2-5	BT 4	Z 80 WKCV 18-05-04-0
11	M 2	1.3343 S6-5-2	BM2	Z 85 WDCV
11	M 7	1.3348 S2-9-2		Z 100 DCWV 09-04-02-
11	T 1	1.3355 S 18-0-1	BT 1	Z 80 WCV 18-4-01
11	630	1.4548		Z7CNU17-04
11	HNV 3	1.4718 X45CrSi 9 3	401S45	52 Z45CS9
11	422	1.4935 x20 CrMoWV 12 1		
12	403	1.4000 X6Cr13	403 S 17	Z 6 C 13
12		1.4001 X6Cr14		
12	(410S)	1.4001 X7 Cr 13	(403 S 7)	Z 8 C 13
12	405	1.4002 X6CrA12	405S17	Z8CA12
12	405	1.4002 X6 CrAl 13	405 S 17	Z6CA13
12	416	1.4005 X12CrS 13	416 S 21	Z11 CF 13
12	410; CA-15	1.4006 (G-)X10 Cr 13	410S21	56A Z10 C 13
12	430	1.4016 X8Cr17	Z8C17	430S15
12	430	1.4016 X6 Cr 17	430 S 15	60 Z 8 C 17
12		1.4027 G-X20Cr14	420C29	Z20C13M
12		1.4027 G-X 20 Cr 14	420 C 29	Z 20 C 13 M
12	420	1.4028 X30 Cr 13	420 S 45	Z 30 C 13
12		1.4086 G-X120Cr29	452C11	
12	430 F	1.4104 X12CrMoS17	420 S 37	Z 10 CF 17
12	440B	1.4112 X90 CrMoV 18		
12	434	1.4113 X6CrMo 17	434 S 17	Z 8 CD 17.01
12		1.4340 G-X40CrNi27 4		
12	S31500	1.4417 X2CrNiMoSi19 5		
12	S31500	1.4417 X2 CrNoMoSi 18 5 3		
12		1.4418 X4 CrNiMo16 5		Z6CND16-04-01
12	XM 8 430 Ti 439	1.4510		Z 4 CT 17
12	430tl	1.4510 X6 CrTi 17		Z 4 CT 17
12		1.4511 X 6 CrNb 17(X 6 CrNb 17		Z 4 CNb 17
12	409	1.4512 X 6 CrTi 12 (X2CrTi12)	LW 19 409 S 19	Z 3 CT 12

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
2723	HS 6-5-2-5	6-5-2-5	SKH55	P6M5K5
7-4-2-5	HS 7-4-2-5	M 35		
2-10-1-8	HS 2-9-1-8 2-9-2-8	M 41		
R6M5				
2722	HS 6 5 2	F-5604	SKH 51	
2782	HS 2 9 2	F-5607		
R18				
	X45CrSi8	F322	SUH1	40X9C2
2301	X6Cr13	F.3110	SUS403	08X13
		F8401		08X13
2301				08X13
	X6CrAl13			
2302	X6CrAl13			
2380	X12 CrSC13	F-3411	SUS 416	
2302	X12Cr13	F.3401	SUS410	12X13
2320	X8Cr17	F.3113		12X17
2320	X8Cr17	F3113	SUS430	12X17
				20X13Л
				20X13Л
2304				20X13
2383	X10CrS17	F.3117	SUS430F	
2325	X8CrMo17		SUS434	
2376				
2376				
2387				
	X 6 CrTi 17	F.3115 -X 5 CrTi 17	SUS 430 LX	08X17T
				08X17T
	X 6 CrNb 17	F.3122-X 5 CrNb 17	SUS 430 LK	
	X 6 CrTi 12		SUH 409	

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала				
	AISI/SAE	W.-Nr. DIN	BS EN	AFNOR
12		1.4720	X20CrMo13	
12	405	1.4724	X10CrA113	403S17
12	430	1.4742	X10CrA118	439S15 60
12	HNV6	1.4747	X80CrNiSi20	443S65 59
12	446	1.4749	x18 cRn 28	
12	446	1.4762	X10CrA124	
12	EV 8	1.4871	X 53 CrMnNiN 21 9	349 S 54
12	302		x12 CrNi 18 9	302 S 31
12	429		X10 CrNi 15	
13	420	1.4021	X20Cr13	420S37
13	420	1.4031	X40 Cr 13	
13		1.4034	X46Cr13	420 S 45
13	431	1.4057	X20CrNi172	431 S 29 57
13		1.4125	X 105 CrMo 17	
13	CA6-NM	1.4313	G-X4 CrNi 13 4	425 C 11
13	630	1.4542	X 5 CrNiCuNb 17 4 (X5CrNiCuNb 16-4)	
13		1.4544		S. 524 S. 526
13	348	1.4546	X5CrNiNb 18-10	347 S 31 2 S. 130 2 S. 143/144/145 S.525/527
13		1.4922	x20cRmV12-1	
13		1.4923	X22 CrMoV12 1	
14	304	1.4301	X 5 CrNi 18 9	304 S 15
14	303	1.4305	X10 CrNiS 18 9	303 S 21 58M
14	304L	1.4306	X2CrNi18 9	304S12
14	304L	1.4306	X2 CrNi 18 10	304 S 11
14	CF-8	1.4308	X6 CrNi 18 9	304 C 15 58E
14	301	1.4310	X12CrNi17 7	301 S 21
14	304 LN	1.4311	X2 CrNiN 18 10	304 S 62
14		1.4312	G-X10CrNi18 8	302C25
14	305	1.4312	X8 CrNi 18 12	305 s 19
14		1.4332	X2 CrNi 18-8	
14	304	1.4350	X5CrNi18 9	304S15 58E
14	S32304	1.4362	X2 CrNiN 23 4	
14	202	1.4371	X3 CrMnNiN 188 8 7	284 S 16
14	316	1.4401	X 5 CrNiMo 17 12 2 (X4 CrNiMo 17 -12-2)	316 S 13 316 S 17 316 S 19 316 S 31 316 S 33
				Z10C13 Z10CAS18 Z80CSN20.02 Z10CAS24 Z 52 CMN 21.09 Z 10 CN 18-09 Z 20 C 13 Z 40 C 14 Z40 C 14 Z 15 CN 16.02 Z 100 CD 17 Z 4 CND 13-04 M Z 5 CN 18.09 Z 8 CNF 18-09 Z2CrNi18 10 Z 3 CN 19-11 Z 6 CN 18-10 M Z 12 CN 17.07 Z 2 CN18.10 Z10CN18.9M Z6CN18.09 Z 2 CN 23-04 AZ Z 8 CMN 18- 08-05 Z 3 CND 17 -11-01 Z 6 CND 17-11 Z 6 CND 17-11-02 Z 7 CND 17-11-02 Z 7 CND 17-12-02

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
	X10CrA112	F.311		10X13CЮ
	X8Cr17	F.3113	SUS430	10X13CЮ
X80CrSiNi20	F.320B	SUH4		
2322	X16Cr26		SUH446	
	X53CrMnNiN21 9		SUH35,SUH36	55X20Г9АН4
2330				
2303	14210			20X13
-2304				40X13
X40Cr14	F.3405	SUS420J2		
2321	X16CrNi16	F.3427	SUS431	20X17H2
	X 105 CrMo 17			95X18
2385	(G)X6CrNi304		SCS5	
	X 6 CrNiTi 18 11 X 6 CrNiNb 18 11			08X18H12T
2317	x20cRmOnI 12 01			
2332;2333				08X18H10
2346	X10CrNiS18.09	F.3508	SUS303	30X18H11
2352	x2cRnI18 11	F.3503	SCS19	
2352	X2CrNi18 11			
2333			SUS304L	
2331	X2CrNi18 07	F.3517		
2371	X2CrNi18 10		SUS304LN	
				10X18H9Л
				10X18H9Л
2332	X5CrNi18 10	F.3551	SUS304	
2327				
2347	X 5 CrNiMo 17 12	F.3534-X 5 CrNiMo 17 12 2	SUS 316	

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала				
	AISI/SAE	W.-Nr. DIN	BS EN	AFNOR
14	316L	1.4404 X2 CrNiMo 17 13 2 (X2 CrNiMo 17-12-2) GX 2 CrNiMoN 18-10	316 S 11, 316 S 13 316 S 14, 316 S 31; Z 2 316 S 42, S.537;316 C 12, T.75, S. 161	Z 2 CND 17-12 CND 18-13 Z 3 CND 17-11-02 Z 3 CND 17-12-02 FF Z 3 CND 18-12-03 Z 3 CND 19.10 M
14	316LN	1.4406 X2 CrNiMoN 17 12 2 (X2CrNiMoN 18-10)	316 S 61 316 S 63	Z2 CND 17-12 AZ
14	CF-8M	1.4408 GX 5 CrNiMoN 7 12 2 G-X 6 CrNiMo 18 10	316 C 16 (LT 196) ANC 4 B	
14		1.4410 G-X10CrNiMo18 9		Z5CND20.12M
14	316 Ln	1.4429 X2 CrNiMo 17 -13-3	316 S 62	Z 2 CND 17-13 Az
14	316L	1.4435 X2 CrNiMo18 14 3	316 S 11;316 S 13 316 S 14;316 S 31 LW 22 LWCF 22	Z 3 CND 17-12-03 Z 3 CND 18-14-03
14	316	1.4436 X 5 CrNiMo 17 13 3 (X4CRNIMO 17-13-3)	316 S 19; 316 S 31 316 S 33 LW 23 LWCF 23	Z 6 CND 18-12-03 Z 7 CND 18-12-03
14	317L	1.4438 X2 CrNiMo 18 16 4 (X2CrNiMo 18-15-4)	317 S 12	Z 2 CND 19-15-04 z 3 cnd 19-15-04
14	(s31726)	1.4439 X2 CrNiMoN 17 13 5		Z 3 CND 18-14-06 AZ
14		1.4440 X 2 CrNiMo 18 13		
14	317	1.4449 X5 CrNiMo 17 13 3	317 S 16	
14	329	1.4460 X 4 CrNiMo 27 5 2 (X3CrNiMo27-5-2)		(Z 3 CND 25-07 Az) Z 5 CND 27-05 Az
14	329	1.4460 X8CrNiMo27 5		
14		1.4462 X2CrNiMoN22 5 3	318 S 13	Z 3 CND 22-05 Az (Z 2 CND 24 -08 Az) (Z 3 CND 25-06-03 Az)
14		1.4500 G-X7NiCrMoCuNb25 20		23NCDU25.20M
14	17-7PH	1.4504	316S111	
14	443 444	1.4521 X2CrMoTi18-2		
14	UNS N 08904	1.4539 X1NiCrMoCuN25-20-5		Z 2 NCDU 25-20
14	CN-7M	1.4539 (G-)X1 NiCrMoCu 25 20 5		Z1 NCDU 25-02 M
14	321	1.4541 Z 6 CrNiTi 18-10	321 S 31 321 S 51 (1010;1105) LW 24 LWCF 24	Z 6 CNT 18-10

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
2348	X 2 CrNiMo 17 12 G-X 2 CrNiMo 19 11	F.3533 - X 2 CrNiMo 17 13 2 F.3537 - X 2 CrNiMo 17 13 3	SUS 316 L	
	X 2 CrNiMoN 17 12	F.3542-X 2 CrNiMoN 17 12 2	SUS316LN	07X18H
2343		F.8414-AM-X 7 CrNiMo 20 10	SCS 14	
2328				
2375	X 2 CrNiMoN 17 13	F.3543-X 2 CrNiMoN 17 13 3	(SUS 316 LN	
2375	X2CrNiMoN 17 13	F.3533-X 2 CrNiMo 17 13 2	SUS 316 L	03X17H14M3
2343	X 5 CrNiMo 117 13 X 8 cRnImO 17 13	F.3543-X 5 CrNiMo 17 12 2 3 F.3538-X 5 CrNiMo 17 13	SUS 316	
2367	X2CrNiMo18 16	f.3539-x 2 cRnImO 18 16 4	SUS317L	
	X 5 CrNiMo 18 15		SUS 317	
2324		F.3309-X 8 CrNiMo 17 12 2 F.3552-X 8 CrNiMo 18 16 4	SUS 329 J 1	
2324				
2377			SUS 329 J3L	
	Z8CNA17-07	X2CrNiMo1712		
2326		F.3123-X 2 CrMoTiNb 18 2	SUS 444	
2562				
2564				
2337	X 6 CrNiTi 18 11	F.3523 - X 6 CrNiTi 18 10	SUS 321	06X18H10T 08X18H10T 09X18H10T 12X18H10T

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала	 AISI/SAE	 W.-Nr. DIN	 BS EN	 AFNOR
14	630	1.4542	X5 CrNiCuNb 17 4 (X5 CrNiChNb 16-4)	Z 7 CNU 15-05 Z 7 CNU 17-04 Z7CNU17-04
14	17-4PH	1.4542		
14	S31254	1.4547	X1 CrNiMoN 20 18 7	
14	17-4PH	1.4548		Z7CNU17-04
14	347	1.4550	X6 CrNiNb 18 10	Z 6 CNNb 18.10
14		1.4552	G-X7CrNiNb18 9	Z4CNNb19.10M
14	17-7PH	1.4568		
14	316Ti	1.4571	X6 CrNiMoTi 17 12 2	Z 6 CNDT 17-12002
14	316 Ti	1.4571	x 6 CrNiMoTi 17 12 2	Z 6 NDT 17.12
14		1.4581	G-X 5 CrNiMoNb	Z 4 CNDNb 18.12 M
14	318	1.4583	X 10CrNiMoNb 18 12	Z15CNS20.12
14		1.4585	G-X7CrNiMoCuNb18 18	
14		1.4821	X20CrNiSi25 4	Z20CNS25.04
14		1.4823	G-X40CrNiSi27 4	
14	309	1.4828	X15CrNiSi20 12	Z15CNS20.12
14		1.4829	X 12 CrNi 22 12	
14	309S	1.4833	X6 CrNi 22 13	Z 15 CN 24-13
14	310 S	1.4845	X12 CrNi 25 21	Z 12 CN 25-20
14	321	1.4878	X6 CrNiTi 18 9	Z 6 CNT 18-12 (B)
14	Ss30415	1.4891	X5 CrNiNb 18 10	
14	S30815	1.4893	X8 CrNiNb 11	
14	304H	1.4948	X6 CrNi 18 11	Z 5 CN 18-09
14	660	1.4980	X5 NiCrTi 25 15	Zz 8 nctv 25-15 b ff
14			X5 NiCrN 35 25	
14	S31753		X2 CrNiMoN 18 13 4	
14			X2 CrNiMoN 25 22 7	
15	CLASS20	0.6010	GG10	Ft10D
15	A48-20B	0.6010	GG-10	FT 10 D
15	NO 25 B	0.6015	GG 15	FT 15 D
15	CLASS25	0.6015	GG15	Ft15D
15	A48 25 B	0.6015	GG 15	Ft 15 D
15	A48-30B	0.6020	GG-20	Ft 20 D
15	NO 30 B	0.6020	GG 20	Ft 20 D
15	A436 Type 2	0.6660	GGL-NiCr202	L-NC 202
15	60-40-18	0.7040	GGG 40	FCS 400-12
15	No 20 B		GG 10	Ft 10 D
16	CLASS30	0.6020	GG20	Ft20D
16	CLASS45	0.6030	GG30	Ft30D
16	A48-45 B	0.6030		Ft 30 D
16	A48-50	0.6035	GG-35	Ft35D
16	A48-60 B	0.6040	GG40	Ft 40 D
16	100/70/03	0.7070	GGG-70	FGS 700-2
17		0.7033	GGG35.3	

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
			SCS 24 SUS 630	
2378				
2338	X6CrNiNb18 11	F.3552	SUS347	08X18H12S
	Z8CNA17-07	X2CrNiMo1712		09X17H101
2350				10X17H13M2T
2350	X6CrNiMoTi17 12	F.3535		10X17H13M2T
	x15cRnsl2 12			
	X6CrNiMoTi17 12			
		F.8414	SCS17	20X20H14C2
2361	X6CrNi25 20	F.331	SUH310	20X23H18
2337	X6CrNiTi18 11	F.3553	SUS321	
2372				
2368				
2333				
2570				
110	G10			C410
0110-00				C410
0115-00	G 15	FG 15	FC150	C415
115	G 15	FG 15		C415
01 15-00	G14	FG15		C415
0120-00				C420
120	G 20		FC200	C420
0523-00				
0717-02	GS 370-17	FGE 38-17	FCD400	B4 42-12
110			FC100	
120	G 20	FG 20		
130	G 30	FG 30	FC300	C420
01 30-00				C430
135	G 35	FG 35	FC350	C430
140				C440
07 37-01	GGG 70	GGG 70	FCD700	
07 17-15				

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала				
	AISI/SAE	W.-Nr. DIN	BS EN	AFNOR
17		0.7033 GGG-35.3	350/22 L 40	FGS 370/17
17	60-40-18	0.7040 GGG-40	SNG 420/12	FGS 400-12
17	60/40/18	0.7043 GGG-40.3	370/7	FGS 370/17
17	80-55-06	0.7050 GGG50	SNG500/7	FGS 500/7
17	65-45-12	0.7050 GGG-50	SNG 500/7	FGS 500-7
17		0.7652 GGG-NiMn 13 7	S-NiMn 137	S-Mn 137
17	A43D2	0.7660 GGG-NiCr 20 2	Grade S6	S-NC 202
17		GGG 40.3	SNG 370/17	FGS 370-17
18	A48-40 B	0.6025 GG25	Grade260	Ft 25 D
18		0.7060 GGG60	SNG600/3	FGS600-3
18	80/55/06	0.7060 GGG-60	600/3	FGS 600/3
18	A48 40 B			
19		0.8055 GTW55		
19	32510	0.8135 GTS-35-10	B 340/12	MN35-10
19	A47-32510	0.8135 GTS-35-10	B 340/2	Mn 35-10
19	A220-40010	0.8145 GTS-45-06	P 440/7	Mn 450-6
19		GTS-35	B 340/12	
19			8 290/6	MN 32-8
19	32510	GTS-35	B340/12	MN 35-10
20		0.8035 GTM-35	W340/3	MB35-7
20		0.8040 GTW-40	W410/4	MB40-10
20		0.8045		
20		0.8065 GTMW-65		
20	A220-50005	0.8155 GTS-55-04	P 510/4	Mn 550-4
20	50005	0.8155 GTS-55-04	P510/4	MP 50-5
20	70003	0.8165 GTS-65-02	P 570/3	Mn 650-3
20	90001	0.8170 GTS-70-02	P 690/2	Mn 700-2
20	A220-90001	0.8170 GTS-70-02		Mn 700-2
20		0.817 GTS-70-02	IP 70-2	
20	1022			
	1518	1.1133 20Mn5	120 M 19	20 M 5
20	1035	1.1183 Cf 35 (C35G)	080 A 35	XC 38 H 1 TS
20	400 10	GTS-45	P440/7	
20	70003	GTS-65	P 570/3	MP 60-3
21	Al99	3.0205		
21	1000	3.0255 Al99.5	L31/34/36	A59050C
21		3.3315 AlMg1		
22		3.1325 AlCuMg 1		
22		3.1655 AlCuSiPb		
22		3.2315 AlMgSi1		
22	7050	3.4345 AlZnMgCuO,5	L 86	AZ 4 GU/9051
23		3.2381 G-AlSi10Mg		
23		3.2382 GD-AlSi10Mg		
23		3.2581 G-AlSi12		

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
0717-15				
0717-02				ВЧ 42-12
0717-15				ВЧ 42-12
0727-02	GGG 50			ВЧ 50-2
	0727-02		FCD 500	
VCh50-2				
0772-00				
0776-00				
0717-12				СЧ25
125	G 25	FG 25	FC250	ВЧ 60-2
07 32-03	GGG 60	GGG 60		
0727-03			FCD600	
		GTW 55		
810		GTS 35		КЧ 35-10
0815-00				КЧ 35-10
	0852-00	GMN 45	FCMW370	
0810-00				
814			AC4A	
08 15			FCMW330	
852		GTM 35		
	GMB40	GTM 40		
	GMB45	GTM 45		КЧ 55-4
		GTW 65		КЧ 55-4
0854-00				КЧ 60-3
0854-00	GMN 55		FCMP490	КЧ 70-2
0856-00	GMN 65		FCMP590	КЧ 70-2
0862-00	GMN 70		FCMP690	КЧ 70-2
0864-00				
2132	G 22 Mn 3			
	20 Mn 7	F.1515-20 Mn 6	SMnC 420	
1572	C 36; C 38		S 35 C	
08 52				
858			FCMP540	АД0
				Д1
				АД35
				АК9
811-04				АК12

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала				
	AISI/SAE	W.-Nr. DIN	BS EN	AFNOR
23		3.3561	G-AlMg 5	
23	ZE 41	3.5101	G-MgZn4sE1Zr1	
23	EZ 33	3.5103	MgSE3Zn27r1	G-TR3Z2
23	AZ 81	3.5812	G-MgAl8Zn1	NMAG 1
23	AZ 91	3.5912	G-MgAl9Zn1	MAG 7
24		2.1871	G-AlCu 4 TiMg	
24		3.1754	G-AlCu5Ni1,5	
24		3.2163	G-AlSi9Cu3	
24	4218 B	3.2371	G-AlSi 7 Mg	
24	SC64D	3.2373	G-AlSi9MGWA	A-S7G
24		3.2373	G-AlSi 9 Mg	
24	QE 22	3.5106	G-MgAg3SE2Zr1	MAG 12
24	GD-AISI12		G-ALMG5	LM5
23-24	A360.2	3.2383	G-AlSi0Mg(Cu)	LM9
23-24	A356-72		2789;1973	NF A32-201
23-24	356.1		LM25	
23-24	A413.2		G-AlSi12	LM 6
23-24	A413.1		G-AlSi 12 (Cu)	LM 20
23-24	A413.0		GD-AISI12	
23-24	A380.1		GD-AISI8Cu3	LM24
26	C 93200	2.1090	G-CuSn 7 5 pb	U-E 7 Z 5 pb 4
26	C 83600	2.1096	G-CuSn5ZnPb	LG 2
26	C 83600	2.1098	G-CuSn 2 Znpb	
26	C 23000	2.1182	G-CuPb15Sn	LB1
26	C 93800	2.1182	G-CuPb15Sn	U-pb 15 E 8
27		2.0240	CuZn 15	Uu-PB 15e 8
27	C 27200	2.0321	CuZn 37	CZ 108
27	C 27700	2.0321	CuZn 37	CZ 108
27		2.0590	G-CuZn40Fe	
27	C 86500	2.0592	G-CuZn 35 Al 1	U-Z 36 N 3
27	C 86200	2.0596	G-CuZn 34 Al 2	HTB 1
27	C 18200	2.1293	CuCrZr	CC 102
28		2.0060	E-Cu57	
28		2.0375	CuZn36Pb3	
28	C 94100	2.0596	G-CuZn 34 Al 2	HTB 1
28	C 63000	2.0966	CuAl 10 Ni 5 Fe 4	Ca 104
28	B-148-52	2.0975	G-CuAl 10 Ni	
28	C 90700	2.1050	G-CuSn 10	CT1
28	C 90800	2.1052	G-CuSn 12	pb 2
28	C 81500	2.1292	G-CuCrF 35	CC1-FF
28		2.4764	CoCr20W15Ni	
31	N 08800	1.4558	X 2 NiCrAlTi 32 20	NA 15
31	N 08031	1.4562	X 1 NiCrMoCu 32 28 7	
31	N 08028	1.4563	X 1 NiCrMoCuN 31 27 4	

				
SS	UNI	UNE	JIS	ГОСТ
				ВАЛ8
				AK8
4251			C4BS	AK9
4252				
4253				
4244			A5052	AK7
4261				
4260			ADC12	AK12
4247			A6061	
4250			A7075	
	C 2700			Л63
	C2720			Л63
				ЛЦ23АД, 7МЦ
				ЛС 60-2
				БрАД, Н10-4-4
2584				EK77

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала						
	AISI/SAE	W.-Nr.	DIN	BS	EN	AFNOR
31	N 08330	1.4864	X 12 NiCrSi 36 16	NA 17		Z 12 NCS 35.16
31	330	1.4864	X12 NiCrSi 36 16	NA 17		Z 12 NCS 37.18
31		1.4865	G-X40NiCrSi38 18	330 C 40		
31		1.4958	X 5 NiCrAlTi 31 20			
31	AMS 5544	LW2.4668	NiCr19NbMo			NC20K14
32		1.4977	X 40 CoCrNi 20 20			Z 42 CNKDOWNb
33	Monel 400	2.4360	NiCu30Fe	NA 13		NU 30
33	5390A	2.4603				NC22FeD
33	Hastelloy C-4	2.4610	NiMo16Cr16Ti			
33	Nimonic 75	2.4630	NiCr20Ti	HR 5,203-4		NC 20 T
33		2.4630	NiCr20Ti	HR5,203-4		NC20T
33	Inconel 690	2.4642	NiCr29Fe			Nnc 30 Fe
33	Inconel 625	2.4856	NiCr22Mo9Nb	NA 21		NC 22 FeDNb
33	5666	2.4856	NiCr22Mo9Nb			Inconel 625
33	Incoloy 825	2.4858	NiCr21Mo	NA 16		NC 21 Fe DU
34	Monel k-500	2.4375	NiCu30 Al	NA 18		NU 30 AT
34	4676	2.4375	NiCu30Al	3072-76		
34		2.4631	NiCr20TiAl	Hr40;601		NC20TA
34	Inconel 718	2.4668	NiCr19FeNbMo			NC 19 Fe Nb
34	Inconel	2.4694	NiCr16fE7TiAl			
34		2.4955	NiFe25Cr20NbTi			
34	5383	LM2.4668	NiCr19Fe19NbMo	HR8		NC19eNB
34	5391	LW2 4670	S-NiCr13A16MoNb	3146-3		NC12AD
34	5660	LW2.4662	NiFe35Cr14MoTi			ZSNCDT42
34	5537C	LW2.4964	CoCr20W15Ni			KC20WN
34	AMS 5772		CoCr22W14Ni			KC22WN
35	Inconel X-750	2.4669	NiCr15Fe7TiAl			NC 15 TNb A
35	Hastelloy B	2.4685	G-NiMo28			
35	Hastelloy C	2.4810	G-NiMo30			
35	AMS 5399	2.4973	NiCr19Co11MoTi			NC19KDT
35		3.7115	TiAl5Sn2			
36	R 50250	3.7025	Ti 1	2 TA 1		
36	R 52250	3.7225	Ti 1 pd	TP 1		
36	AMS 5397	LW2 4674	NiCo15Cr10MoAlTi			
37		3.7124	TiCu2	2 TA 21-24		
37	R 54620	3.7145	TiAl6Sn2Zr4Mo2Si			
37		3.7165	TiAl6V4	TA 10-13;TA 28		T-A 6 V
37		3.7185	TiAl4Mo4Sn2	TA 45-51; TA 57		
37		3.7195	TiAl 3 V 2.5			
37			TiAl4Mo4Sn4Si0.5			
37	AMS R54520		TiAl5Sn2.5	TA14/17		T-A5E
37	AMS R56400		TiAl6V4	TA10-13/TA28		T-A6V
37	AMS R56401		TiAl6V4ELI	TA11		

 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
			SUH330	
	XG50NiCr39 19		SCH15	
				XH38BT
				XH77TЮР
				BT5-1
				BT1-00
				BT6

Сравнительная таблица типичных представителей групп обрабатываемых материалов

Группа материала						
	AISI/SAE	W.-Nr.	.DIN	BS	EN	AFNOR
38	W 1	1.1545	C 105 W1	BW 1A		Y1 105
38	W210	1.1545	C105W1	BW2		Y120
38		1.2762	75 CrMoNiW 6 7			
38	440C	1.4125	X105 CrMo 17			Z 100 CD 17
38		1.6746	32 nlcRmO 14 5	832 M 31		35 NCD 14
40	Ni- Hard 2	0.9620	G-X 260 NiCr 4 2	Grade 2 A		
40	Ni- Hard 1	0.9625	G-X 330 Ni Cr 4 2	Grade 2 B		
40	Ni-Hard 4	0.9630	G-X 300 CrNiSi 9 5 2			
40		0.9640	G-X 300 CrMoNi 15 2 1			
40	A 532 III A 25% Cr	0.9650	G-X 260 Cr 27	Grade 3 D		
40	A 532 III A 25% Cr	0.9655	G-X 300 CrNMo 27 1	Grade 3 E		
40		1.2419	105 WCr 6	105WC 13		
40	310	1.4841	X15 CrNiSi 25 20	314 S31		Z 15 CNS 25-20
41		0.9635	G-X 300 CrMo 15 3			
41		0.9645	G-X 260 CrMoNi 20 2 1			
41		0.9655	G-X 300 CrNMo 27 1			

Группа материала	 SS	 UNI	 UNE	 JIS	 ГОСТ
38	1880	C 100 KU	F-5118	SK 3	Y10A
38	2900	C120KU	CF.515	SUP4	Y10A
38					
38					95X18
38					
40		0512-00			
40					
40		0513-00			
40					
40					
40					
40		0466-00			XBG
40					20X225H20C2
41					
41			107 WCr 5 KU		
41					