

1500/144. – 3 с.

11. А. с. 764855 СССР, МКМ В23 В27/16. Сборный отрезной резец / Г. Я. Потемкин (СССР). – № 2516465/25– 08; заявл. 18.08.77; опубл. 23.09.80, Бюл. № 35.

12. Ревко Р. Д. Сборный отрезной резец / Ревко Р. Д. – М.: ГОСИНТИ, 1964. – № 24– 64– 948/303. – 2 с.

13. А. с. 831059 СССР, МКМ В23 В27/16. Резец / Влайко Михич (Швеция). – № 2119044/25– 08; заявл. 02.04.75; опубл. 15.05.81, Бюл. № 18.

14. А. с. 1458092 СССР, МКМ В23 В27/16. Резец / А. Ю. Милентьев, А. Б. Слепаков (СССР). – № 4290032/30– 08; заявл. 27.07.87; опубл. 15.02.89, Бюл. № 6.

15. А. с. 1757773А1 СССР МКМ В23 В27/04. Канавочный резец / Б.О. Анмегилян, А. В. Честных (СССР). – № 4925807– 08; заявл. 04.04.91; опубл. 30.08.92, Бюл. № 32.

16. Каталог фирмы ISCAR. – 2010. – 29 с [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iscar.com/>

17. Пат. 2318634 Российская Федерация, МПК В23С5/06, В23С5/20, В23Р15/34, В24В39/06. Торцовая режущая, режуще-деформирующая и деформирующая фреза, рабочие пластины к ней и способ их изготовления, способ обработки деформирующей фрезой / Настасенко В. А., Урсал К. Г.; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – № 2005110805/02; заявл. 13.04.05; опубл. 10.03.08, Бюл. № 7.

18. Пат. 2366542 Российская Федерация, МПК В23В27/04. Сборный отрезной резец и режущие пластины к нему / Настасенко В. А., Бабий М. В.; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – № 2007111687/02; заявл. 29.03.07; опубл. 10.09.09, Бюл. № 25.

Надійшла 3.11.2010 р.

УДК 621.914.28

В.В. ВИРИЧ

НПО «Заря-Машпроект», г. Николаев,

ЭВОЛЮЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИСКОВЫХ ОТРЕЗНЫХ ФРЕЗ

Проведен анализ эволюции дисковых отрезных фрез от цельных конструкций из быстрорежущих сталей, до сборных, с механическим креплением быстросменных многогранных неперетачиваемых пластин. Предложен наиболее перспективный путь их развития, с установкой пластин в гнезде корпуса фрезы на их боковую грань.

The analysis of evolution of disk detachable milling cutters is conducted from whole constructions from rapid cutting steels, to the combined teams, with the mechanical fastening of rapid replacement many-sided throw-away plates. The most perspective way of their development is offered, with setting of plates in the nest of corps of milling cutter on their lateral verge.

Ключевые слова: дисковые и отрезные сборные фрезы, твердосплавные многогранные неперетачиваемые режущие пластины, механическое крепление пластин.

Введение. Работа относится к сфере производства и эксплуатации режущих инструментов, в частности – дисковых и отрезных фрез с механическим креплением неперетачиваемых режущих пластин.

Актуальность исследований и постановка задач работы. Главной тенденцией развития современного промышленного производства является повышение основных его технико-экономических показателей, к которым относят: рост производительности обработки и применяемых для этого инструментов, повышение их износостойкости, надежности, удобства использования и снижение трудоемкости их восстановления и обслуживания. В рамках этой тенденции – усовершенствование режущих инструментов является *актуальной и важной задачей*, поскольку от их показателей в конечном итоге зависят условия процесса резания, эксплуатации оборудования и качества обработки ими изделий. Решению данной задачи посвящено большое количество научных работ, только в Украине ежегодно выдаются десятки патентов на новые инструменты.

Однако создание и дальнейшее усовершенствование режущих инструментов, в частности – дисковых и отрезных фрез, широко применяемых в условиях серийного и крупносерийного производства, невозможно без анализа известных конструкций и разработки на этой базе современных стратегий их дальнейшего развития. Поэтому *целью выполняемой работы* является анализ эволюции данного вида инструментов и выбор основных путей их усовершенствования. *Научную новизну* данной работы составляет обобщение результатов анализа и поиск оригинальных прогрессивных конструкций, перспективных для современного и будущего производства.

Реализация поставленных в работе задач. Условием появления в XVIII веке дисковых отрезных фрез были потребности производства. Еще в древности для отрезки применяли плоские камни с зазубринами, а в бронзовом веке их сменили плоские прямые отрезные пилы двух видов – двуручные и ножовки [1]. Главным фактором их совершенствования был постоянно растущий диапазон распиливаемых материалов, в первую очередь – твердых пород древесины и камня. Применение пил с крупными зубьями для отрезки металлов было затруднительным, т.к. требовались значительные усилия резания, которые не могло обеспечить имеющееся в то время оборудование. Поэтому им предшествовали плоские напильники с мелкой и крупной насечкой [1].

Основными недостатками прямых пил, как режущих инструментов, являются: 1) наличие обратных ходов; 2) прерывистость процесса резания. Поэтому, в рамках объективных законов развития техники, была неизбежной потребность их устранения, что привело к созданию в XVI веке великим итальянским ученым – Леонардо да Винчи – прототипа фрезы, в виде вращающегося круглого напильника, а в 1777 году в Англии Самуил Миллер получил патент на круглую дисковую пилу [1], основа конструкции которой сохранилась до настоящего времени (рисунок 1).

В России круглые дисковые пилы начали применяться с 1825 года [2] и до настоящего времени они являются одним из наиболее распространенных инструментов для отрезки заготовок и других видов работ в мелкосерийном, серийном, а в ряде случаев – в крупносерийном производстве. Это объясняется относительной простотой, дешевизной и доступностью, как самого инструмента, так и используемого оборудования, что особо важно в условиях мелкосерийного и серийного производства, хотя они уступают в производительности и в ширине распила ленточным, пилам которые, из-за относительно высокой стоимости ленточнопильных станков, наиболее целесообразны в крупносерийном и массовом производстве.

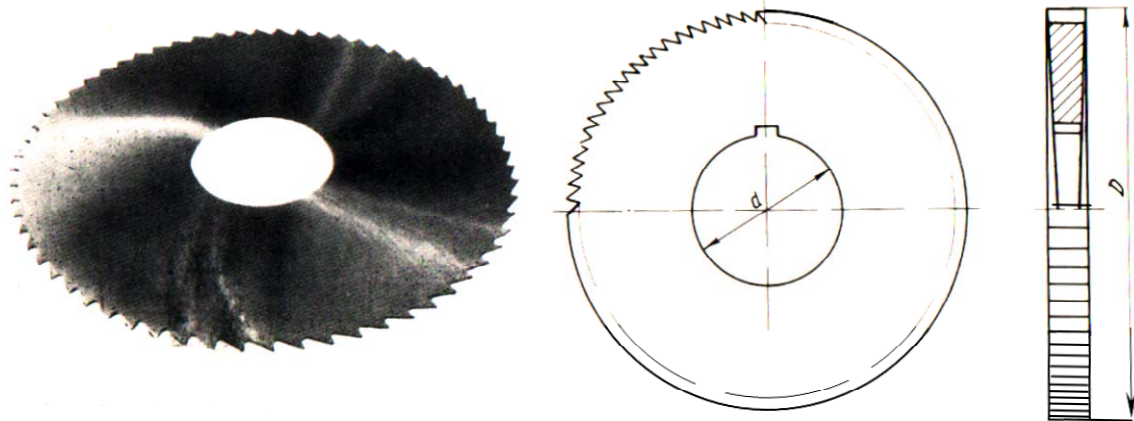


Рис. 1. Дисковая отрезная фреза простейшей конструкции

Однако, в ряде случаев обработки, например, при добыче камня из монолитных пород, дисковые пилы выполняют работу, невозможную для ленточных пил. Поэтому потребность в дисковых пилах была, и будет существовать всегда, что требует дальнейшего их усовершенствования, осуществляемого различными путями: 1) улучшения инструментальных материалов, 2) улучшения конструктивных и геометрических параметров зубьев и корпуса, 3) улучшения условий их изготовления и эксплуатации [2].

Эволюция инструментальных материалов. До первого десятилетия XX в. единственным материалом для изготовления режущих инструментов, в т.ч. – дисковых пил, были углеродистые инструментальные стали У10 – У12, содержащие от 1 до 1,2 % углерода. В начале XX в. были применены низколегированные стали, такие как У11Х, содержащие до 1 % хрома. Они отличались от углеродистых сталей более высокой прокаливаемостью и возможностью термической обработки в горячих средах, что значительно снизило их коробление и появление трещин. Однако по стойкости и производительности резания они незначительно отличались от углеродистых сталей, поскольку их основной стойкостной показатель – теплостойкость (температура, при которой твердость HRC режущих кромок снижается в 2 раза, по сравнению с исходной 62 – 65 HRC), повысилась лишь с 200°C, до 240°C [3]. Поэтому растущие мощности и скорости резания, обусловленные переходом от станков с общим приводным валом от паровых машин и ременной передачей, к станкам с индивидуальным электроприводом, привели к потребности дальнейшего совершенствования применяемых инструментов и их материалов.

Значительный прогресс в области режущего инструмента связан с созданием в начале XX в. первой высоколегированной инструментальной стали Р18, содержащей 18 % вольфрама, 4,5 % хрома и 1 % ванадия [3]. Ее стали применять также и для отрезных фрез. По сравнению с предшествующими легированными сталями она имела значительные преимущества по теплостойкости (до 630°C) и износостойкости, что обеспечило значительный скачок в металлообработке в целом и повысило ее производительность.

Однако существенным недостатком этой стали была высокая карбидная неоднородность, особенно в прутках большого сечения, что вело к выкашиванию режущих кромок инструмента и, как следствие, снижению его износостойкости, хотя для заготовок дисковых фрез, получаемых трехкратной ковкой из шайб, этот фактор существенно снижался. Более важным недостатком была относительная дороговизна стали Р18 и большой ее расход, особенно для фрез крупных диаметров. Поэтому, после создания более дешевой стали Р9, с уменьшенным до 9 % содержанием вольфрама, которая по механическим свойствам мало отличалась от стали Р18, но имела более высокую прокаливаемость и равномерную твердость (что снижало выкрашивание режущих кромок в процессе работы), ее стали широко применять, несмотря на худшую шлифуемость. Дальнейшее снижение стоимости материалов фрез связано с заменой стали Р9 на Р6М5, с 5 % добавкой молибдена, а для повышения ее механических и технологических свойств стали применять дополнительные легирующие материалы: кобальт, никель, титан и другие тугоплавкие металлы

[3]. Быстрорежущие стали марок P6M3 и P6M5 с твердостью после термообработки HRC 62 – 65 рекомендуются для обработки углеродистых и низколегированных сталей или чугунов средней прочности, а для труднообрабатываемых материалов следует применять фрезы из быстрорежущей стали повышенной производительности, марок P9K10, P14Ф4, P9M4K8Ф, P6M5K5 и другие по ТУ 128-68 и ГОСТ 19265-80, с твердостью после термообработки HRC 63 67 и теплостойкостью до 650 – 670°C [3].

Дальнейший значительный прогресс в области режущего инструмента связан с созданием в 30-е годы XX в. спекаемых методами порошковой металлургии твердых сплавов. Изначально их основу составили высокопрочные и жаростойкие карбиды вольфрама (98 – 90 %), связанные, для уменьшения их хрупкости, с более мягким и прочным на изгиб и растяжение кобальтом (2 – 10 %) [3], (твердые сплавы BK2 – BK10), такие материалы применяют для обработки чугуна и других высокопрочных хрупких материалов. Затем часть карбидов вольфрама заменили карбидами титана и применили их для обработки вязких материалов (например, в сплаве T15K6 карбиды титана составляют 15 %, кобальт – 6 %, остальное – карбиды вольфрама). При работе с ударами содержание кобальта в сплавах растет (рекомендуемый сплав T5K10), а для уменьшения количества дорогостоящих карбидов вольфрама – их замещают карбидами тантала (сплавы ТТК) и никеля (сплавы ТТНК). Современные тенденции усовершенствования твердых сплавов: 1) уменьшение зернистости (мелкозернистые – марки М, особо мелкозернистые – ОМ, у которых размеры спекаемых зерен не превышают 1 мкм, что уменьшает поры между ними); 2) повышение чистоты порошковых смесей; 3) оптимизация условий спекания.

Твердые сплавы обладают более высокой износостойкостью и теплостойкостью, чем режущие стали и не теряют своих режущих свойств при температуре резания от 750 до 1100°C. Они хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой, а также адгезионному и диффузионному износу, т.к. карбиды вольфрама, титана и тантала, обладающие высокой твердостью и тугоплавкостью (более 2000° С), образуют твердую режущую основу сплава. Скорости резания твердыми сплавами и подачи в 2 – 5 раз выше, чем при резании быстрорежущей стали, что повышает производительность. Кроме того, твердосплавный инструмент пригоден для обработки закаленных сталей и многих других труднообрабатываемых материалов, в т.ч. таких, как гранит и базальт, применяемых в машиностроении для стантин прецизионных станков, контрольно-измерительных приборов и им подобных изделий, что определяет сферы его предпочтительного применения [3].

Однако недостатками твердых сплавов являются: 1) дороговизна, 2) хрупкость (в 3-5 раз выше, чем у быстрорежущих сталей), 3) сложность изготовления и обработки, 4) небольшие размеры (максимум 60х60х60 мм), что требует применения сборных конструкций инструментов. При этом к изготовлению и креплению пластин в корпусе и к их эксплуатации предъявляются жесткие требования, которые постоянно растут.

Первый недостаток твердых сплавов – их дороговизну, устраняют созданные в 40-е годы XX века инструментальные материалы на основе оксидной минераллокерамики, состоящей из кристаллической окиси алюминия, которую, как и твердые сплавы, получают методом спекания и поставляют в машиностроительную промышленность в виде пластинок тех же размеров и формы что и твердые сплавы [3]. Минераллокерамика является наиболее дешевым и доступным материалом, поскольку не содержит в себе дефицитных материалов, при этом она обладает большой твердостью (HRA 91 – 93) и исключительно высокой теплопроводностью, а по теплостойкости (1500°C) превышает остальные инструментальные материалы, что позволяет работать нею на больших скоростях резания, значительно превышающих скорости резания твердых сплавов. Но ее недостатком является пониженная прочность на изгиб, низкая ударная вязкость и низкая сопротивляемость циклической температурной нагрузке, что исключает применение минераллокерамики для фрез, в т.ч. – дисковых и отрезных.

Наиболее прогрессивными в настоящее время являются созданные в 60-е годы XX в. композиционные сверхтвердые материалы (СТМ) на базе кубического карбида и нитрида бора, обладающие наиболее высокими технологическими и режущими способностями (теплостойкость до 1500°C, твердость до 110 HRA) [3]. Однако, из-за сложности получения (прессование при высоких температурах и давлении, подобных получению алмазов) их стоимость весьма высока. Поэтому при большом количестве режущих вставок, что характерно для дисковых и отрезных фрез, их применение может быть экономически оправдано лишь в особых случаях обработки, например, для закаленных металлов в условиях массового производства, или для разрезки материалов в оптической и полупроводниковой промышленности, где остаточные напряжения от резания недопустимы.

Совершенствование конструкций дисковых и отрезных фрез. Осуществлялось путем улучшения геометрии и формы зубьев, применения прогрессивных схем резания за счет различных направлений и формы зубьев. Современная конструкция цельных дисковых фрез с торцовыми зубьями требуемого для паза профиля показана на рисунке 2, а трехсторонних дисковых фрез с разнонаправленными зубьями – на рисунке 3 [3].

Основными тенденциями усовершенствования таких фрез является повышение точности и качества выполнения режущих кромок и всех ответственных поверхностей, а также изменение количества зубьев и их геометрии в зависимости от условий резания. Для повышения прочности зубьев задняя поверхность может быть выполнена с двумя углами наклона, увеличенным у вершины на 15 – 20°, либо выполнена по плавной кривой.

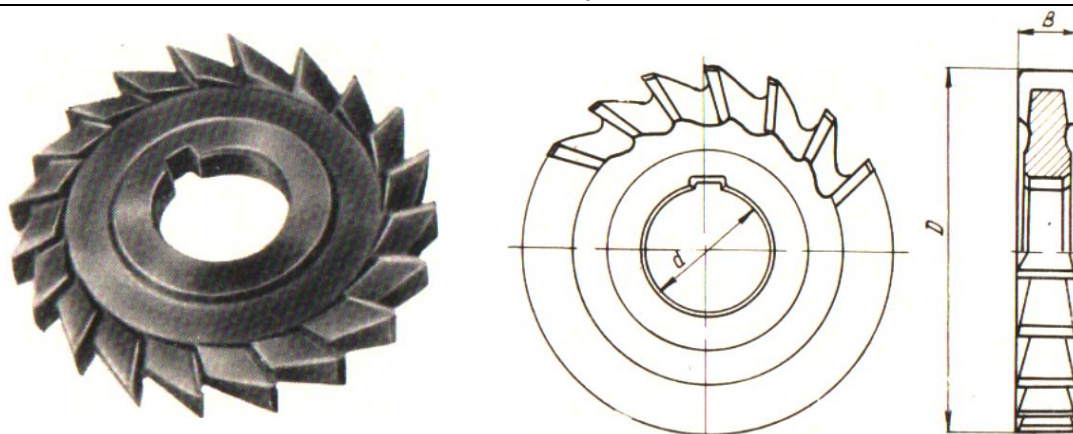


Рис. 2. Современная конструкция цельной дисковой фрезы с торцевыми зубьями прямобочного профиля

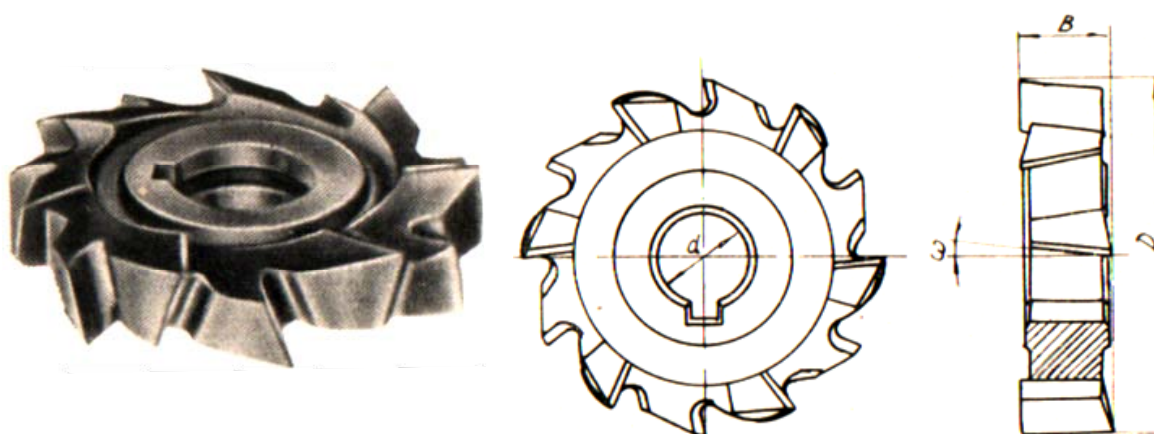


Рис. 3. Современная конструкция цельной дисковой фрезы с трехсторонней схемой резания

Основным путем экономии инструментальных сталей в отрезных фрезах стало применение сборных конструкций, как с напайными пластинами (рисунок 4), так и с механическим креплением самотормозящихся клиновых пластин с фиксирующими их положение рифлениями (рисунок 5), а для упрощения их крепления – из сегментов зубьев (рисунок 6), выполненных из быстрорежущих сталей [3].

Подобно быстрорежущим пластинам, твердосплавные пластины присоединяют к корпусу дисковых и отрезных фрез напайкой (рисунок 4), а механическое крепление, подобное креплению быстрорежущих пластин с рифлениями (рисунок 5), недопустимо из-за хрупкости твердого сплава. Поэтому используют промежуточный элемент – ножи из конструкционной стали с рифлениями, в гнезде которого напаяна твердосплавная пластина (рисунок 7).

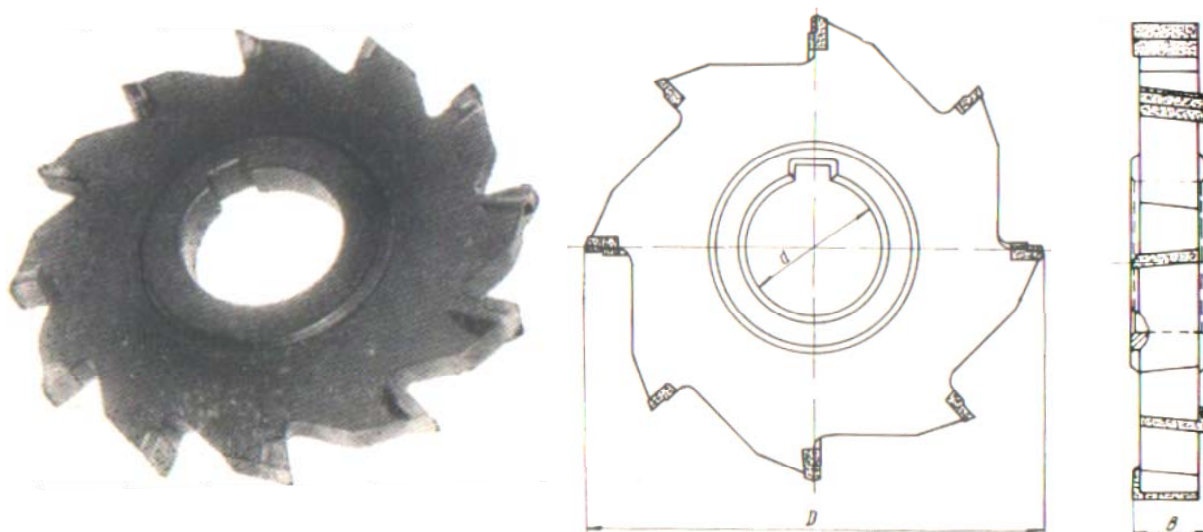


Рис. 4. Дисковая фреза с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твердого сплава

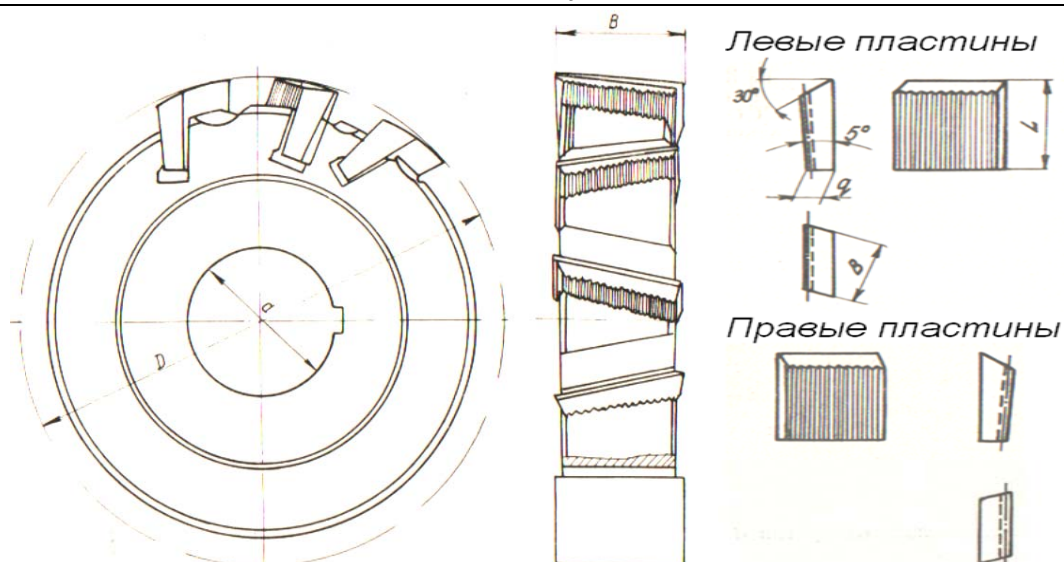


Рис. 5 Сборная дисковая фреза с механическим креплением быстрорежущих пластин клиновидной формы с рифлениями, фиксирующими их положение в гнезде

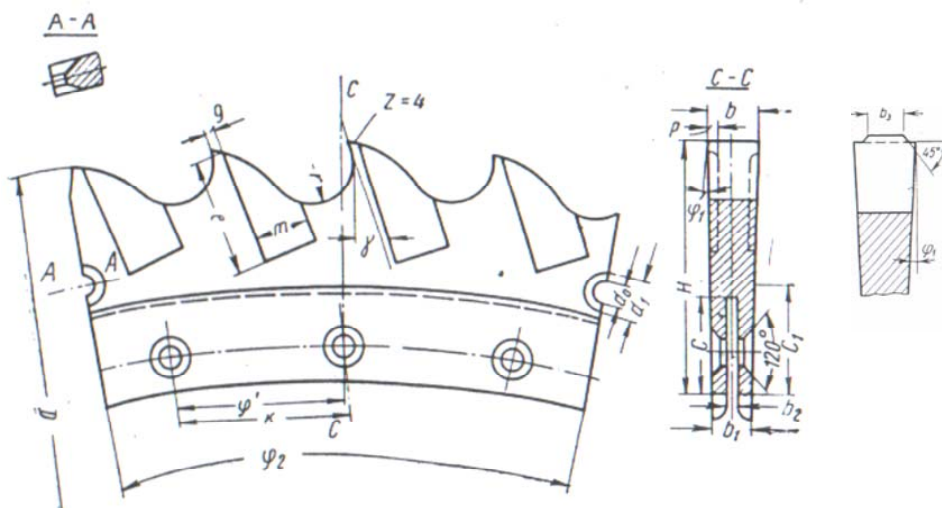


Рис. 6 Зубчатые сегменты из быстрорежущих сталей для установки на дисковых пилах

Для уменьшения хрупкого скалывания вершин пластин, ножи могут устанавливать с отрицательными передними углами в $6 - 12^\circ$, в т.ч. – за счет их смещения параллельно радиальной оси корпуса (рисунок 7). Однако для уменьшения сил резания более целесообразной является их радиальная установка и выполнение на режущих кромках пластин упрочняющих фасок шириной $0,4 - 1,2$ мм с отрицательным передним углом 6° и положительным задним углом $10 - 12^\circ$.

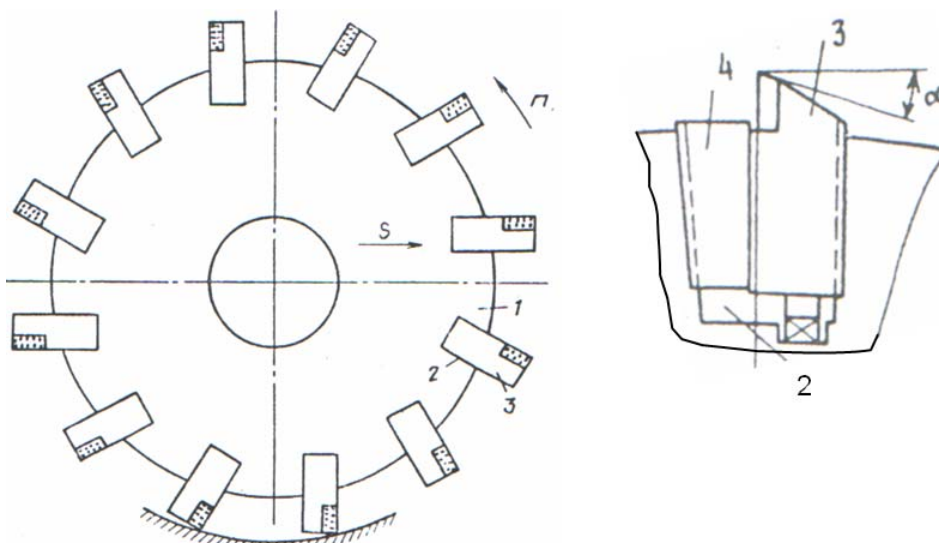


Рис. 7. Дисковая фреза 1 со вставными ножами 3 с напайными пластинами из твердого сплава и их крепление в пазу 2 дополнительным клином 4 с рифлениями

Применение сегментов из твердых сплавов, подобных показанным на рисунке 6, ограничено условиями прочности данной конструкции и предельно возможными размерами спекания пластин 60x60 мм, поэтому они практически не выполняются.

Современные конструкции сборных дисковых и отрезных фрез и их анализ. Главным недостатком напайки режущих пластин является то, что их, и корпус фрезы, разогревают до высоких температур, а при последующем их остывании, различные коэффициенты температурного расширения у твердого сплава и конструкционной стали корпуса, ведут к разной степени их сжатия. При этом в пластине возникают внутренние напряжения, сжимающие ее основание и выпучивающие ее верхнюю часть, что ведет к появлению на ней растягивающих напряжений, наиболее опасных для твердых сплавов, т.к. они вызывают раскрытие пор между зернами и развитие микротрещин, разрушающих далее пластины при контакте их со стружкой или СОТС в процессе резания.

В настоящее время наиболее прогрессивным исполнением твердых сплавов и быстрорежущих сталей является спекание их из мелкозернистых порошков в сменные многогранные неперетачиваемые поворотные пластины для механического крепления, что исключает потребность в переточках [2]. При этом исключаются:

- 1) потребности в заточном участке с требуемыми для него рабочими площадями, оборудованием, оснасткой, режущими и измерительными инструментами и др.;
- 2) затраты технологического времени, расход силовой электроэнергии и других расходных средств и материалов на выполнение переточек;
- 3) потребности в основном и вспомогательном персонале.

Кроме того, при наличии износостойких покрытий у неперетачиваемых пластин, оно сохраняется на всех сторонах режущих лезвий на протяжении всего периода их эксплуатации, что дополнительно сокращает их расход на 30-40 %.

Конструкция прорезной фрезы Шведской фирмы Sandvik Coromant с механическим креплением режущих пластин специальной формы [4] показана на рисунке 8. Ее главные достоинства – малая ширина паза, что позволяет достичь существенной экономии материала заготовки и снизить затраты на резание.

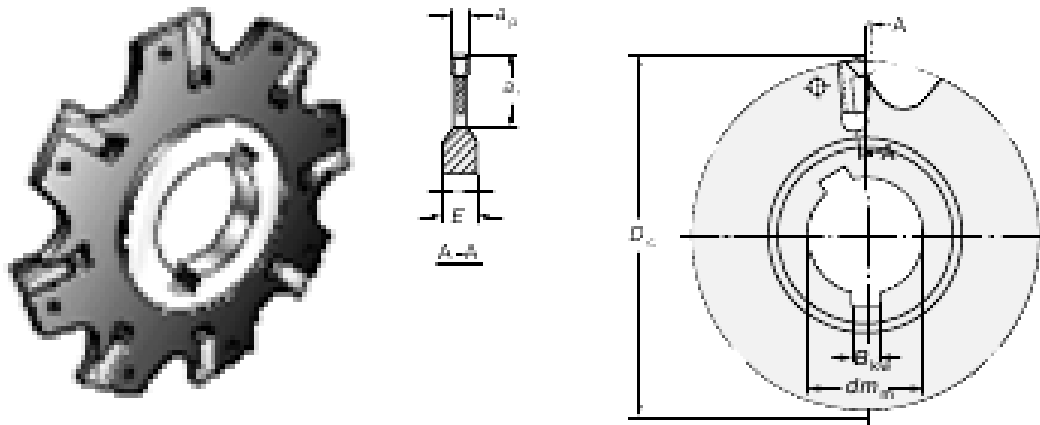


Рис. 8. Конструкция прорезной фрезы Шведской фирмы Sandvik Coromant с механическим креплением режущих пластин специальной формы

Сменные пластины для таких фрез позволяют многократно использовать корпус и исключают потребность в переточках. Однако данная фреза имеет ряд недостатков: 1) специальную форму пластин, 2) одну режущую кромку (рисунок 9), что ограничивает возможности переустановки пластин и увеличивает их расход.

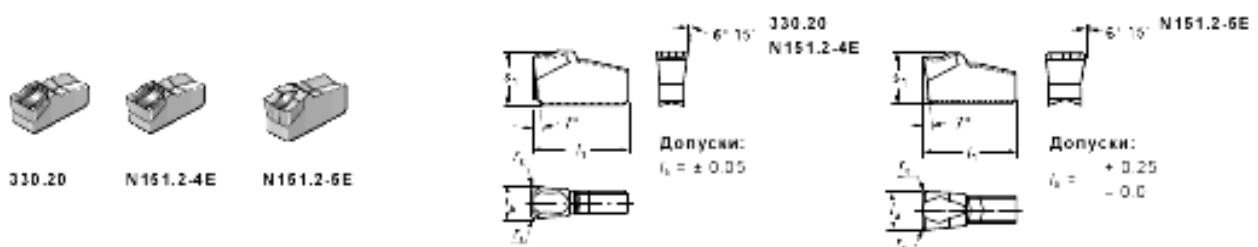


Рис. 9. Специальные отрезные пластины T-Max и Q-Cut фирмы Sandvik Coromant с одной режущей кромкой

Уменьшение второго недостатка возможно за счет применения специальных двусторонних пластин с двумя режущими кромками (рисунок 10).

Однако при этом увеличивается глубина прорези под пластины, что снижает прочность, жесткость и виброустойчивость фрезы, для повышения которых возможны 2 пути: либо увеличение диаметра фрезы,

что также снижает их прочность, жесткость и виброустойчивость, либо уменьшение количества режущих пластин. Повышение вибраций при работе ведет к отклонениям от правильной геометрической формы паза и ухудшает качество обработки поверхностей, а уменьшение количества пластин ведет к снижению режимов резания.

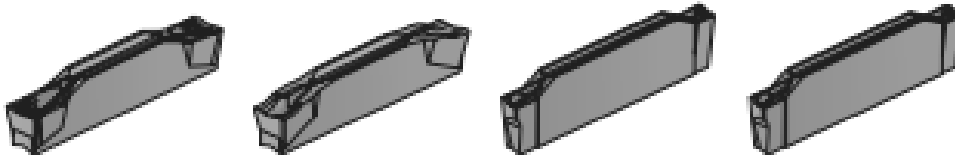


Рис. 10. Специальные пластины CoroCut 1–2 фирмы Sandvik Coromant с двумя режущими кромками

Разработаны также простейшие конструкции дисковых фрез с универсальными твердосплавными сменными многогранными режущими пластинами (СМП), например, квадратными (рисунок 11). Однако их недостатками являются: 1) неудобство крепления и замены пластин; 2) износ резьбовых отверстий в корпусе и возможность их поломок, что увеличивает расход корпусов, затраты на их приобретение и на отрезку в целом, 3) радиальная установка пластины, что сводит ширину распила или формируемого паза к суммарной ширине пластины и их сдвига и наклона в правую и левую сторону, для исключения затирания боковых кромок в пазу.

Замена квадратных пластин треугольными исключает их затирание в пазу, но проблематична, т.к. износ сразу пары вершин ухудшает возможности ее переустановки.

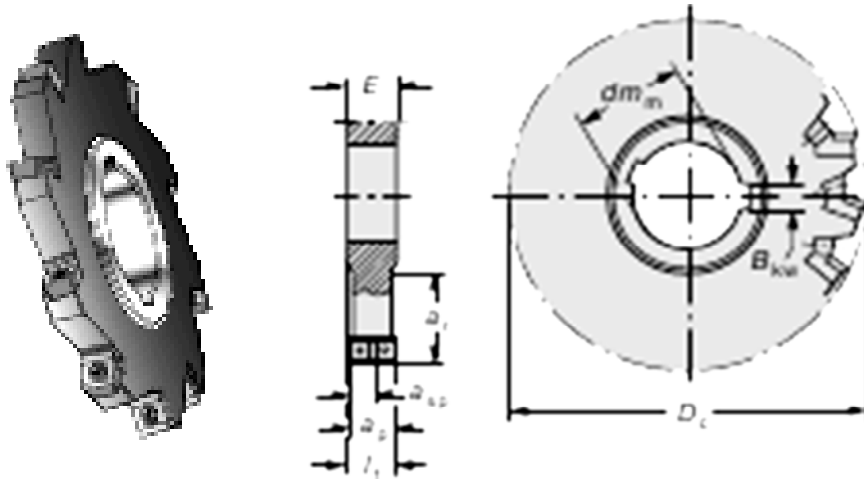


Рис. 11. Простейшая трехсторонняя дисковая фреза фирмы Sandvik Coromant с радиальной установкой универсальных многогранных неперетачиваемых пластин

Для повышения надежности и удобства крепления универсальных пластин, в т.ч. – без задних углов (что позволяет применять переустановку их на обратную сторону) разработан ряд более сложных конструкций дисковых фрез ведущих мировых фирм [5]. Их можно сгруппировать по способам выполнения базовых поверхностей под сменные многогранные пластины (а) и способам установки пластин в нужное положение (б, в):

- а) базы выполняют непосредственно в корпусе фрезы,
- б) используют вкладыши, которые устанавливают с помощью дополнительного приспособления;
- в) используют вкладыши, которые устанавливают с помощью регулировочного механизма, введенного в саму конструкцию фрезы.

Дисковые двухсторонние фрезы с механическим креплением СМП во многом аналогичны торцовым фрезам. Исключением являются лишь фрезы для обработки двух взаимоперпендикулярных поверхностей в относительно узких пазах или комплектные фрезы [5]. Необходимость соблюдения одинаковых геометрических параметров с обеих сторон фрезы при обеспечении удовлетворительных условий резания (угол наклона главной режущей кромки, деление стружки по ширине) требует выполнения закрытых баз под СМП, что существенно повышает трудоемкость изготовления фрез.

Двухсторонняя дисковая фреза конструкции ОАО "ВНИИинструмент" (рисунок 12, а) с механическим креплением сменных круглых неперетачиваемых твердосплавных режущих пластин 2, предназначена для обработки заготовок с радиусными уступами (в частности, на лапках сверл, зенкеров и т.д.). Однако чередование установки державок 4 на противоположную сторону позволяет использовать данную фрезу, как отрезную. При этом пластина 2 притягивается к базам корпуса 1 винтом 5 и державкой 4 с запрессованным в ней штифтом 3, для обеспечения надежного прилегания пластины к базам корпуса, в нем выполнены наклонные пазы, по которым скользят державки при заворачивании винта. Базы под режущие

пластины на корпусе, в случае их повреждения, можно восстановить точением [5].

Фирмой «Хайнлайн» (Германия) разработана конструкция трехсторонней фрезы с трехгранными СМП, технология изготовления которой значительно упрощается за счет устранения необходимости выполнения закрытых баз на корпусе фрезы (рисунок 12, б). Фреза состоит из корпуса 1, на ступицах которого винтом 8 закреплены кольца 7. Конические поверхности колец 7, служащих базами под режущие пластины 2, выполняют с одной установки инструмента второго порядка, что значительно повышает точность их выполнения. Введение открытых наклонных пазов в корпусе, служащих базами под режущие пластины, значительно облегчает их обработку и повышает точность выполнения баз. Пластины 2 крепят клиньями 6 и винтами 5. Для устранения повреждений корпуса фрезы в случае поломки СМП, клинья располагают за режущими пластинами, что также увеличивает объем

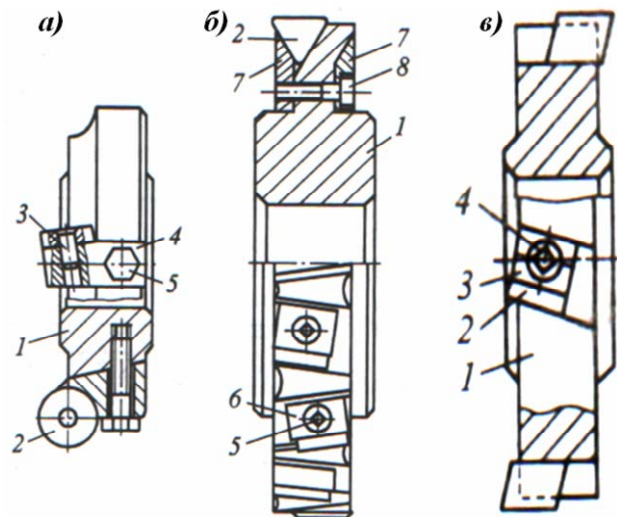


Рис. 12. Сборные дисковые фрезы с открытыми базами для крепления СМП

стружечных канавок и частично устраняет пакетирование стружки между зубьями. Однако такие фрезы имеют много крупногабаритных сопряженных деталей (1, 7), требующих точного исполнения [5].

Дисковая трехсторонняя фреза с механическим креплением твердосплавных СМП фирмы «Йонас энд Калвер» (Англия) [5], показанная на рисунке 12, б, исключает крупногабаритные детали, кроме корпуса. У нее режущие пластины 2, имеющие форму параллелограмма, закрепленные в корпусе 1 клиньями 3 и винтами 4, размещены в смежных пазах и взаимно смещены в осевом направлении, что улучшает стружкоотвод и устраняет вибрации. Пластины не имеют опорной поверхности в осевом направлении фрезы, поэтому ступицы последней точно шлифуют до заданной ширины, что дает возможность легко установить пластины на одну и ту же ширину, поместив ступицу на поверочную плиту и установив пластины по одному торцу (через одну). Настраивать фрезу на ширину, отличающуюся от ширины ступицы, можно установкой ступицы на прокладки требуемых размеров. После износа одной режущей кромки пластин, их можно повернуть непосредственно на станке, используя индикатор. Однако настройка такой фрезы на размер требует значительных затрат времени (особенно при настройке фрезы на станке). Кроме того, при относительно высоких режимах резания, возможно смещение СМП в осевом направлении и повреждение корпуса фрезы в случае поломки режущей пластины [5].

С целью повышения срока службы корпуса фрезы и надежного крепления пластин, разработаны дисковые фрезы, показанные на рисунке 13, а-г, в которых предусмотрено использование вкладышей с двумя или тремя базами под пластины. Одна из простейших конструкций дисковой фрезы фирмы Sandvik Coromant с механическим креплением трехгранных СМП с задними углами [5] показана на рисунке 12, а. Пластины 2 устанавливают в V-образных пазах вкладышей 5, которые закрепляют в корпусе винтом 6. Саму пластину крепят клином 3 и винтом 4. Однако она имеет те же недостатки установки пластин, что и предыдущая фреза.

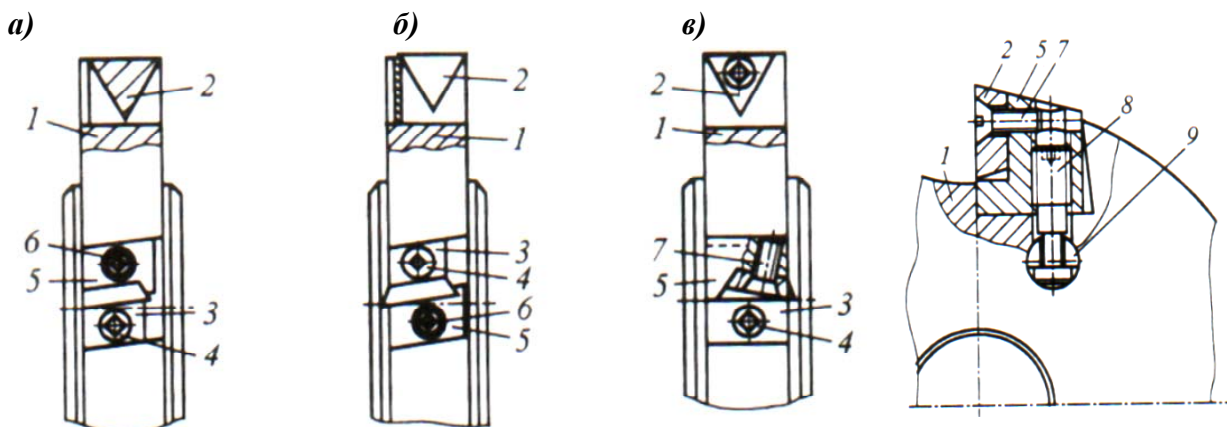


Рис. 13. Основные конструкции сборных дисковых фрез с вкладышами для крепления СМП трехгранной формы

Использование у фрез сменных вкладышей существенно снижает трудоемкость выполнения баз на ее корпусе, а также повышает срок его службы. Угол наклона пластин – разнонаправленный, способствующий устранению вибраций. Однако такая конструкция фрезы является достаточно сложной технологически, причем, в случае поломки СМП, повреждается и сложный в изготовлении вкладыш.

Германская фирма «Феттэ» [5] разработала конструкцию фрезы (рисунок 13, б), в пазах корпуса которой вкладыши 5 закрепляются винтами 6, а режущие трехгранные пластины 2 устанавливают в V-образном пазу вкладышей и закрепляют их со стороны опорных поверхностей клиньями 3 с помощью дифференциальных винтов 4. Установка клина за режущей пластиной устраняет опасность повреждения вкладыша при поломке пластины, однако возникает возможность несовпадения опорной поверхности пластины с клином в случае регулировки вкладыша в осевом направлении, поэтому к точности изготовления такой фрезы предъявляются более высокие требования.

В данных конструкциях фрез регулировку положения вкладышей в осевом направлении осуществляют за счет зазора между крепежными винтами и отверстиями во вкладышах, что существенно ограничивает диапазон изменения ширины фрез. Кроме того, при режимах резания с большими значениями параметров, возможно смещение вкладышей под действием сил резания. Однако такие фрезы обеспечивают хороший стружкоотвод при работе с относительно малой глубиной резания, но ее увеличение и, особенно – обработка заготовок из вязких материалов, будет вести к «пакетированию» стружки между зубьями. Это вызвано малыми размерами стружечных канавок, которые, в свою очередь, ограничены размерами режущих пластин и клиньев.

Для устранения этого недостатка разработаны конструкции дисковых фрез с применением вкладышей, которые выходят за пределы корпуса фрезы, а передняя поверхность режущих пластин не закрыта элементами крепления, например, дисковая фреза фирмы «Планзея» (Австрия) [5]. В пазах корпуса этой фрезы установлены вкладыши 5 (рисунок 13, в), которые закреплены в корпусе фрезы клиньями 3 с помощью дифференциальных винтов 4. Режущие пластины 2 закреплены на вкладышах через центральные отверстия винтами 7 с коническими головками. На опорных поверхностях вкладыша и боковых поверхностях пазов корпуса выполнены рифления. Наличие рифлений предотвращает поворот вкладышей или их осевое смещение под действием сил резания. При этом изменение ширины фрезы не может быть менее шага рифлений 3 мм.

В ОАО «ВНИИинструмент» разработаны подобные дисковые фрезы с повышенной технологичностью настройки их ширины (рисунок 13, г) [5]. В пазах корпуса этой фрезы установлены вкладыши 5 с пластинами 2, закрепленными винтами с конической головкой 7. Вкладыши крепят в пазах корпуса специальными винтами 8, шейки которых входят в вилки 9, установленные в отверстиях корпуса. Такое крепление вкладышей обеспечивает изменение ширины фрезы до 5 мм. Положение вкладышей вдоль оси регулируют при предварительно затянутых винтах. Вкладыши размещают в пазах корпуса с небольшим перекосом (под некоторым углом ко дну паза), вследствие чего при закреплении их винтами возникают опрокидывающие моменты, гарантирующие контакт опорных поверхностей вкладыша с верхними зонами боковых поверхностей пазов. Это повышает жесткость конструкции, по сравнению с конструкцией фирмы «Планзея» (рисунок 13, в), в которой при закреплении вкладышей клиньями возможно отсутствие вышеуказанных контактов. Кроме того, в конструкции фрезы «ВНИИинструмент» отсутствуют рифления и резьбовые отверстия в корпусе, что улучшает ее технологичность. Также существенно упрощается выполнение гнезд под пластины во вкладышах относительно их опорных поверхностей, поскольку требуется выдерживать размер лишь в радиальном направлении.

С целью облегчения условий регулирования за счет исключения специальных приспособлений для наладки, а также для повышения надежности крепления вкладышей, разработаны конструкции дисковых фрез с использованием регулирующих элементов, показанных на рисунке 14 [5].

Фирма «Хертель» разработала конструкцию дисковой фрезы с тангенциальной установкой режущих пластин (рисунок 14, а) [5]. Режущие пластины 2 крепят на корпусе 1 Г-образными штифтами 5 с коническими головками с помощью винтов 6. Положение пластин в осевом направлении регулируют штифтами 3 с лысками, с помощью винтов 4. Тангенциальная установка режущих пластин обеспечивает их высокую эксплуатационную прочность. При этом пластины имеют положительные передние углы, снижающие силы резания в процессе обработки. Однако, в случае поломки СМП, возможно повреждение трудоемкого в изготовлении корпуса фрезы.

Кроме этого, данные фрезы отличаются большой шириной фрезерования 18,5...24,0 мм [5].

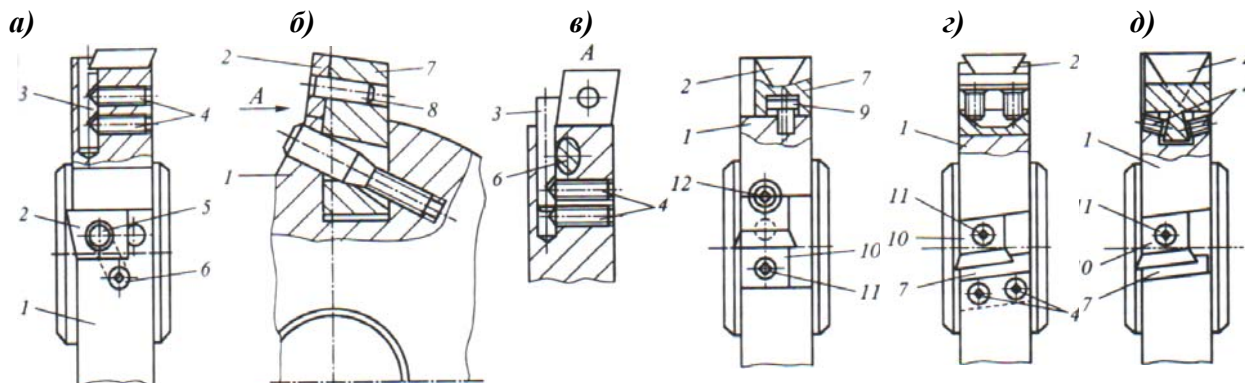


Рис. 14. Сборные дисковые фрезы ведущих фирм мира, с регулируемым креплением СМП

Во ВНИИинструмент также разработана конструкция трехсторонней дисковой фрезы с пластинами 2 в форме параллелограмма (рисунок 14.б) [5], которая более проста в изготовлении. В ней пластины 2 свободно установлены на штифты 8, запрессованные во вкладыши 7. Вкладыши вместе с пластинами перемещаются в пазах корпуса с помощью винтов 6, контактирующих своими коническими участками со скосами на вкладышах, вследствие чего режущие пластины притягиваются к базам. В радиальном направлении базы под режущие пластины выполняют точением. В осевом направлении пластины упираются в скосы штифтов 3, перемещаемых винтами 4. За счет перемещения штифтов и их скосов регулируют положение режущих пластин в осевом направлении. В этой конструкции можно использовать только СМП без задних углов, что ограничивает область применения этих фрез. Кроме того, в случае поломки пластин возможно повреждение корпуса.

Дисковая фреза фирмы «Хертель», показанная на рисунке 14.в [5], имеет корпус 1, в пазах которого винтами 12 закреплены вкладыши 7. Во вкладышах выполнены продольные пазы, в которые входят головки эксцентриков 9. При повороте эксцентрика вкладыш перемещается в осевом направлении, а пластины 2 крепят клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. Такой механизм регулирования предназначен в основном для обеспечения точности расположения режущих кромок СМП в осевом направлении, поскольку диапазон регулирования ширины фрезы достаточно мал.

Фрезы фирмы «Видиа Крупп» (Германия) имеют более широкий диапазон регулирования положения вкладышей в осевом направлении (рисунок 14.г). Для этого в корпусе фрезы выполнены Г-образные пазы, в которых размещены вкладыши 7. На вкладышах выполнены V-образные пазы, в боковые стороны которых упираются винты 4. Затягивая один винт и ослабляя другой, вкладыш перемещают в осевом направлении. После перемещения вкладышей в осевом направлении винты 4 затягивают до упора. Пластины 2 во вкладышах крепят со стороны их опорных поверхностей клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. При этом диапазон изменения ширины фрезы равен 1,5 мм [5].

Для увеличения диапазона изменения ширины фрезы фирма «Планзея» создала фрезу, представленную на рисунке 14.д. Здесь в пазах корпуса установлены вкладыши 7 со специальными выступами, в которые упираются регулировочные винты 4. Пластины 2 крепят со стороны их опорных поверхностей клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. Клинья располагают над выступами вкладышей. При этом диапазон изменения ширины фрезы составляет 10 мм [5].

Выводы. Анализ конструкций дисковых и отрезных фрез по работам [1-5] показал, что их развитие связано с переходом к сборным конструкциям с использованием твердых сплавов и СМП. Однако в настоящее время для повышения производительности чаще всего применяют сборные дисковые фрезы с механическим креплением ножей с напаянными перетачиваемыми твердосплавными пластинами. Объясняется это тем, что известные дисковые фрезы с механическим креплением СМП, неудобны в простейших конструкциях, либо имеют сложную трехстороннюю конструкцию, с базированием СМП во вкладышах, регулируемых в осевом направлении с помощью специальных приспособлений или с помощью регулировочных элементов.

При конструировании дисковых трехсторонних фрез необходимо предусмотреть открытые режущие кромки инструмента, а также получить заданные геометрические параметры с обеих сторон фрезы, т.к. процесс резания фрезами, имеющими малую ширину, характеризуется стесненными условиями стружкоотвода [5].

Трехсторонние дисковые сборные фрезы с СМП предназначены для обработки заготовок с уступами и пазами, в редких случаях применяются для отрезки. Основным недостатком данных конструкций фрез является большая ширина паза при отрезке – от 12 до 25 мм, что ведет к дополнительному расходу обрабатываемого материала и к увеличенной работе резания на превращение его в стружку. При этом большая площадь резания по всей ширине пластины увеличивает объем стружки и выделение тепла при ее срезании, что повышает нагрев заготовки и зубьев фрезы во время обработки паза, в котором теплоотвод ухудшен, и дополнительно снижает их износостойкость. Растут также мощность и силы резания, что увеличивает затраты силовой электроэнергии и технологическое время на отрезку, в свою очередь – повышая износ станков и расход твердого сплава. Радиальная установка пластин в корпусе отрезной фрезы не позволяет в полной мере повышать подачу, т.к. силу резания P_z твердосплавная пластина воспринимает в направлении наименьшей своей толщины.

Совокупность приведенных факторов свидетельствует о необходимости поиска новых путей усовершенствования дисковых и отрезных фрез.

Рекомендации. Более перспективной является установка СМП на их боковую грань, однако она невозможна из-за значительного радиуса сопряжения граней у их вершин. Устранение указанного недостатка предложено в патенте [6] за счет заточки на вершинах лысок или выкружек-стружечных канавок, исключающих исходный радиус сопряжения боковых граней СМП. Предложены также новые конструкции сборных дисковых фрез с боковым механическим креплением СМП, от трехгранной, до круглой формы, установленных в пазах корпуса. Одна из конструкций предложенных в патенте [6] дисковых фрез показана на рисунке 15.

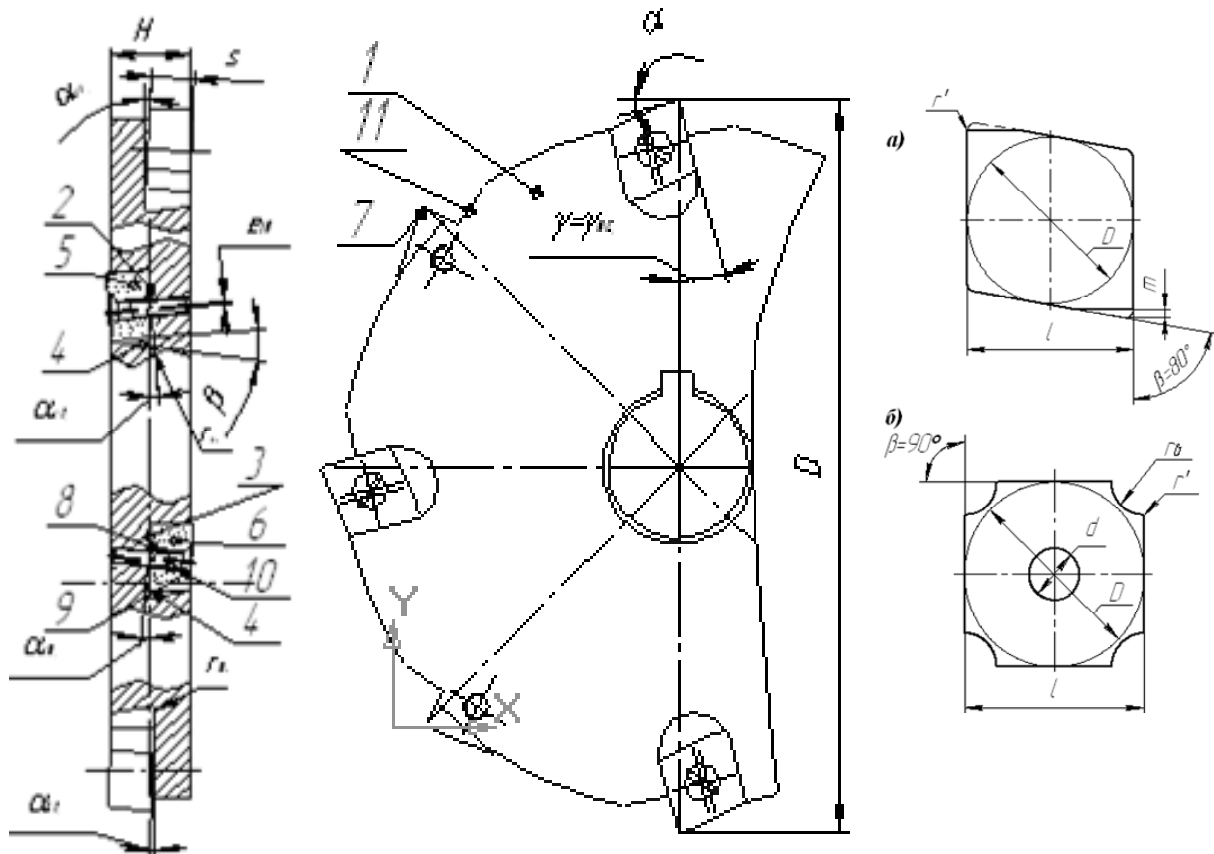


Рис. 15. Дисковая фреза с боковой установкой СМП, у которых переходные участки у вершин режущих кромок устранены лысками (а) или выкружками (б)

Крепление пластин в пазах может быть выполнено по их основанию, боковым сторонам и центральному отверстию, например, с помощью введенного в это отверстие винта с конической головкой, или поворотного эксцентрикового штифта. Возможна комбинация эксцентриковых и неподвижных штифтов, вводимых в отверстие, или установленных снаружи пластин, с упором в их боковую сторону, или в лыску, или в выемку на вершине. Для повышения надежности крепления пластин, в т.ч. не имеющих отверстия, крепежные элементы могут быть выполнены в виде клиньев, введенных в углубление клиновидной формы на стружечной канавке при контакте клина с боковой поверхностью пластины и закрепления его винтом, введенным в резьбовое отверстие, выполненное в корпусе во впадине стружечных канавок. При этом клинья могут иметь клиновидную форму в плане, или канавки могут быть выполнены в шахматном порядке под наклоном, обеспечивающим прижим пластины как к основанию и боковой стороне паза, так и к неподвижному штифту, введенному в центральное отверстие пластины, или контактирующему с ее боковой стороной, или с лыской, или с выемкой на вершине. Клинья могут быть установлены со стороны стружечной канавки или со стороны спинки зуба. В патенте Украины [6] предложены также другие варианты конструкций фрез и пластин, в общем количестве – 84 исполнения.

Работа предлагаемыми дисковыми и отрезными фрезами на фрезерных станках не отличается от работы базовых фрез, как по установке, так и по движениям резания. Отличия возникают автоматически лишь при срезании стружки, которая отделяется дополнительно заточенными режущими кромками с переходными радиусами $< 0,01$, созданными лысками или выемками на боковой стороне пластин у вершин боковых граней, затем она автоматически отводится от режущих кромок пластин в стружечные канавки корпуса.

Изготовление и применение предлагаемых фрез возможно в реальных условиях промышленного производства и дает значительный эффект по сравнению с базовыми фрезами, как по режимам обработки, так и по ширине прорези, которая уменьшается с 12 – 14 мм, до 6 мм, что в 2 – 2,5 раза снижает работу резания, адекватно повышая стойкость и производительность фрез, сокращает затраты силовой электроэнергии и снижает износ оборудования, а также существенно экономит материал разрезаемой заготовки. Для изготовления дисковых и канавочных фрез возможно увеличение ширины реза за счет установки 3-х и большего количества пластин в шахматном порядке. Преимуществом предлагаемых фрез от известных является конструктивное увеличение толщины СМП в направлении действия сил резания за счет их боковой установки, что создает резерв для повышения технологических режимов фрезерования.

Наиболее простыми в изготовлении в условиях мелкосерийного и серийного производства являются дисковые и отрезные фрезы, оснащенные ромбическими или трехгранными пластинами с лысками на вершинах, обеспечивающими 2 и 3 переустановки, а в условиях крупносерийного и массового производства – оснащенные квадратными пластинами с выкружками, что доводит количество их переустановок до 8.

Совокупность приведенных факторов позволяет рекомендовать предлагаемые фрезы и режущие пластины к ним к широкому внедрению.

Литература

1. Рубинцев С.А. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент/ Рубинцев С.А., Левант Г.В. и др. – М.: Машиностроение, 1968. – 258 с.
2. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / Родин П. Р. – М.: Высшая школа, 1986. – 482 с.
3. Ординарцев И.А. Справочник инструментальщика / Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., А.Н. Шевченко и др. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
4. Каталог продукции концерна Sandvik Coromant 2006 года.
5. Баранчиков В.И. Справочник конструктора-инструментальщика / Баранчиков В.И., Боровский Г.В. и др. – М.: Машиностроение. 2006. – 524 с.
6. Патент України на винахід № 91670, МПК В23 С 5/02. Збірна дискова фреза та ріжучі пластини до неї (варіанти). Заявка № 200603692 від 04.04.06. Авт. винах. Настасенко В.О., Яремчук М.Л // Бюлетень Патенти України, 2010, № 16 від 25.08.2010.

Надійшла 23.11.2010 р.

УДК 691

Ю.С. БІКС

Вінницький національний технічний університет

ПОБУДОВА ФУНКЦІЇ НАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКИХ ОЦІНОК ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НА ПРОГНОЗОВАНУ МІЦНІСТЬ БЕТОНУ

Розглянуто методику побудови функцій належності для прогнозування міцності бетону з врахуванням кількісних та якісних факторів впливу на прикладі лінгвістичної змінної "вплив тиску". Отримані кількісні оцінки ступеня впливу тиску та інших кількісних та якісних факторів на міцність бетону на основі теорії нечіткої логіки.

Building Method of belonging functions for predictable concrete strength by taking into account quantitative and qualitative influence factors on instance of linguistic variable "pressure influence" has been considered. Quantitative value of pressure influence index and other quantitative and qualitative factors for concrete strength based on fuzzy logic has been obtained.

Ключові слова: бетон, моделювання, ієрархічні рівняння, нечітка логіка, експертні оцінки.

Вступ. Зростання цін на енергоносії потребує від будівельної індустрії при виготовленні бетонів впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій. На стадії проектування енергоощадних складу та технології виготовлення бетону та бетонних виробів прогнозована міцність може бути забезпечена використанням науково обґрунтованих методик, що базуються на результатах математичного моделювання [1–3].

Оскільки на прогнозовану міцність бетону та бетонних виробів впливають фактори, які характеризуються кількісними та якісними параметрами, то для оцінювання технологічних та фізико-механічних факторів впливу запропоновано математичну модель у вигляді ієрархічної системи нечітких логічних рівнянь [4, 7]. Для створення експертно-моделюючої системи прогнозування міцності бетону з використанням нечітких логічних рівнянь необхідно встановити аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань прогнозованого впливу кількісних та якісних факторів, що характеризують склад та технологію виготовлення бетону [1].

Аналітичне обґрунтування та постановка задачі

При моделюванні прогнозованої міцності бетону в якості джерела інформації використовують експертні оцінки, які мають якісний та кількісний характер, що є доступним для технологів на етапі проектування складу бетону з певною міцністю. Метод, що використовується для побудови функцій належності, передбачає фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу. Етап фазифікації включає вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу, що задані на відповідних універсальних множинах. Нечітка множина, за допомогою якої формалізується терм $\tilde{F}$, є сукупність параметрів [5]:

$$\tilde{F} = \frac{\mu_{\tilde{F}}(u_1)}{u_1} + \frac{\mu_{\tilde{F}}(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{\mu_{\tilde{F}}(u_n)}{u_n}, \quad (1)$$

де $(u_1, u_2, \dots, u_n) = U$ – універсальна множина, на якій задається нечітка множина $\tilde{F} \in U$;

$\mu_{\tilde{F}}(u_i)$ – ступінь належності елемента $u_i \in U$ до нечіткої множини $\tilde{F}$.

Невідому функцію належності складає сукупність значень $\mu_{\tilde{F}}(u_i)$ для всіх $i = \overline{1, n}$, яку необхідно визначити. Метод розв'язання цієї задачі базується на ідеї розподілу ступеней належності універсальної