

УДК 621.914

Обзор фрез с криволинейной режущей кромкой

Потапова М. С.¹, Виноградов Д. В.^{1,*}

* vdv2010@bk.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Представлена классификация конструкций фрез с криволинейной режущей кромкой, обеспечивающих повышенные значения глубины и ширины фрезерования за счет разделения стружки по ширине. Предложена классификация существующих профилей режущих кромок. Построена схема срезания припуска в максимальном сечении, позволившая определить форму и размеры сечения слоя, срезаемого с заготовки одним зубом с разными типами профиля режущей кромки. Проведена оценка вида сечения, обеспечивающего максимальную толщину срезаемого слоя, установлены параметры, влияющие на вид сечения. Показано, что максимальное утолщение сечения срезаемого слоя происходит в случае, когда сечение ограничено сверху и снизу следами одного зуба. Приведены рекомендации по выбору типа режущей кромки в зависимости от вида обрабатываемого материала и шероховатости обработанной поверхности.

Ключевые слова: черновые концевые фрезы, фрезы с волнистой режущей кромкой, сечение срезаемого слоя

Введение

В настоящее время в связи с требованием роста производительности обработки все более широкое применение находят фрезы с криволинейной режущей кромкой (иначе их называют «черновыми», «кукурузными», «обдирочными»), обеспечивающие повышенные значения глубины и ширины фрезерования из-за разделения стружки по ширине, что позволяет решить вопрос стружкоразмещения в канавках инструмента.

Предлагаемый обзор фрез с криволинейной режущей кромкой основан на продукции отечественных и зарубежных производителей режущих инструментов: *Guhring* [1], *ZPS FN* [2], *Kennametal* [3], *Sandvick* [4], *Dolfamex* [5], *Iscar* [6], *HGT* [7], *Pramet* [8], *Taegutec* [9], *Mapal* [10], *ARNO-Werkzeuge* [11], *ST Group* [12,13], *HAHN-KOLB* [14], *Sumitomo* [15], Мион [16], Тернадо [17], *MITSUBISHI* [18], *Seco* [19], *Dormer* [20], *Niagara cutter* [21], *Nachi* [22].

Основная часть

Типовые представители фрез с криволинейной режущей кромкой, выявленные при изучении информационных источников, представлены на рис.1-3.



Рис. 1. Фрезы с коническим хвостовиком Морзе



Рис. 2. Фрезы с хвостовиками iLock (а) и Weldon (б)



Рис. 3. Насадная фреза (а) и сменная фрезерная головка (б)

Анализ производимых в настоящее время фрез позволил определить их основные конструктивные элементы и выполнить классификацию (рис. 4).

К основным конструктивным элементам были отнесены следующие:

- тип хвостовика (или базового отверстия) и его размер;
- диаметр режущей части фрезы D ;
- длина режущей части l_p ;
- общая длина фрезы L ;

- количество зубьев z ;
- угол наклона винтовой канавки ω .

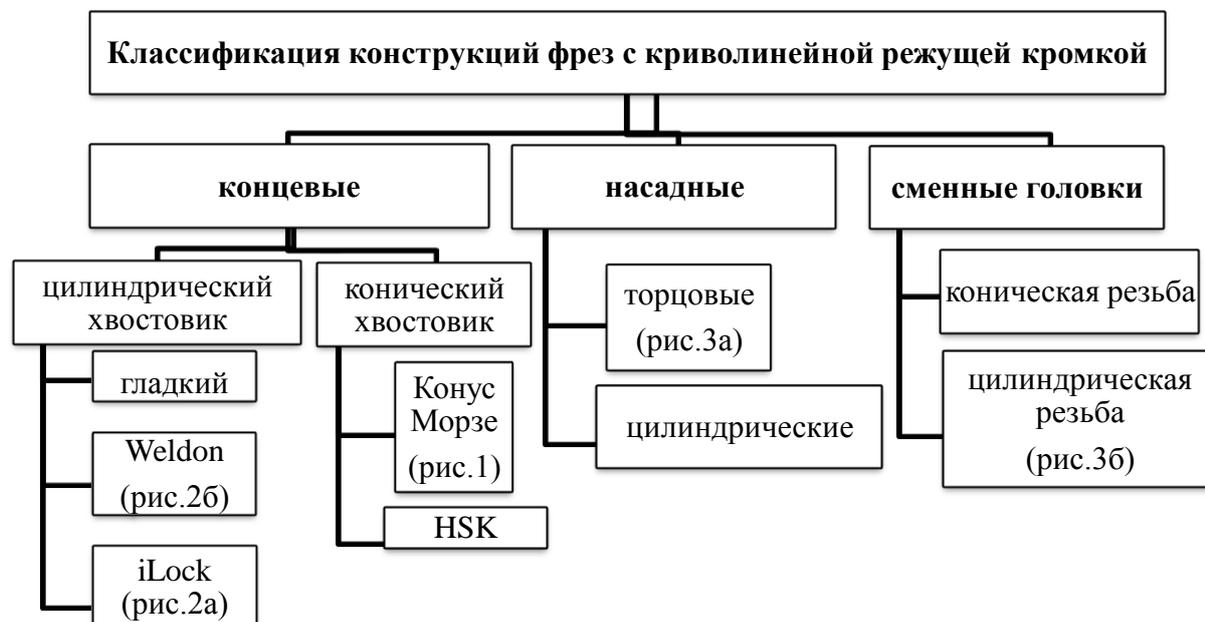


Рис. 4. Классификация конструкций фрез с криволинейной режущей кромкой

Диапазоны значений указанных параметров для известных фрез приведены в табл. 1.

Важно отметить, что основные геометрические параметры фрез с криволинейной режущей кромкой зависят от их конструкции и инструментального материала.

Таблица 1. Конструктивные параметры фрез с криволинейной режущей кромкой

Особенности конструкции	Инструментальный материал	D , мм	l_p , мм	d , мм	L , мм	z	ω , град
Цилиндрический хвостовик	Твердый сплав	4...25	4...48	6...25	54...156	3...8	30...45
	Быстрорежущая сталь	6...50	32...45	6...50	57...186	4...6	30
Конус Морзе	Быстрорежущая сталь	10...50	22...180	-	92...336	4...8	30...45
Хвостовик HSK	Быстрорежущая сталь	32...80	53...106	-	188...283	4...8	30
Сменные головки	Твердый сплав	8...25,4	5...22	-	10...37	3...8	40...45
Насадные фрезы	Быстрорежущая сталь	40...160	-	16...50	32...57	6...14	30...45

Примечания: D – диаметр режущей части фрезы, мм; l_p , – длина режущей части, мм; d – диаметр хвостовика (диаметр посадочного отверстия), мм; L – длина фрезы, мм; z – количество зубьев; ω – угол наклона винтовой канавки, град.

Изучение криволинейных профилей позволило разделить их по форме на два типа: плоский и круглый, по размеру на мелкие, крупные, сверхкрупные и по симметричности – на симметричные и ассиметричные (табл. 2). Примеры профилей фрез показаны на рис. 4.

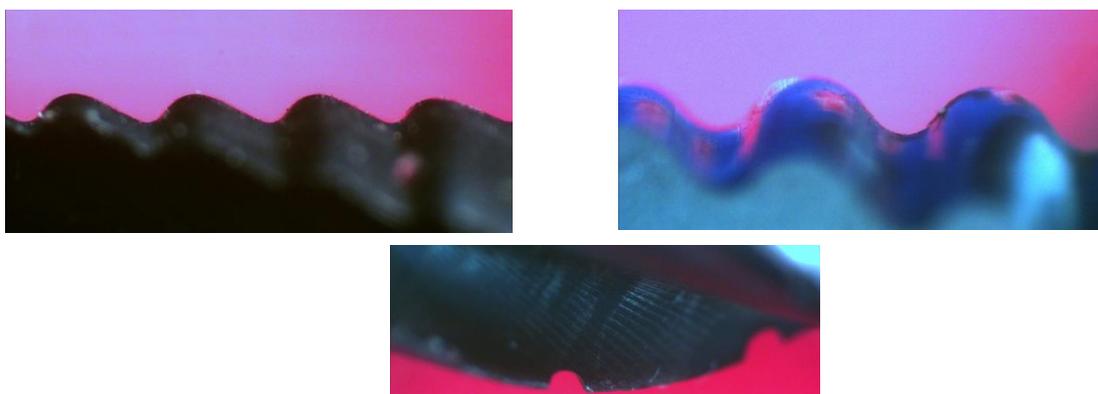


Рис. 4. Профили режущих кромок фрез: *a* – асимметричный (Dormer); *б* – типа *WR* (Hahn-Kolb); *в* – типа *NF/HF* (Dormer)

Таблица 2. Классификация профилей криволинейных режущих кромок

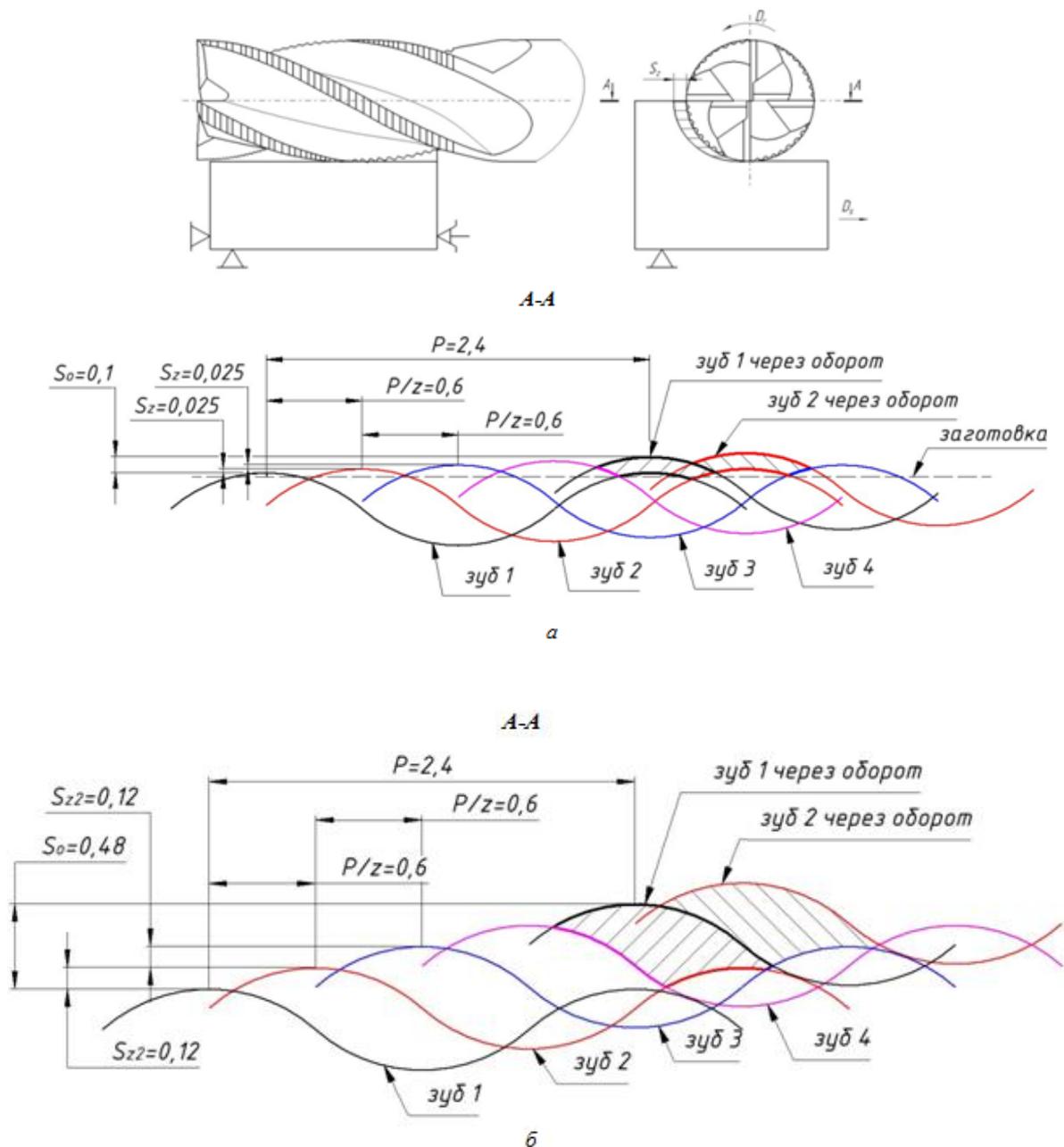
Тип	Плоский			Круглый			
	с круглыми канавками		с плоскими канавками	крупный	мелкий	сверхкрупный	асимметричный
	крупный	мелкий					
Обозначение	<i>NF</i>	<i>HF</i>	Стружколом	<i>NR</i>	<i>HR</i>	<i>WR</i>	–
Профиль							
Параметры профиля							
Сечение срезаемой стружки							

На базе обзора видов криволинейных профилей были выполнены построения, позволившие определить форму и размеры сечения слоя, срезаемого с заготовки одним зубом (рис. 5). Криволинейный профиль режущей кромки на каждом следующем зубе идентичен предыдущему, но смещен относительно него вдоль зуба на расстояние, равное шагу между вершинами гребней P , деленному на количество режущих зубьев z фрезы.

Схема образования сечения срезаемого слоя (ССС) рассмотрена на рис. 5, *a* на примере обработки с подачей на зуб $S_{z1} = 0,025$ мм/зуб четырехзубой фрезой ($z = 4$) с круглым профилем режущей кромки (рис. 4, *б*) со следующими параметрами: шаг между вершинами гребней $P = 2,4$ мм, высота профиля $h = 0,46$ мм, радиус скругления гребня $r_1 = r_2 = 0,9$ мм. Профиль каждого следующего зуба смещен по горизонтали вправо на величину P/z и по вертикали – на величину подачи на зуб S_z .

После полного оборота фрезы при резании в материал каждый следующий зуб будет снимать стружку одного и того же сечения. Полученное сечение (рис. 6, а) ограничено следами, отмеченными номерами соответствующих зубьев – 1-2-1-4, имеет ширину $b = 0,72$ мм и максимальную толщину срезаемого слоя $a_{\max} = zS_z = 0,1$ мм. Так как толщина ССС переменна по ширине стружки, рассчитаем среднее значение толщины

срезаемого слоя a_{cp} по формуле $a_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}$. Получаем $a_{\text{cp}} = 0,089 \approx 3,6 \cdot S_z$.



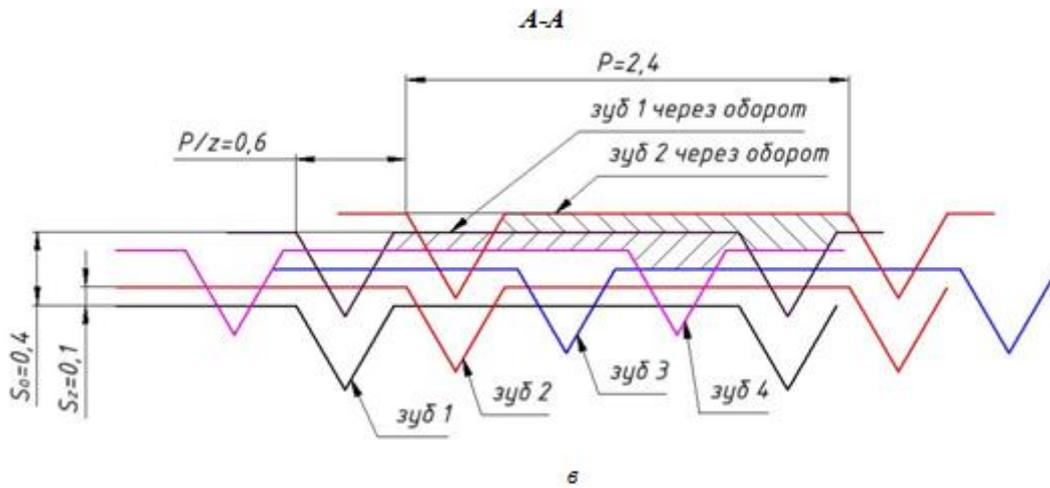


Рис. 5. Схема среза припуска в максимальном сечении режущей кромкой типа NR/HR/WR с подачами S_{z1} (а) и S_{z2} (б), режущей кромкой типа «Стружколом» (в)

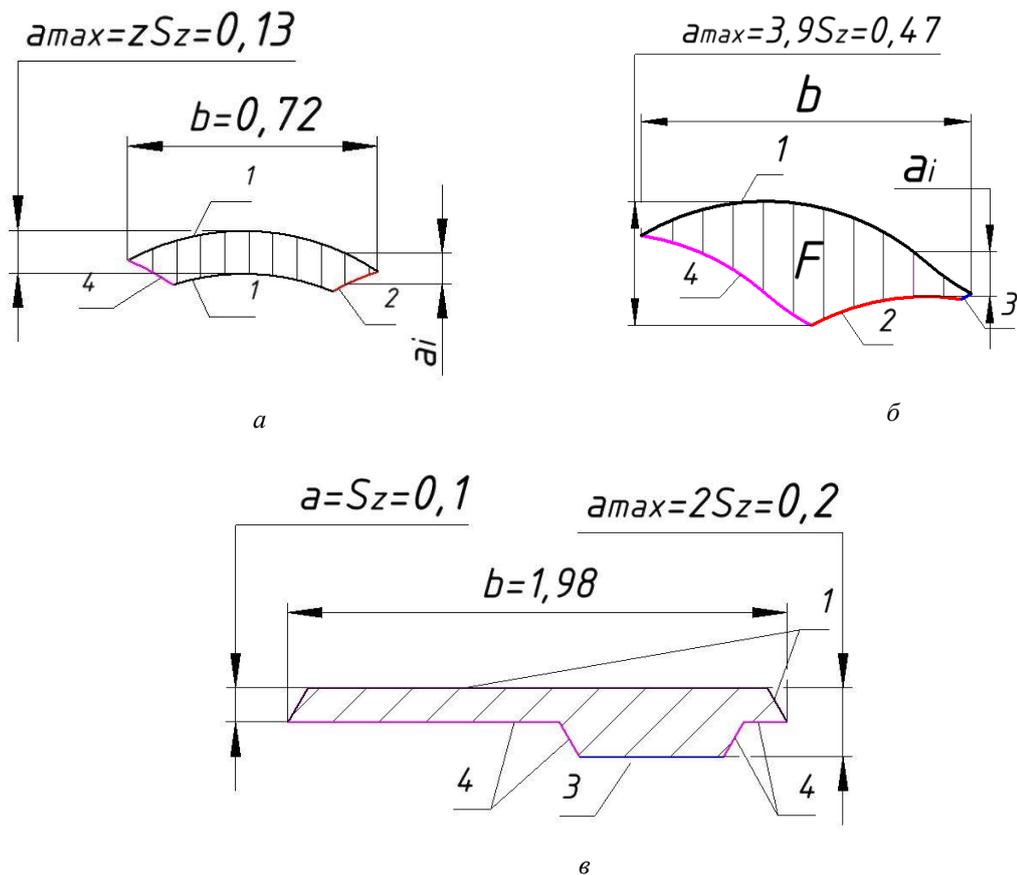


Рис. 6. Сечение срезаемого слоя по схеме рис. 5. а (а), рис. 5. б (б) и рис. 5. в (в)

На рис. 5, б представлена схема образования ССС фрезой с тем же профилем режущей кромки (рис. 4, б) и теми же размерами, но при подаче на зуб $S_{z2} = 0,12$ мм/зуб. Сечение представлено на рис. 6, б, оно ограничено следами зубьев 1-3-2-4 и имеет ширину

$b = 1,24$ мм, максимальную толщину $a_{\max} = 0,47$ мм и среднюю толщину $a_{\text{cp}} = 0,29$ мм. При таком виде сечения среднее значение толщины срезаемого слоя $a_{\text{cp}} \approx 2,4S_z$.

На рис. 5, в изображена схема срезания припуска фрезой с режущей кромкой типа «стружколом»[24]. Фрезы с таким профилем режущей кромки появились в 40-х годах прошлого века и нашли широкое применение для тяжелого фрезерования. Подробное описание образования сечения срезаемой стружки и его анализ, а также вопросы динамики рассмотрены в работах [25–27].

Сечение срезаемого слоя для фрез с режущей кромкой типа "стружколом" построено для случая обработки четырехзубой фрезой с $P = 2,4$ мм, $h = 0,46$ мм, $\beta = 60^\circ$ при $S_z = 0,1$ мм/зуб. Сечение представлено на рис. 6, в. Оно ограничено следами зубьев 2-1-4-3-4 и имеет максимальную толщину $2S_z$, среднее значение толщины ССС – $a_{\text{cp}} \approx 1,1S_z$.

Из приведенных примеров видно, что толщина слоя, срезаемого фрезами с криволинейной режущей кромкой, больше, чем толщина ССС, наблюдаемая при работе фрезами с "гладкой" режущей кромкой. Форма сечения и степень утолщения ССС изменяются при изменении формы и размеров профиля режущей кромки фрезы.

Сечение слоя, срезаемого одним зубом, может быть ограничено следами трех или четырех режущих зубьев фрезы. Большее утолщение сечения срезаемого слоя наблюдается, если ССС ограничено снизу и сверху следами одного зуба (первым или вторым и т. д.) и длина следов других зубьев минимальна (рис. 5, а). Это можно объяснить следующим: расстояние между следами одноименных зубьев фрезы равно $S_z \cdot z$, а разноименных (первым и четвертым или первым и вторым, рис. 6, а) – меньше $S_z \cdot z$. Чем меньшую долю в срезаемом слое составляют участки с меньшей толщиной, тем толще сечение срезаемого слоя в среднем.

Изучение литературных данных позволило сформулировать некоторые правила выбора профиля режущей кромки в зависимости от вида обрабатываемого материала:

- круглый мелкий профиль (*HR*) применяют для обработки заготовок из материалов средней и высокой прочности: до 1400 МПа для фрез из быстрорежущей стали и до 1600 МПа – для твердосплавных. Используют для черновой обработки поверхностей с шероховатостью $Ra12,5$ мкм и более.

- круглый крупный профиль (*NR*) применяют для обработки заготовок из материалов средней и низкой прочности: до 1000 МПа фрезами из быстрорежущей стали и до 1200 МПа – фрезами из твердого сплава. Используют для черновой обработки поверхностей с шероховатостью $Ra12,5$ мкм и более.

- асимметричный круглый профиль и сверхкрупный (*WR*) применяют для обработки заготовок из цветных металлов (чаще - алюминиевых сплавов) и мягкой стали прочностью до 600 МПа. Несимметричное расположение канавок уменьшает вибрации и увеличивает стойкость фрезы.

- плоский крупный профиль с радиусными канавками (*NF*) применяют для той же группы обрабатываемых материалов, что и крупный круглый профиль), но могут

использовать как для черновой, так и получистовой и чистовой обработки. Шероховатость обработанной поверхности $Ra_{3,2}$ мкм и более.

- плоский мелкий профиль с радиусными канавками (HF) применяют для той же группы обрабатываемых материалов, что и мелкий круглый профиль (средней и высокой прочности: до 1400 МПа фрезами из быстрорежущей стали и до 1600 МПа фрезами из твердого сплава), но можно использовать как для черновой, так и получистовой и чистовой обработки. Шероховатость получаемой поверхности $Ra_{3,2}$ мкм и более.

- чем крупнее профиль режущей кромки, тем больше шероховатость обработанной поверхности.

- применение плоского профиля с острыми канавками (геометрия «стружколом») аналогично применению плоского профиля с радиусными канавками, но обеспечивает меньшую шероховатость обработанной поверхности, по сравнению с обработкой фрезами с волнистой режущей кромкой.

Заключение

Фреза с криволинейной режущей кромкой срезает тот же объем материала, что и обычная фреза с гладкой режущей кромкой, но стружка разделена по ширине и имеет переменную толщину сечения срезаемого слоя. Сечение слоя, срезаемого криволинейной режущей кромкой, толще по сравнению с сечением слоя, срезаемого цилиндрическим "гладким" зубом. Утолщение ССС зависит от формы профиля режущей кромки и может достигать величины подачи на оборот. Максимальное утолщение ССС происходит в случае, когда сечение ограничено сверху и снизу следами одного зуба.

При выборе профиля режущей кромки можно руководствоваться правилом по мере увеличения твердости обрабатываемого материала и снижения требуемой шероховатости обработанной поверхности необходимо применять фрезы с меньшей высотой и шагом профиля.

Список литературы

1. Каталог Guhring. Высокопроизводительные фрезы. Режим доступа: <http://www.guhring.ru/uploads/cat/files/Frezi.pdf> (дата обращения 12.10.2014).
2. Каталог ZPS FN. Режим доступа: <http://instrtp.ru/d/219012/d/frezy-zps-fn.pdf> (дата обращения 12.10.2014).
3. Каталог Milling tooling KENNAMETAL. Режим доступа: https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/Metalworking%20Catalog%20Archive/Milling_master_catalog_60_50_metric.pdf (дата обращения 12.10.2014).

4. Каталог Sandvick. Вращающие инструменты. Фрезерование. 2012. Режим доступа: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/rotating/ROT_D.pdf (дата обращения: 12.10.2014).
5. Каталог (Dolfamex) D.1 Narzędzia skrawające VHM. Режим доступа: <http://patech.com.pl/pt/KATALOG/NS/7.pdf> (дата обращения 12.10.2014).
6. Каталог Iscar. Твердосплавный инструмент и система Multi-master. 2012. Режим доступа: <http://www.intehnika.ru/files/catalogues/200/file-245-1406896513.pdf> (дата обращения 12.10.2014).
7. Каталог HGT. Твердосплавный инструмент. Режим доступа: <http://povorotstol.ru/hgt.pdf> (дата обращения 12.10.2014).
8. Каталог Pramet. Цельнотвердосплавные фрезы. 2012. Режим доступа: <http://www.pramet.com/ru/download.html> (дата обращения 12.10.2014).
9. Каталог Taegutec. Solid end mill. Режим доступа: http://www.taegutec.ru/Catalog/F_Solid%20End%20mill.pdf (дата обращения 12.10.2014).
10. Каталог Mapal. Инструменты из монокристаллического твердого сплава. Режим доступа: http://www.mapal.com/fileadmin/11_Russisch/PDF-Dateien_russisch/2_Kataloge/MAPAL_Compotence_Solid_carbide_tools_ru.pdf (дата обращения 12.10.2014).
11. Каталог ARNO-Werkzeuge. Монокристаллический осевой инструмент. Режим доступа: http://www.arnor.ru/frezer/Monolit_2013.pdf (дата обращения 12.10.2014).
12. Каталог ST Group. Твердосплавные фрезы. Режим доступа: http://www.s-t-group.com/catalog/6_Jet_power_solid_carbide_hss_pm_end_mills.pdf (дата обращения 12.10.2014).
13. Каталог ST Group. Фрезы из быстрорежущей стали. Режим доступа: http://www.s-t-group.com/catalog/13_Tank_power_hss_pm_end_mills.pdf (дата обращения 12.10.2014).
14. Каталог HAN-KOLB. Режущий инструмент. Режим доступа: http://www.amktool.by/pdf/han_rej_inst.pdf (дата обращения 12.10.2014).
15. Каталог Sumitomo. Основной каталог 2010-2011. Режим доступа: <http://psk-rossnab.ru/Sumitomo/Sumitomo%202010-11.pdf> (дата обращения 12.10.2014).
16. Каталог МИОН. Режим доступа: <http://mion.tomsk.ru/catalog/obdirochnye/o638-obdirochnye-dlya-chernovoy-obrabotki/> (дата обращения 12.10.2014).
17. Каталог Тернадо. Цельные твердосплавные фрезы общего применения. Режим доступа: http://ternado.ru/production/Frezernyj_instrument_Ternado_Celnye_tverdosplavnye_frezy_obwego_primenenija.pdf (дата обращения 12.10.2014).
18. Каталог MITSUBISHI. Монокристаллические концевые фрезы. Режим доступа: <http://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru/product/catalog/catalog.html> (дата обращения 12.10.2014).

19. Каталог и техническое руководство SECO. 2008. Цельные концевые фрезы. Режим доступа:
http://www.secotools.com/CorpWeb/Service_Support/machining_navigator/CEE/Russia/Fianl_LR_RU_Jabro.pdf (дата обращения 12.10.2014).
20. Dormer Catalog 2015. Режим доступа:
http://www.dormertools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/Catalogues/Dormer%20Catalogue%202015/en-gb/DORcatalogue2015_v6_web.pdf (дата обращения 14.11.2014).
21. Niagara Cutter: Solid End Milling Product Catalog. 2014. Режим доступа:
http://www.niagaracutter.com/literature/Niagara_Catalog_GT14-506.pdf (дата обращения 14.11.2014).
22. Каталог NACHI Cutting Tools. 2013-2014. Режим доступа: <http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/eng/web/pdf/T2003-6.pdf> (дата обращение 14.11.2014).
23. DIN 1836:1984-01. Groups of tool application for chip removal [standard]. Deutsches Institut fur Normung E.V., 1984.
24. ГОСТ 15086-69. Фрезы концевые обдирочные с коническими хвостовиками. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1992. 20 с.
25. Рождественский Л.А. Обдирочное фрезерование кукурузными фрезами // Резание металлов и инструмент: сб. статей. Кн. 54 / МВТУ им. Н.Э. Баумана. М.: Машгиз, 1955. С. 5-20.
26. Розенберг А.М. Динамика кукурузной обдирочной фрезы // Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С.М. Кирова. 1948. Т. 61, вып. 3. С. 73-84.
27. Розенберг А.М. Стойкость кукурузных фрез // Известия Томского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института имени С.М. Кирова. 1948. Т. 61, вып. 3. С. 85-95.

Overview of Curved Cutting Edge Mills

M.S. Potapova¹, D.V. Vinogradov^{1,*}

[*vdv2010@bk.ru](mailto:vdv2010@bk.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: rough end mill, wavy cutting edge, serrated cutting edge, chip load

Now that there is a need to increase a processing capacity, curved cutting edge mills find ever-growing use. Also known as “rough end”, “full-side”, and “heavy-duty” mills, they provide the increased depth and width values of milling owing to the width-sized chip separation. The analysis of produced mills allowed us both to reveal their basic design components (type of a shaft or basic opening, diameter and length of the cutting part, mill length, quantity of teeth, a tilt angle of a screw flute) and to make their classification. The paper presents a classification of the profile types of cutting edges, which can be divided by form (flat, round), size (small, large, super-large), and symmetry (symmetrical and asymmetrical). The profile of the cutting edge is characterized by the following parameters: profile height, pitch of crests spherical radius of crest.

A review of the curved cutting edge profile types allows us to build the geometrical constructions to define a form and the sizes of the chip load made by the cutting edge from a billet. It is shown that parameters of the cutting edge profile influence the form and the sizes (thickness and width) of the chip load.

The chip load thickness provided by the curved cutting edge mills exceeds that of observed when using the “smooth” cutting edge mills. A thickening degree of the chip load is changed with changing form and sizes of the cutting edge mill profile. Larger thickening is observed if the chip load is limited from below and from above by the marks of a single tooth (the first or second etc.), and a length of the other teeth marks is minimum. The most achievable chip load thickness is equal to feed per revolution.

Studying the references allowed us to formulate some rules to choose a cutting edge profile depending on a type of the processed material and a desirable roughness of the processed surface. It is important to note the following.

When choosing a profile of the cutting edge it is possible to be guided by the rule: as a hardness of the processed material increases and a desirable roughness of the processed surface decreases it is necessary to use mills with a profile of the smaller height and pitch.

References

1. High-Performance Cutters Catalogue. Guhring: The Tool Company. Available at: <http://www.guhring.ru/uploads/cat/files/Frezi.pdf> , accessed 12.10.2014. (in Russian).
2. ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s. company Catalogue. Milling Cutters and Ground Drills. Available at: <http://instrtp.ru/d/219012/d/frezy-zps-fn.pdf> , accessed 12.10.2014.
3. Milling Tooling Catalogue. KENNAMETAL. Available at: https://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/Metalworking%20Catalog%20Archive/Milling_master_catalog_6050_metric.pdf , accessed 12.10.2014.
4. Sandvick Catalogue. Rotating tools. Milling, 2012. Available at: http://www.sandvik.coromant.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/catalogues/ru-ru/rotating/ROT_D.pdf , accessed 12.10.2014.
5. Catalogue (Dolfamex) D.1 Narzędzia skrawające VHM. Available at: <http://patech.com.pl/pt/KATALOG/NS/7.pdf> , accessed 12.10.2014.
6. Iscar Catalogue. Carbide tool and Multi-master system, 2012. Available at: <http://www.intehnika.ru/files/catalogues/200/file-245-1406896513.pdf> , accessed 12.10.2014. (in Russian).
7. HGT Catalogue. Carbide tool. Available at: <http://povorotstol.ru/hgt.pdf> , accessed 12.10.2014. (in Russian).
8. Pramet Catalogue. Solid carbide mills, 2012. Available at: <http://www.pramet.com/ru/download.html> , accessed 12.10.2014.
9. Taegutec Catalogue. Solid end mill. Available at: http://www.taegutec.ru/Catalog/F_Solid%20End%20mill.pdf , accessed 12.10.2014. (in Russian).
10. Mapal Catalogue. Monolithic solid alloy tools. Available at: http://www.mapal.com/fileadmin/11_Russisch/PDF-Dateien_russisch/2_Kataloge/MAPAL_Competence_Solid_carbide_tools_ru.pdf , accessed 12.10.2014.
11. ARNO-Werkzeuge Catalogue. Monolithic axial tool. Available at: http://www.arnoru.ru/frezer/Monolit_2013.pdf , accessed 12.10.2014. (in Russian).
12. ST Group Catalogue. Carbide mills. Available at: http://www.s-t-group.com/catalog/6_Jet_power_solid_carbide_hss_pm_end_mills.pdf , accessed 12.10.2014.
13. ST Group Catalogue. Mills HSS. Available at: http://www.s-t-group.com/catalog/13_Tank_power_hss_pm_end_mills.pdf , accessed 12.10.2014.
14. HAHN-KOLB Catalogue. Cutting tool. Available at: http://www.amktool.by/pdf/han_rej_inst.pdf , accessed 12.10.2014.

15. Sumitomo Catalogue. General Catalogue, 2010-2011. Available at: <http://psk-rossnab.ru/Sumitomo/Sumitomo%202010-11.pdf> , accessed 12.10.2014. (in Russian).
16. MION Catalogue. Available at: <http://mion.tomsk.ru/catalog/obdirochnye/o638-obdirochnye-dlya-chernovoy-obrabotki/> , accessed 12.10.2014. (in Russian).
17. Katalog Tornado. Tsel'nye tverdosplavnye frezy obshchego primeneniya [Tornado Catalogue. Solid carbide mills of general application]. Available at: http://tornado.ru/production/Frezernyj_instrument_Tornado_Celnye_tverdosplavnye_frezy_obwego_primenenija.pdf , accessed 12.10.2014. (in Russian).
18. MITSUBISHI Catalogue. Monolithic end mills. Available at: <http://www.mitsubishicarbide.com/EU/ru/product/catalog/catalog.html> , accessed 12.10.2014. (in Russian).
19. SECO Machining Navigator Catalogue, 2008. Solid End Mills. Available at: http://www.secotools.com/CorpWeb/Service_Support/machining_navigator/CEE/Russia/Fian1_LR_RU_Jabro.pdf , accessed 12.10.2014.
20. Dormer Catalogue, 2015. Режим доступа: http://www.dormertools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/Catalogues/Dormer%20Catalogue%202015/en-gb/DORcatalogue2015_v6_web.pdf , accessed 12.10.2014.
21. Niagara Cutter: Solid End Milling Product Catalogue, 2014. Available at: http://www.niagaracutter.com/literature/Niagara_Catalog_GT14-506.pdf , accessed 12.10.2014.
22. NACHI Cutting Tools, 2013-2014. Available at: <http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/eng/web/pdf/T2003-6.pdf> , accessed 12.10.2014.
23. DIN 1836:1984-01. Groups of tool application for chip removal [standard]. Deutsches Institut fur Normung E.V., 1984.
24. GOST 15086-69. Frezy kontsevye obdirochnye s konicheskimi khvostovikami. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 15086-69. Heavy-duty taper shank end mills. Specifications]. Moscow, Standards Publishing House, 1992. 20 p. (in Russian).
25. Rozhdestvenskiy L.A. Rough milling with the use of corn milling cutters. *Rezanie metallov i instrument: sb. statey. MVTU im. N.E. Baumana. Kn. 54* [Metal cutting and tool: collection of articles of Bauman MSTU. Vol. 54]. Moscow, Mashgiz Publ., 1955, pp. 5-20. (in Russian).
26. Rozenberg A.M. Dynamics of corn rough milling cutters. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*, 1948, vol. 61, no. 3, pp. 73-84. (in Russian).
27. Rozenberg A.M. Resistance of corn milling cutters. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute*, 1948, vol. 61, no. 3, pp. 85-95. (in Russian).