

КОМПАНІЯ
TOPA
ЯКІСТЬ ЗАПОРУКА УСПІШНОСТІ

ТЕХНІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИБОРУ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИСКОВИХ ПИЛ ПО МЕТАЛУ



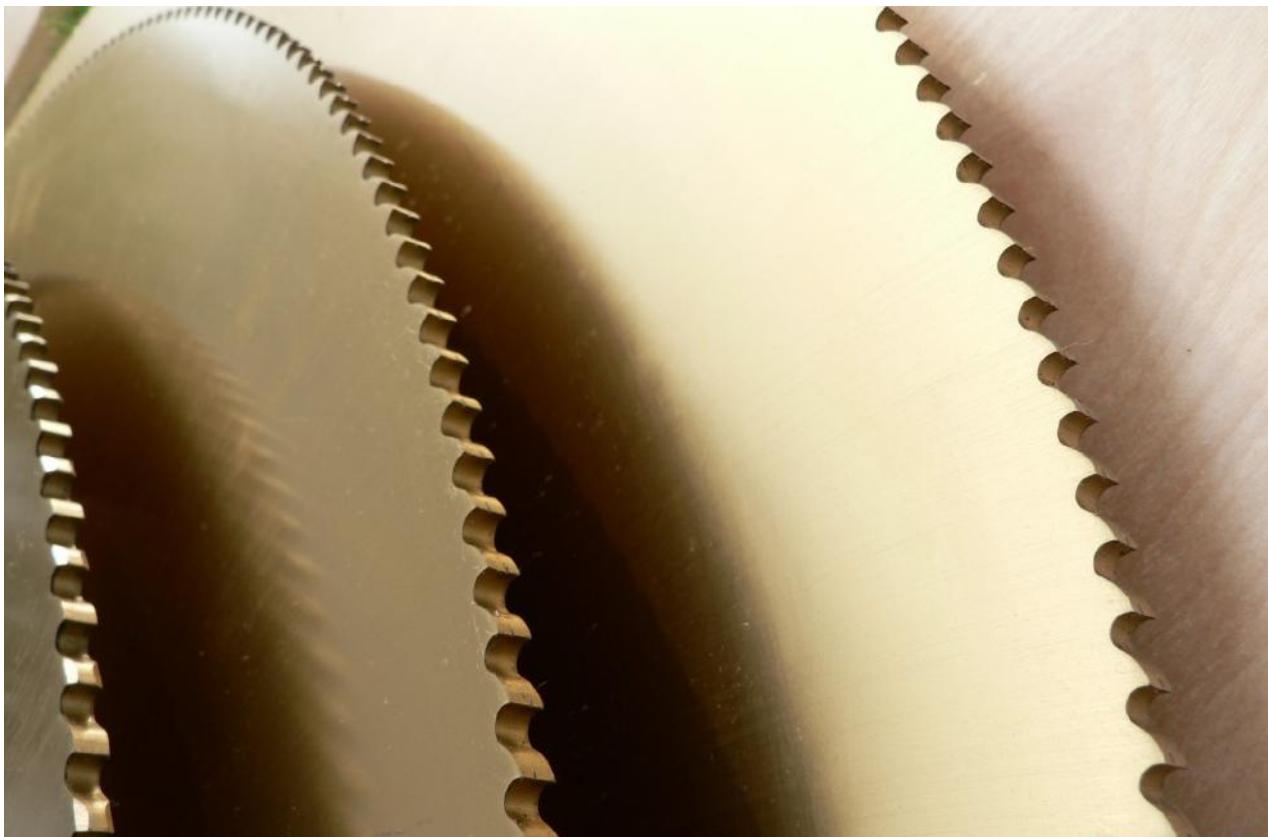
Процес розпилювання металу дисковою пилою – один із найпопулярніших способів механічної обробки різанням. Дискова пила може стати і шляхом отримання прибутку і змарнованою інвестицією, єдина відмінність – дотримання правил експлуатації цього інструменту. Ми, «КОМПАНІЯ «ТОРА», пропонуємо Вам даний посібник у якості методичного матеріалу для коректного вибору дискової пили, правильної організації та оптимізації робочого процесу.

У цьому посібнику ми зібрали поради наших ексклюзивних партнерів: GSP та Blecher, та загальні поради до обробки металу різанням від досвідчених операторів металообробних верстатів.

ЗМІСТ

ДИСКОВІ ПИЛИ ПО МЕТАЛУ HSS	4
Сумісність та сфера застосування	5
Основні характеристики HSS пил по металу	6
Металургійні особливості дискових пил зі швидкорізальної сталі	7
Типи покриття дискових пил HSS	8
Геометрія зуба	10
Форми зуба дискових HSS пил	11
Крок зуба	13
Способи закріплення заготовки	14
Вибір та експлуатація ЗОР	15
Швидкість обертання диску RPM	16
Інтенсивність подачі	17
Швидкість різання (окружна швидкість)	18
Поширені проблеми та шляхи їх вирішення	19
ТВЕРДОСПЛАВНІ ДИСКОВІ ПИЛИ	22
Основні характеристики дискових пил з напайками	23
Металургійні особливості твердосплавних пил по металу	24
Основні типи твердосплавних пил по металу	25
Особливості твердого зуба	26
Геометрія зуба	28
Режими різання	29
ФРИКЦІЙНІ ДИСКОВІ ПИЛИ	29
Типи фрикційних дискових пил по металу	30
Форма зубу фрикційних дискових пил по металу	31
Режими різання	32
Подача	33
СЕГМЕНТНІ ДИСКОВІ ПИЛИ	34
Металургійні особливості сегментних дискових пил по металу	35
Форма зубу сегментних дискових пил по металу	36
Режими різання	37

ДИСКОВІ ПИЛИ ПО МЕТАЛУ HSS



Також відомі під назвою **відрізні фрези** — один із найпопулярніших типів дискових пил на виробництві. Використовуються на ручних автоматичних, напівавтоматичних відрізних і торцовальних верстатах, маятниковых пилах, і з рештою металообробного обладнання з вертикальним способом подачі пили.

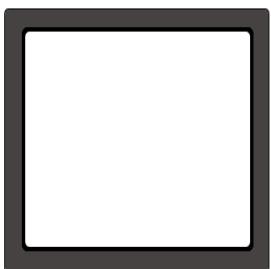
Альтернативною назвою також є **“пили для холодного різання”**. Суть назви полягає у тому, що при обробці матеріалу, пила поглинає все вироблене тепло у себе, не дозволяючи матеріалу нагріватися. Саме тому, ці пили рекомендовано використовувати з охолоджувальною рідиною.

Корпус і зубці пил виготовлені з однорідного матеріалу — HSS сталі (швидкорізальна). Як і будь який матеріал з високою твердістю, цей, залишається достатньо ламким, саме цьому пили не використовуються на високих швидкостях різання (звідси ще одна альтернативна назва — **тихохідні пили**)

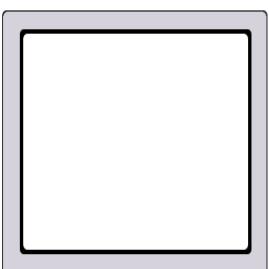
HSS пили мають доволі високий ресурс та якість різу, але вони все одно поступаються твердосплавним дискам мова о котрих піде у наступному розділі. Головна перевага відрізних фрез — абсолютна невибагливість до обслуговування та простота у експлуатації.

Сумісність та сфера застосування дискових пил HSS

HSS пили виділяються серед аналогів дуже високим рівнем універсальності та практичності — вони добре комбінуються майже з усіма металообробними верстатами, і оброблюваними матеріалами. Пили якісно ріжуть більшість видів чорних та кольорових металів у всіх можливих формах.



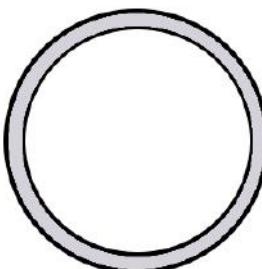
Сталевий профіль



Кольоровий профіль



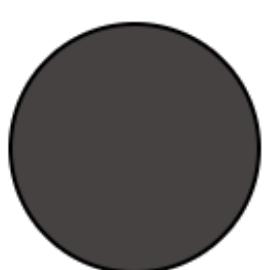
Сталеві труби



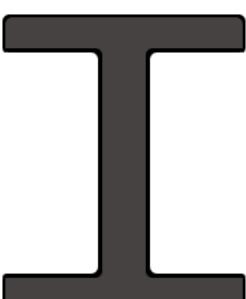
Кольорові труби



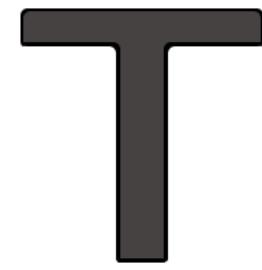
Суцільні заготовки



Циліндричні заготовки



Профільні матеріали

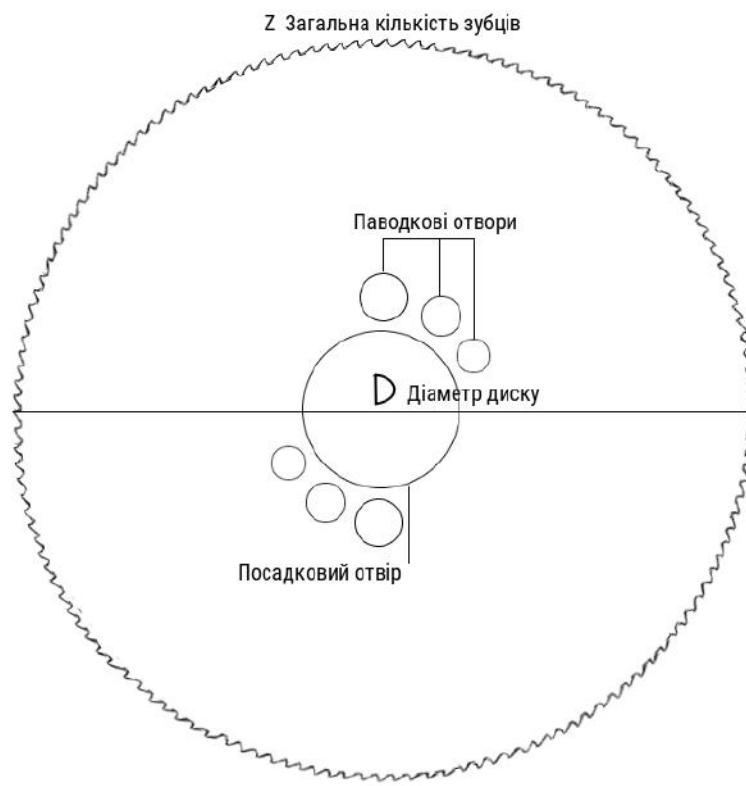


Однак, слід зазначити, що дана універсальність не є абсолютною і для кожного типу матеріалу і форми заготовки, слід підбирати конкретний диск, його покриття, діаметр, товщину, форму, крок зуба, кількість зубців та матеріал, що оброблюється.

У відповідних розділах даного посібника наведені приблизні рекомендації до вибору кожного з вищезнаваних параметрів.

Дискові пилы HSS використовуються повсякчасно на металургійних підприємствах будь якого масштабу та у побуті. Оптимальною сферою застосування даного інструменту є ділення сталевих труб та профілів. Особливою популярністю HSS пили користуються на прокатних станах для виробництва сталевих труб, або лініях виробництва металопластикових конструкцій — диски використовуються для різання сталевого армування та штапіку.

Основні характеристики HSS пил по металу



Основними характеристиками пилкового диску по металу є його діаметр, товщина, кількість зубців, діаметр посадкового та паводкових отворів.

Діаметр HSS пил, (D) варіється у межах між 175 і 600 мм. Вибір оптимального діаметру обчислюється на основі вимог верстату та оброблюваного матеріалу.

Товщина корпусу дискової пили (B) коливається між 1,2 і 5,0 мм. Фактично, товщина корпусу є товщиною розпилу, який формує диск, тому вибір цієї одиниці має безпосередній вплив на якість роботи ріжучого інструменту. Однак, занадто тонкий по відношенню до матеріалу диск, буде виробляти деренчання та вібрації, що в кінцевому підсумку може привести до його руйнування.

Z — це загальна **кількість зубців** (60-460) яка знаходиться на диску. Вибір даного параметру базується на фізичних габаритах оброблюваного матеріалу. Оптимальним є наступне правило вибору зуба: **більший перетин заготовки — менша кількість зуба**.

Встановлення диску на вал верстату здійснюється через **посадковий отвір**, який знаходиться у центрі диску. Стандартними його діаметрами є 32, 40 та 50 мм.

Паводкові / додаткові отвори виступають у якості допоміжних пристроїв для більш щільного кріплення диску на валі верстату.

Визначення дискової пили здійснюється за наступним принципом:

$$\text{Діаметр}(D) \text{ (мм)} \times \text{товщина} (B) \text{ (мм)} \times \text{посадковий отвір (мм)} \times \text{кількість зубців (Z)}$$

так, звичайна дискова пила може бути визначена наступним чином:

$$250 \times 2,0 \times 32 \times 200$$

Металургійні особливості дискових пил зі швидкорізальної (HSS) сталі

Найбільш розповсюдженими сплавами для виробництва HSS пил є два типи сталі:

HSS Dmo5 / 1.3343

Хімічний склад сталі Dmo5 (у відсотковому значенні)						
C (вуглець)	Si (кремній)	Mn (манган)	Cr (хром)	Mo (молібден)	V (ванадій)	W (вольфрам)
0,9	0,25	0,3	4,1	5,0	1,8	5,4

Стандартний матеріал у більшості виробників дискових пил. Характерною особливістю є достатньо високий відсоток хрому (Cr 4,1%), молібдену (Mo 5,0%), та вольфраму (W 5,4%). Вміст легуючих компонентів забезпечує метал оптимальними фізичними та механічними якостями. Тонка мартенситна структура поверхні корпусу диску, має підвищений супротив втомі та розтріскуванню поверхні. Крім того, поверхня пили опирається появі та розростанню зерен при інтенсивних термічних навантаженнях.

Пили, вироблені з даного матеріалу є оптимальним вибором для будь яких робіт середньої та навіть високої складності, однак не рекомендується використовувати їх для різання особливо важких та екзотичних матеріалів (нержавіюча, нікелева сталь, титан та його сплави і т.д.).

HSS Emo5 (Co5) / 1.3243

Хімічний склад сталі Emo5 (у відсотковому значенні)							
C (вуглець)	Si (кремній)	Mn (манган)	Cr (хром)	Mo (молібден)	V (ванадій)	W (вольфрам)	Co (кобальт)
0,9	0,4	0,3	4,1	5,0	1,9	6,4	4,8

Даний тип сталі, окрім більшого вмісту деяких легуючих елементів, відрізняється від Dmo5 і тим, що містить приблизно 5% кобальту. Даний компонент надає інструменту більш виражені термостійкі якості, тому пили з вмістом кобальту менш склонні до утворення зерен навіть при інтенсивних фізичних та термічних навантаженнях. Диски, вироблені зі сплаву Emo5 призначенні для більш специфічних задач, так, вони здатні якісно та швидко різати нержавіючі та важкооброблювані сталі, без суттєвої втрати ресурсу.

Слід однак зазначити, що **маючи надзвичайно високу твердість, пили зі швидкорізальної сталі залишаються достатньо ламкими**, тому слід уважно стежити за умовами зберігання та транспортування дисков і не допускати будь яких неробочих навантажень на диск.

Типи покриття дискових пил HSS

Заради забезпечення інструмента більшими показниками якості та зносостійкості, більшість сучасних виробників вкривають поверхні пил спеціальним покриттям, яке акцентує деякі переваги та особливості пил, або нівелює негативні ефекти, типові при різанні.

VAPO (Vaporization)



Пасивація, або обробка паром — достатньо поширений спосіб хімічної обробки поверхні диску. Характерний для цього типу покриття, чорний колір поверхні диску, отримується завдяки окисленню CO_2 , яке зазнають пили під дією перегрітого (550°C) пару. Утворює тонку плівку з твердістю (~900 HV).

Пили з таким покриттям стають більш пружними, що знижує можливість їх ламання. До того ж, покриття утворює специфічні мікропори на поверхні диску, які полегшують розповсюдження охолодження.

Покриття VAPO протипоказане для різання кольорових металів!

TiN

Нітрид титану, яким вкриті пили, має специфічний золотавий або жовтий колір. Особливою його рисою є підвищений рівень твердості на поверхні диску (~2300 HV). Це робить пили з подібним покриттям оптимальним вибором під час обробки твердих або надтвердих матеріалів, без ризику передчасного руйнування або затуплення диску.

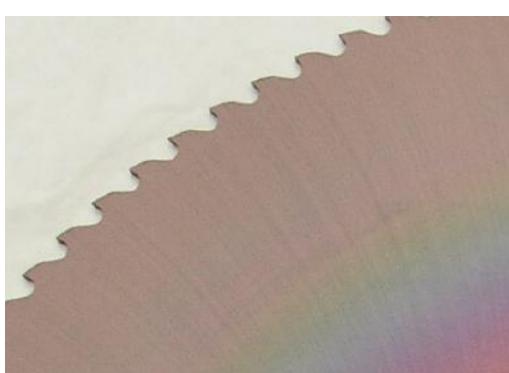
Ще однією перевагою таких дисків є можливість працювати на підвищенні на 50% окружній швидкості та інтенсивності подачі.



TiAlN

Захисний шар формується завдяки обробці поверхні диску титан-нітридом алюмінію. Завдяки цьому, на корпусі пили формується плівка з мікротвердістю ~3000 HV. Така характеристика робить використання диску доречним при різанні нержавіючої сталі, металів з підвищеним абразивним впливом (чавун), та зносостійких матеріалів (латунь алюміній-кремнієві сплави).

Високий рівень твердості покриття робить можливою роботу диску навіть у несприятливих для нього умовах — при повній, або частковій відсутності охолодження.



TiCN

Титановий карбонітрид наноситься на поверхню диску шляхом вакуумного напилення. Покриття характерне високим опором фрикційному впливу. Робить можливою роботу без змащення та/або охолодження. Дозволяють підвищувати окружну швидкість та швидкість різання на 100 %.

Пили з покриттям TiCN підходять для обробки кольорових, звичайних і важких чорних металів (мідь латунь) без охолодження. Виключає можливість утворення наплавних шарів на боках диску при холодному способі роботи.

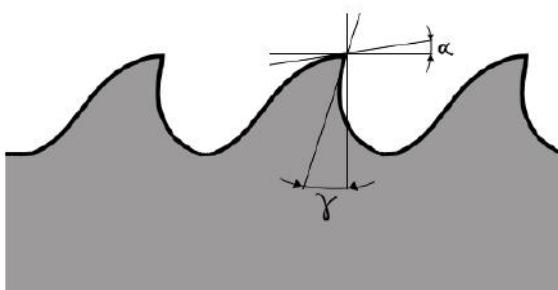
**CRN**

Нітрид хрому, який вкриває поверхню диску, має дуже низький коефіцієнт тертя. Саме тому, пили з покриттям CRN відмінно пристосовані для обробки матеріалів з високим абразивним, або фрикційним впливом, або тих, котрі схильні залишати наплавні шари з боків диску. Тому, оптимальною сферою застосування таких пил вважають різання кольорових металів (мідь, латунь, бронза, алюміній) з охолодженням, чи без.

Вибір покриття, в залежності від оброблюваного матеріалу

Оброблюваний матеріал	Рекомендоване покриття
М'яка сталь	VAPO
Тверда сталь	VAPO
Дуже тверда сталь	VAPO
Нержавіюча сталь	TiCN / TiAlN
Чавун	TiAlN
Алюміній	CRN
Дюралюміній	TiCN
Бронза	CRN
Мідь	CRN
Латунь	CRN
Нікелеві сплави	TiCN / TiAlN
Магнієві сплави	TiAlN
Жароміцні сплави (INCONEL)	TiCN / TiAlN
Титан та титанові сплави	TiAlN

Геометрія зуба



Зазвичай, нахил зуба HSS пили вимірюється у двох площинах: кут робочої (передньої) частини та кут нахилу задньої поверхні зуба.

Нахил робочої частини зуба (γ) вимірюється у межах лінії, яку формує його поверхня, та уявної лінії, яка співпадає з лінією радіусу диску. Впливає на спроможність зуба занурюватися у заготовку і є одним із факторів

визначення оптимальної швидкості подачі.

Задній кут зуба (α) утворюється лінією, яка йде поверхнею зубця та уявною лінією, яка співпадає з дотичною окружності диску, яка контактує із пилою на верхівці зуба. Впливає на здатність зуба раціонально вибирати та дозувати стружку.

Стандартна геометрія зуба дискових пил HSS-DMo5/HSS-EMo5 виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{передній кут: } & 18/12^\circ (\pm 2^\circ) \\ \text{задній кут: } & 8/6^\circ (\pm 2^\circ) \end{aligned}$$

При різанні специфічних матеріалів, рекомендовано використовувати дискові пили з зубом призначеним для різання конкретних матеріалів.

Рекомендовані геометрії зуба для конкретних матеріалів			
Вид оброблюваного матеріалу	Міцність	Передній кут зуба	Задній кут зуба
	N / mm ²	"н"	"н"
Автоматні сталі	350-500	20	18
Цементовані сталі	500-750	18	8
Сталі підвищеної міцності (HSS)	700-950	15	8
Сталі високоміцні	950-150	12	8
Сталі призначенні для гарячої обробки	950-1300	10	8
Нержавіюча сталь	500-800	12	8
Чавун сірий	90-200	12	8
Алюміній та його сплави	200-400	22	10
Сплави алюмінію з вмістом Si (5% макс.)	300-500	20	8
Мідь	200-400	20	10
Фосфористі бронзи	400-600	15	8
Бронзи тверді	600-900	12	10
Латунь	200-400	16	16
Легована латунь	400-700	12	16
Сплави титану	300-800	18	8

Форми зуба дискових пил HS

Вибір форми зуба, обумовлений особливостями роботи та оброблюваним матеріалом. Нижче приведені найбільш розповсюджені типи зубців і рекомендації до їх застосування.

Форма зуба A



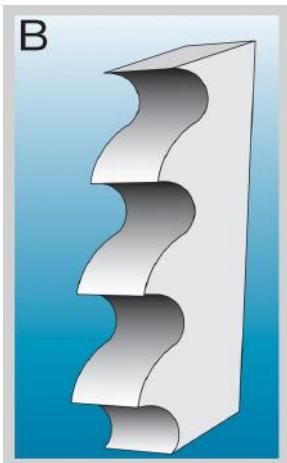
Зубці форми А, використовуються для різання тонкостінних труб та профілів зі сталі. Okрім цього, вони здатні обробляти пластик та інші м'які матеріали, які формують коротку стружку. Ця особливість зумовлена не місткою пазухою зуба. Мають гостру робочу кромку, що позитивно відображається на загальній якості роботи. Велика кількість зубців (зазвичай, відстань між верхівками найближчих один до одного зубців, варіюється у межах між 0.8 та 3 мм) дозволяє пилам з формою А, різати профільні матеріали з надзвичайно тонкими стінками, обробляти ювелірні вироби, вирізати шліци на кріпильних виробах. Пряма верхівка формує максимальну гладку та якісну лінію розпилю.

Форма зуба AW

Зубці форми AW, майже повністю ідентичні зубам А, за виключенням наявності додаткової фаски на одній зі сторін робочій поверхні, яка чергується від зуба до зуба. Наявність такої фаски суттєво скорочує площину робочого тиску на заготовку і зменшує кількість стружки яка надходить у конкретну пазуху на 1/3 і 2/3 від товщини корпусу. Використання такого зуба істотно знижує навантаження і на зуб, і на оброблюваний матеріал.

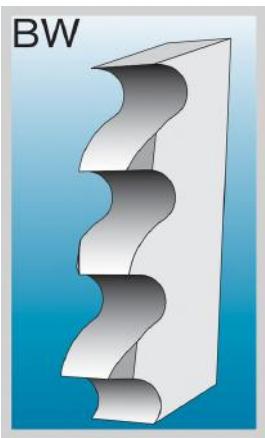


Форма зуба В



Радіусна спинка зуба В, забезпечує його місткою пазухою, яка здатна відпрацьовувати велику кількість стружки. Саме тому, пили з таким зубом використовуються для поздовжнього та поперечного різання твердих матеріалів великого перетину. Через високий рівень універсальності, пили з таким зубом достатньо популярні на виробництвах будь якого масштабу. Ефективно ріжуть і суцільні і профільні матеріали.

Форма зуба BW



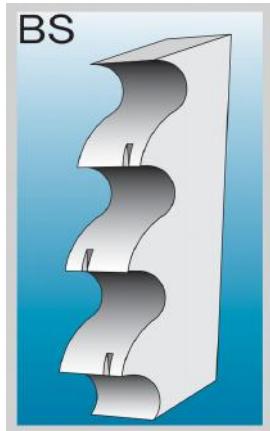
Використання пил з зубом BW, є найбільш доцільним при різанні профільних та трубчастих матеріалів. Змінна фаска забезпечує зубець додатковим кутом жорсткості, який робить ріжучу кромку більш стійкою до ударних та фізичних навантажень. Здатність зуба дозувати стружку, у поєднанні з місткою пазухою, робить можливим різання суцільних матеріалів великого перетину. Універсальність та якість роботи ріжучого інструменту з таким зубцем, робить його одним із найпопулярніших на підприємствах та у побуті.

Форма зуба BS

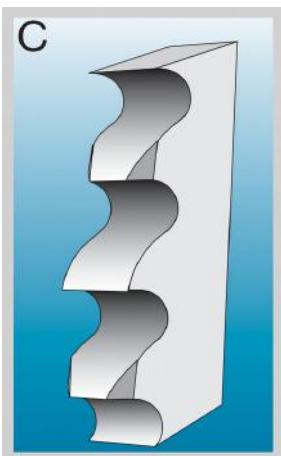
BS – це стандартний зуб В, устаткований стружколомом.

Стружколом – це спеціальний паз, який знаходиться на робочий поверхні зуба. Перевагою такого зуба є формування дуже дрібної стружки, яка в меншому ступені засмічує міжзубну пазуху. Крім того, стружколом виступає у якості додаткової ріжучої грані, яка суттєво (до 20%) підвищує якість різання.

Пили з подібною конфігурацією ріжучої кромки відмінно підходять для різання труб та профілів невеликого перетину та чорних металів низької та середньої важкості.



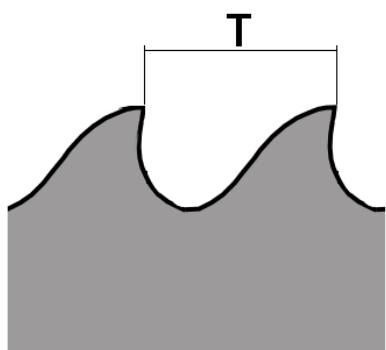
Форма зуба С



Особливістю даного типу є різна висота зубців пили. Умовно їх можна поділити на дві форми: прямий і трапецієвидний, які йдуть один за одним. Трапецієвидний,вищий за прямий приблизно на 0,3 мм і формує лінію розпилу. Наступний, прямий зуб зачищає місце різу і знімає рештки матеріалу.

Наявність фасок з обох боків трапецієвидного зуба, знімає з нього значну кількість навантажень і оптимально розподіляє стружку між пазухами зубців. Така конфігурація ріжучої кромки попереджає її перегрівання, та забезпечує оптимальну роботу навіть при різанні труб з товстою (3 мм і вище) стінкою та суцільних матеріалів з великим перетином.

Крок зuba



На відміну від стрічкових пил, крок зуба дискових пил (T), визначається дистанцією між верхівками двох сусідніх зубців.

Так, наприклад, якщо відстань між верхівками двох зубців на зображені складатиме 3мм, крок зуба такої дискової пили буде визначатися як Т3.

Крок зуба впливає на здатність пил видаляти стружку із зони розпилу. Так, згідно загальним рекомендаціям: чим більший перетин матеріалу, тим більшою повинна бути відстань між зубцями і навпаки.

Замала кількість зубців у зоні пильняння може привести до незбалансованого навантаження на ріжучу кромку та руйнування зубців. Завелика кількість зубців схильна до швидкого засмічення стружкою, що призводить до швидкого затуплення зуба.

Базові правила до вибору кроku зuba дискової пили виглядають наступним чином:

для суцільних матеріалів: в зоні різання повинно бути не менше трьох зубців одночасно.

для профільних матеріалів: товщина стінки повинна бути не меншою за відстань між двома сусідніми зубцями.

Рекомендовані кількість і форма зубців для різання профільних і трубчастих матеріалів																
група	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14			
товщина стінки s/mm	Zt	Zf														
<=1	3	BW	3	BW	3	BW	3	BW	3	BS	5	B	4	B	4	B
>1,0-1,2	4	BW	4	BW	4	BW	3	BS	6	B	5	B	4	BW	4	B
>1,5-2,0	4	BW	4	BW	4	BW	4	BS	7	B	6	B	5	BW	5	B
>2,0-3,0	5	BW	5	BW	4	BS	4	BS	8	B	7	BW	6	BW	6	B
>3,0	≥6	BW	≥6	BS	≥5	BS	≥5	BS	≥9	BW	≥8	BW	≥7	BW	≥8	BW

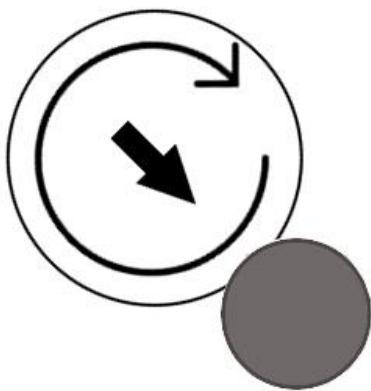
Рекомендовані кількість і форма зубців для різання суцільних матеріалів																
група	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
товщина стінки s/mm	Zt	Zf														
10-15	5	C	5	C	4	BW	4	C	3	BW	6	C	6	C	5	C
15-20	6	C	6	C	5	C	5	C	8	C	8	C	6	C	8	C
20-25	7	C	7	C	6	C	6	C	5	BS	10	C	10	C	7	C
25-30	8	C	8	C	7	C	7	C	6	BS	12	C	12	C	8	C
30-50	9	C	9	C	8	C	8	C	8	BS	14	C	14	C	9	C
50-70	10	C	10	C	9	C	9	BS	9	BS	16	C	16	C	10	BW
70-90	12	C	12	C	10	C	10	BS	10	BS	18	C	18	C	12	BW
90-120	14	C	14	C	12	BS	12	BS	12	BS	18	C	18	C	14	C
120-150	16	C	16	C	14	BS	14	BS	14	BS	20	C	20	C	16	C

"Zt" — крок зuba; "Zf" — форма зuba;

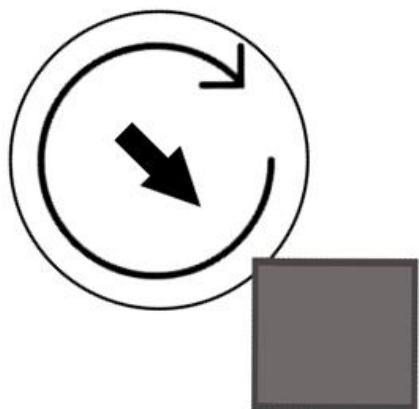
"група" — режим роботи верстата (див. Рекомендовані режими різання)

Способи закріплення заготовки

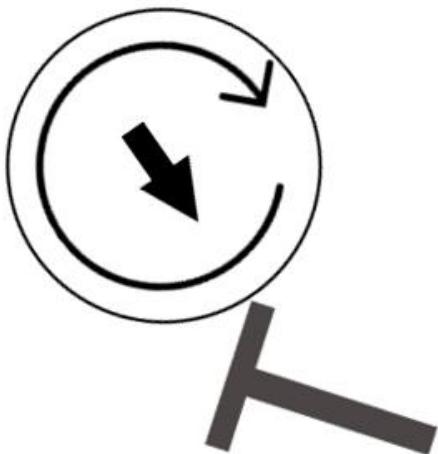
Циліндричні заготовки



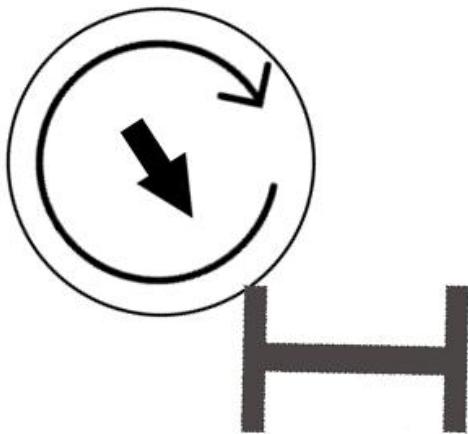
Прямоугльні заготовки



Профільні заготовки 1



Профільні заготовки 2



Під час закріплення заготовки у лещатах верстату, існує декілька важливих правил, яких необхідно дотримуватися:

1. ГОЛОВНЕ (!) Заготовка повинна надійно фіксуватися: можливість обертати її, пересувати а також вібрації та деренчання свідчать про те, що матеріал закріплений недостатньо міцно. **Некоректне кріплення заготовки є однією із найбільш поширеніх причин виходу дискової пили із ладу.** Тому, перед тим як вмикати верстат та подавати диск, переконайтесь, що матеріал щільно зафікований у лещатах та немає ніякої ймовірності його руху.
1. Друге правило не настільки важливе, але воно істотно впливає на кінцевий результат роботи та загальний термін роботи диску. **Більшість виробників наполегливо рекомендують фіксувати матеріал і подавати пили так, щоб зуб заходив на заготовку під кутом у 45°** — цей градус є оптимальним для найлегшого занурення у матеріал, окрім того, не рекомендується, щоб диск рухався уздовж поверхні матеріалу.

На зображеннях вище наведені приклади оптимальної фіксації різних заготовок на відрізному верстаті (вертикальна подача).

Вибір та експлуатація ЗОР

Змашувально-охолоджувальна рідина — спеціальний розчин, який поступає безпосередньо до зони різання для нейтралізації негативного механічного впливу на пилу.

Слід одразу зазначити, що пили для холодного різання заготовок потребують використання ЗОР найбільше. Виходячи з принципу роботи дисков, вони, а не оброблюваний матеріал поглинають все тепло, яке виробляється під час різання. Саме тому, надзвичайно важливим для збереження ресурсу пили є можливість гасити тепло, яке концентрується у корпусі диску.

Окрім цього використання ЗОР дозволяє отримати наступні переваги:

- зниження фрикційного, абразивного та адгезійного впливу;
- зниження виділення тепла на 60-75%;
- видалення стружки із місця різу;

Існує декілька типів ЗОР:

- мінеральне мастило, на базі індустріальних масел, нафти, тощо;
- водорозчинні емульсії з присадками;
- синтетичні мастила.

Слід зазначити, що кожний із вищенаведених розчинів має свої недоліки та переваги (якість/ціна), але найпопулярнішим для використовуванні з HSS пил є водорозчинна ЗОР, через відносну доступність та економічність. Окрім того важливим фактором на користь вибору водорозчинної емульсії є чистота заготовки після обробки. Так, при використанні масляної змазки, на заготовках залишаються сліди мастила.

Для кожного матеріалу існує рід вимог, стосовно необхідної місткості мастила у ЗОР, зазвичай, найнадійніші рекомендації надає сам виробник рідини, але згідно загальному правилу, кількість масла у ЗОР повинна складати:

7-15% — для важкооброблюваних металів (леговані, нікелеві, нержавіючі та жаротривкі сталі, титан, та його сплави).

2-10% — для нелегованої сталі та легких для обробки металів.

У разі неважливості обчислення кількості мастила в рідині можна скористатися прикладним методом: клацнувши пальцями, попередньо змочивши їх у рідині — якщо клацання дзвінке та голосне — додати до розчину ще емульсії.

Не менш важливим фактором якісної роботи є чистота і інтенсивність надходження змащення. Потрібно систематично перевіряти ЗОР на придатність до використання, зазвичай, один рік — максимальний термін її придатності. Також слід стежити за тим, щоб рідина рівномірно розповсюджувалася місцем різа і потрапляла на всі поверхні оброблюваного матеріалу.

Слід пам'ятати, що некоректно вибрана ЗОР, недостатня її кількість або нерівномірне розповсюдження здатні знизити ресурс пили на 10-15%!

Швидкість обертання диску (RPM)

Важливий показник, який має безпосередній вплив на поточні режими різання (інтенсивність подачі / швидкість різання). Фактично означає ту кількість обертів, яку диск робить на хвилину.

Для обчислення даного показника існує спеціальна формула:

$$\text{RPM} = V \times 1000 \div D \text{ } \text{мм} \times 3,14$$

V — окружна швидкість диску;

D — діаметр диску;

● — суцільні матеріали;

○ — профільні матеріали.

Рекомендації до вибору швидкості обертання диску в залежності від його діаметру та оброблюваного матеріалу														
D mm	Сталь <500 Н/мм ²		HSS сталь <800 Н/мм ²		Легована сталь ≤1000 Н/мм ²		Нержавіюча сталь <1000 Н/мм ²		Сталь >1000 Н/мм ²		Алюміній		Титан, титанові сплави	
	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○
175	54-72	~120	18-54	~70	18-27	~45	18-36	~54	9-18	~27	910-1820	~2700	55-70	~125
200	39-79	~100	15-47	~70	18-27	~45	15-31	~46	7-15	~22	800-1600	~2380	40-80	~120
210	37-75	~100	15-45	~60	15-23	~38	15-30	~45	7-15	~22	755-1515	~2272	35-75	~110
225	35-70	~90	14-42	~50	14-21	~35	14-28	~42	4-14	~18	705-1415	~2120	35-70	~105
250	31-63	~90	12-38	~50	12-19	~31	12-25	~37	6-12	~18	635-1270	~1905	30-60	~90
275	28-57	~80	11-34	~45	11-17	~28	11-23	~34	5-11	~16	580-1155	~1735	30-55	~85
300	26-53	~80	10-31	~40	10-15	~25	10-20	~30	5-10	~15	530-1060	~1590	25-55	~80
315	25-50	~70	10-30	~40	10-15	~25	9-20	~29	4-9	~13	505-1010	~1515	25-50	~75
325	24-49	~70	9-29	~40	9-14	~23	9-19	~28	4-9	~13	490-980	~1470	25-50	~75
350	22-45	~65	9-27	~35	9-13	~22	9-18	~27	4-8	~12	455-910	~1365	20-45	~65
370	21-43	~60	7-23	~30	8-12	~20	8-17	~25	4-8	~13	430-860	~1290	20-45	~65
400	19-39	~50	7-23	~30	7-11	~18	7-15	~22	4-7	~11	400-800	~1200	20-40	~60
425	18-37	~50	7-22	~30	7-11	~18	7-14	~21	4-7	~11	375-750	~1125	20-40	~60
450	17-35	~50	7-21	~30	7-10	~17	7-14	~21	4-7	~11	350-700	~1150	15-35	~50
500	15-31	~45	6-19	~25	6-9	~15	6-12	~18	3-6	~9	320-640	960	15-30	~50
525	15-30	~45	6-18	~25	6-9	~15	6-12	~18	3-6	~9	300-600	~900	15-30	~45
550	14-28	~40	5-17	~25	5-8	~13	5-11	~16	3-5	~8	290-580	~870	15-30	~45
560	14-28	~40	5-17	~20	5-8	~13	5-11	~16	3-5	~8	285-570	~855	15-30	~45
600	13-26	~35	5-15	~20	5-8	~13	5-10	~15	3-5	~8	265-530	~795	15-25	~40

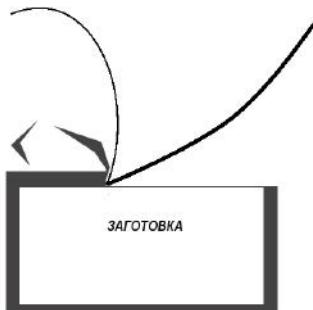
Інтенсивність подачі

Інтенсивність подачі — це швидкість з якою пила опускається на заготовку. Цей показник є одним із найважливіших при різанні металів — саме від подачі залежить якість різу та термін роботи пили. Подача визначає, скільки матеріалу надходить на один конкретний зуб.

Може вимірюватися у двох вираженнях: у загальному, яке характеризує швидкість з якою пила “накриває” поверхню заготовки ($\text{м}^2/\text{хв}$) і у більш конкретному, яке характеризує кількість матеріалу, яка надходить у пазуху конкретного зуба (мм).



Так, якщо подача буде недостатньою, зуб не зможе занурюватися в матеріал, спричиняючи надмірне тертя, а звідси — підвищений термічний вплив на пилу, котрий має згубний вплив на диск. Тонка і ламка стружка може свідчити як раз про недостатню швидкість подачі.



Зависока подача, навпаки — спричиняє занадто глибоке занурення у матеріал, що може спричинити надмірне навантаження на конкретний зуб і в результаті — передчасне його руйнування.

Товста, жорстка, пряма та стемніла стружка може свідчити про те, що зуб занурюється у матеріал занадто глибоко і варто знизити інтенсивність подачі .



При **оптимальній подачі**, зуб занурюється настільки, наскільки це необхідно для здійснення ефективного різання і забезпечення максимально довгого терміну роботи пили. Стружка при оптимальній подачі скручується у достатньо тугі кільця, не має схильності до ламкості, але не змінює при цьому свій колір.

Інтенсивність подачі можна обчислити двома шляхами:

1. безпосередньо вимірювши цей показник під час піляння;
2. скориставшись наступною формулою:

$$A_t (\text{мм}/\text{хв}) = A_z (\text{мм}) \times Z \times \text{RPM}(\text{об}/\text{хв})$$

де A_t — швидкість подачі ($\text{мм}/\text{хв}$)

A_z — подача матеріалу на зуб (мм)

Z — загальна кількість зубців на диску

RPM — кількість обертів диску на хвилину

Швидкість різання (Окружна швидкість)

Швидкість різання (поверхнева швидкість) характеризує темп з яким ріжуча кромка пили подорожує поверхнею матеріалу. Щоб уявити швидкість різання, достатньо уявити швидкість руху одного зуба дотичною лінією.

Для характеристики цього показника існує термін SMPM (surface meters per minute — поверхневі метри на хвилину), який виражається у метрах на хвилину.

Для обробки кожного конкретного матеріалу виведені свої рекомендації, які б дозволяли максимально оптимізувати процес різання. Слід звернути особливу увагу на те, що не дотримання цих рекомендацій може привести до зниження ефективності різання та ресурсу інструменту а іноді — до повного його руйнування.

Щоб обчислити швидкість різання слід скористатись наступною формулою:

$$V (\text{м/хв}) = (D \text{ mm} \times RPM \times 3,14) \div 1000$$

де D = діаметр диску

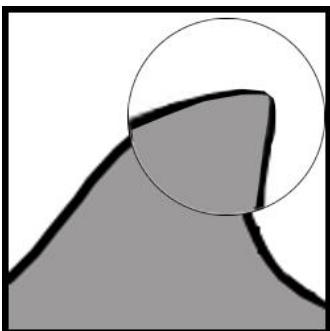
RPM = кількість обертів шпинделя на хвилину

Рекомендовані режими різання для конкретних матеріалів

Вид оброблюваного матеріалу	Міцність Н/мм ²	Окружна швидкість V _c м/хв	Подача на зуб мм	Група
Автоматні сталі	300-500	25-50	0,03-0,06	1
Сталі цементовані	500-750	15-30	0,03-0,04	2
Швидкорізальні сталі HSS	700-950	10-20	0,02-0,03	3
Леговані сталі	950-1050	10-15	0,02-0,03	4
Сталі для гарячої обробки	950-1300	5-10	0,01-0,03	5
Нержавіючі сталі	500-800	10-20	0,01-0,03	3
Чавун сірий	100-400	15-24	0,04-0,05	13
Алюміній і сплави	200-400	500-1000	0,03-0,07	7
Алюміній нелегований	90-200	1000-2000	0,04-0,09	6
Алюмінієво-кремнієві сплави	300-500	120-200	0,03-0,07	8
Мідь	200-400	100-400	0,04-0,06	9
Бронзи фосфористі	400-600	100-400	0,04-0,06	9
Бронзи тверді	600-900	40-120	0,04-0,06	10
Латунь	200-400	400-600	0,04-0,08	11
Легована латунь	400-700	150-500	0,04-0,06	12
Титанові сплави	300-800	25-50	0,03-0,04	1
Балки та профілі (0,1 d)	300-600	15-20	0,03-0,06	14
Профілі та труби (0,25 d)	300-600	25-50	0,03-0,06	1

Поширені проблеми та шляхи їх вирішення

Проблема: Передчасне затуплення / зношення зуба.



Можливі наслідки: зниження якості різу, та загальної ефективності роботи, перегрівання диску, розкришування зуба.

Вирішення: переточування диску.

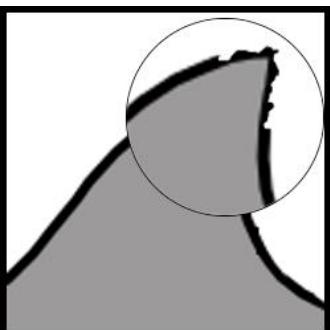
Причини:

1. Матеріал заготовки занадто твердий.
2. Завелика кількість зубців у зоні пиляння одночасно.
3. Недостатній темп подачі.
4. Зависока швидкість різання.
5. Недостатній рівень змащення, невірна консистенція ЗОР або нерівномірне його розповсюдження.
6. Некоректно закріплена заготовка.

Профілактика:

1. Вибирати диск, матеріал виготовлення, форму зуба та покриття, заздалегідь визначивши твердість та особливості оброблюваного матеріалу.
2. Вибирати крок зуба, тільки після ознайомленнями з рекомендаціями з відповідного розділу посібника, або виробника дискових пил.
3. Налаштuvати темп подачі згідно з рекомендаціями даного посібника, чи виробника дискових пил — подача повинна бути настільки інтенсивною, щоб зуб міг легко занурюватись в оброблюваний матеріал.
4. Зменшити швидкість різання згідно з рекомендаціями, наведеними у відповідному розділі посібника.
5. Консистенція та якість ЗОР повинні відповідати вимогам необхідним для обробки конкретного матеріалу. Змащувальна рідина повинна розповсюджуватися рівномірно.
6. Матеріал повинен бути закріплений надійно! Більшість виробників наполегливо рекомендують закріплювати заготовку таким чином, щоб ріжуча кромка диску не рухалася уздовж поверхонь матеріалу.

Проблема: Розкришування поверхні зуба



Можливі наслідки: зниження якості та ефективності різу, повне руйнування зуба та диску.

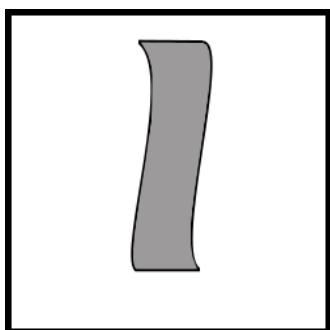
Вирішення: заміна або реставрація пошкодженого диску.

Причини:

1. Завеликий крок зубу пили.
2. Некоректна форма зубу для різання конкретного матеріалу.
3. Матеріал заготовки занадто твердий.
4. Використання пили з затупленим/зношеним зубом.
5. Пила встановлена некоректно, таким чином, що її зубці направлені у бік протилежний напрямку обертання диску.
6. Недостатній рівень змащення, невірна консистенція ЗОР або нерівномірне його розповсюдження.
7. Некоректні швидкість різання та подача.
8. Некоректно закріплена заготовка.

Профілактика:

1. Вибирати крок зуба, тільки після ознайомленнями з рекомендаціями з відповідного розділу посібника, або виробника дискових пил.
2. Вибирати диск з формою зуба, рекомендованою для даного матеріалу.
3. Вибирати диск, матеріал виготовлення, та покриття, заздалегідь визначивши твердість та особливості оброблюваного верстату.
4. Уважно стежити за станом зубців на диску, у разі їх затуплення здійснювати заточення або замінити диск.
5. Встановлювати пилу так, щоб зубці були спрямовані у бік обертання шпинделю верстату.
6. Консистенція та якість ЗОР повинні відповісти вимогам необхідним для обробки конкретного матеріалу. Змащувальна рідина повинна розповсюджуватися рівномірно.
7. Обирати швидкість різання та інтенсивність подачі згідно рекомендацій, вказаних у даному посібнику.
8. Матеріал повинен бути закріплений надійно! Більшість виробників наполегливо рекомендують закріплювати заготовку таким чином, щоб ріжуча кромка диску рухалася уздовж поверхонь матеріалу.

Проблема: Деформація корпусу або зубу диску.

Можливі наслідки: вклинювання пили, неперпендикулярна лінія різу, руйнування диску.

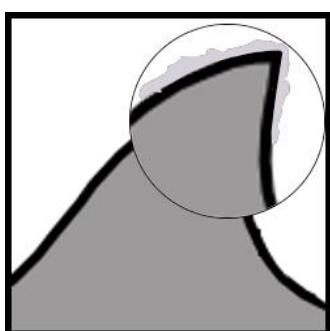
Вирішення: заміна або реставрація пошкодженого диску.

Причини:

1. Матеріал заготовки занадто твердий.
2. Недостатня товщина, або завеликий діаметр.
3. Люфт або боковий хід пили на шпинделі верстату.
4. Поворотний механізм не закріплений під час роботи пили.
5. Погано закріплена заготовка, або боковий рух заготовки.
6. Не синхронний рух відрізного вузла з рухом труби на летючих відрізних станах.

Профілактика:

1. Вибирати диск, матеріал виготовлення, форму зуба та покриття, заздалегідь визначивши твердість та особливості оброблюваного верстату.
2. Вибирати товщину та діаметр диску, в залежності від особливостей верстату та оброблюваного матеріалу.
3. Надійно фіксувати пилу на шпинделі верстату.
4. Поворотний стіл/ поворотний механізм повинні бути надійно зафіковані під час роботи пили. Їх пересування відбувається тільки тоді, коли пила вимкнена і її рама знаходитьться у стандартному положенні.

Проблема: Матеріал заготовки налипає / наплавлюється на поверхню зубу або корпус диску.

Можливі наслідки: зниження якості різу, та загальної ефективності роботи, перегрівання диску, розкришування зуба.

Вирішення: переточування диску.

Причини:

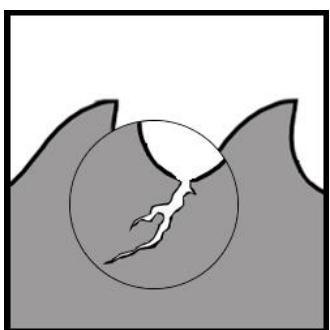
1. Занадто в'язкий матеріал для конкретного диску.

2. Міжзубна пазуха пили занадто мала.
3. Занизька подача + зависока швидкість різання.
4. ЗОР відсутня, або поступає у місце різу в недостатній кількості.

Профілактика:

1. Для різання в'язких (особливо — кольорових металів) слід уважно підбирати не тільки фізичні габарити диску, але й покриття, яке б передбачало найменший фрикційний вплив на заготовку.
2. Не допускати засмічення міжзубної пазухи матеріалом — вона повинна мати оптимальний розмір, щоб виносити весь відпрацьований матеріал із місця різу.
3. Обирати швидкість різання та інтенсивність подачі згідно до рекомендацій, вказаних у даному посібнику.
4. Консистенція та якість ЗОР повинні відповісти вимогам необхідним для обробки конкретного матеріалу. Змащувальна рідина повинна розповсюджуватися рівномірно.

Проблема: Тріщини на зубцях та корпусі пили.



Можливі наслідки: зниження якості різу, та загальної ефективності роботи, повне руйнування диску.

Вирішення: заміна диску.

Причини:

1. Некоректно закріплена заготовка.
 2. Люфт або боковий хід пили на шпинделі верстату.
 3. Зависокі інтенсивність подачі та швидкість різання.
 4. Одна з вищенаведених проблем.
5. Нерегулярна швидкість подачі пили.

Вирішення:

1. Матеріал повинен бути закріплений надійно! Більшість виробників наполегливо рекомендують закріплювати заготовку таким чином, щоб ріжуча кромка диску рухалася уздовж поверхонь матеріалу.
2. Надійно фіксувати пилу на шпинделі верстату.
3. Обирати швидкість різання та інтенсивність подачі згідно до рекомендацій, вказаних у даному посібнику.
4. Уважно оцінювати стан пили до і після роботи
3. Налаштовувати гідралічний привод для рівномірного опускання рами верстату.

Твердосплавні дискові пили



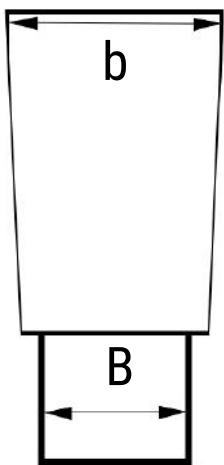
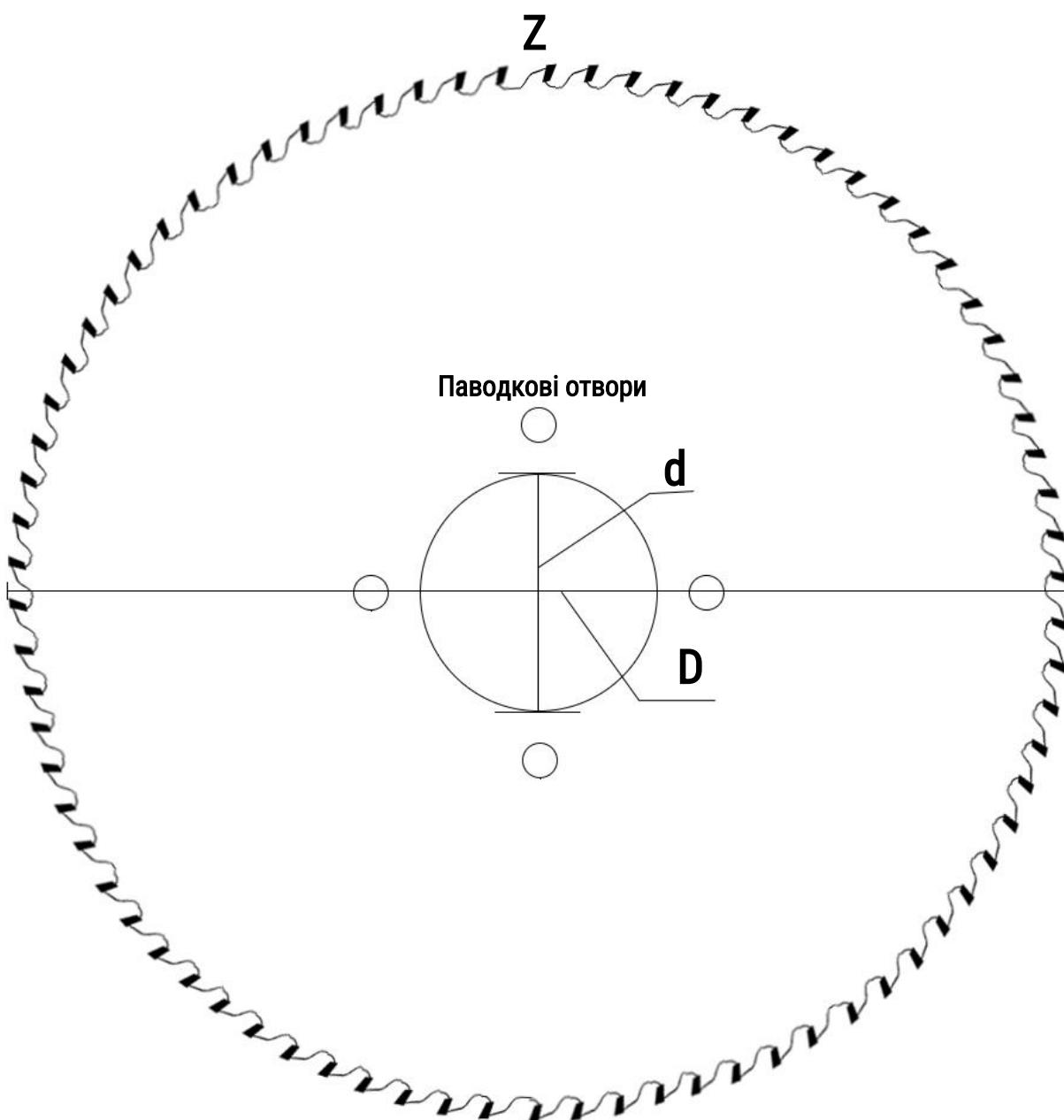
Твердосплавні дискові пили відрізняються наявністю спеціальних напайок, які кріпляться на верхівках зуба. Дані пластини виконані зі сплаву, міцнішого, ніж корпус диску, тож вони значно подовжують термін роботи інструменту.

Напайка виступає в ролі головного ріжучого елементу пили саме на ній приходяться найбільші навантаження, а її форма забезпечує якість різу і сумісність із більшістю оброблюваних матеріалів.

Твердосплавні пили, як і HSS диски, відносяться до класу **інструменту для холодного різання**, це значить, що пила, поглинає все тепло, яке виробляється під час обробки заготовки, захищаючи її від перегрівання. Слід зазначити, що на відміну від тих же HSS пил, даний інструмент не завжди потребує охолодження.

В залежності від матеріалу виготовлення напайки, пила має багато назв, які походять від типу твердого сплаву (**HM**, **HW**, **TCT** пили). Завдяки високому рівню твердості та опорності термічному та абразивному впливу, твердосплавні диски здатні ефективно різати навіть найважчі для обробки матеріали.

Основні характеристики дискової пили з напайками



D — Зовнішній діаметр диску (мм);
 d — Внутрішній діаметр (посадковий отвір) (мм);
 B — Товщина корпусу диску (мм);
 b — Товщина напайки (мм);
 Z — Загальна кількість зубців.

Металургійні особливості твердосплавних пил по металу

Більшість виробників твердосплавних пил мають власні рецепти виготовлення сплаву, з якого виробляється напайка. Цим, а також різноманіттям скорочених назв напайки (ТСТ НМ), і зумовлена велика кількість іменувань цього матеріалу. Насправді ж, в більшості випадків, напайка виготовляється з карбіду вольфраму — надміцного поєднання вольфраму (72 - 94%) та вуглецю. Альтернативою є поєднання титану, нікелю, кобальту хрому (або інших легуючих елементів) та вуглецю. Такий сплав надзвичайно стійкий до термічних та механічних навантажень і значно переважає HSS сплав у зносостійкості.

Фактично, більшість варіантів сплаву з якого виготовлені напайки, відносяться до металокераміки. Даний матеріал поєднує у собі якості керамічного матеріалу — стійкість до високих температур та металу — високий рівень супротиву механічним навантаженням. Так, стандартна суміш карбіду вольфраму має твердість ~ 73 - 76 HRC (~ 90 HRA) і зберігає свої фізичні властивості при температурі 800 - 1000°C.

Однак, слід зазначити, що виготовлення фасонних виробів з твердого сплаву майже неможливе. По перше, незважаючи на свої високі показники ресурсу та зносостійкості, твердосплавні напайки мають знижений рівень міцності (1000 -1500 мПА) і мають значно нижчий коефіцієнт ударної в'язкості (здатність поглинати ударні навантаження), ніж пили зі швидкорізальної сталі. Другою причиною є надзвичайна висока ціна сплаву. Тому, оптимальним прийнято вважати поєднання корпусу диску з інструментальної або швидкорізальної сталі і твердосплавних напайок, які надійно кріпляться на верхівки зубців інструменту.

Що до корпусу диску, то оскільки він не приймає майже ніякої участі в процесі різання, його виготовляють із менш твердих матеріалів. Зазвичай, основою для напайок виступає матеріал, який має високий опір фрикційному впливу. Оптимальною для цього є основа з хром ванадієвої сталі

Всі твердосплавні пили за замовленням пристосовані для різання без змащення. Міцний карбід титану, з якого виготовлена напайка здатен зберігати свої фізичні характеристики і на інтенсивних режимах різання і не потребує охолодження. Тому, обробка більшості матеріалів твердосплавною пилою не передбачає використання ЗОР. **Єдиним виключенням є матеріали з низьким порогом плавлення** під час обробки на підвищених швидкостях різання (алюміній, аналогічні кольорові метали та сплави).

Основні типи твердосплавних дискових пил по металу

Градація ТСТ дисків достатньо умовна, але це, неодмінно, важливий фактор при виборі цього інструменту. В залежності від фізичних габаритів, сфери застосування, архітектури ріжучої кромки та сумісності з верстатами, можна виділити наступні категорії пил:

- пили для різання чорних металів;
- пили для різання кольоворових металів;
- пили для різання суцільних матеріалів;
- пили для різання труб та профілів;
- переточувані;
- непереточувані;
- пили типу Dry-Cut;

Одразу слід зазначити, що подібна градація не розподіляє категорії, а об'єднує пили за спільними ознаками. Так, конкретна дискова пила може відноситися до промислових, непереточуваних пил для суцільних заготовок з чорних металів.

Здатність пил обробляти **чорні та кольоворові метали**, залежить у першу чергу, від форми та геометрії зуба. Детальніший опис цих факторів, Ви зможете знайти у відповідних розділах.

Вибір пил для різання суцільних, або профільних матеріалів також ґрунтуються на формі та геометрії зуба, але важливу роль тут має і ресурс пили. Так, для обробки суцільних матеріалів використовуються диски з непереточуваною напайкою, для різання труб та профілів, однаково оптимальним є використання і переточуваних, і непереточуваних дисків.

Градація на **переточувані та непереточувані** пили відбувається на базі форми та фізичних габаритів напайки. Так, твердосплавна пластина першого типу має значно більші габарити і покриває більшу частину зуба. Це дозволяє використовувати пилу багато разів, до повного руйнування напайки. Використовуються для різання трубчастих та профільних матеріалів.

Непереточувані ж пили мають напайку не таких великих габаритів, що робить неможливим повторне їх використання після заточення. Дано процедура оголює матеріал корпусу який знаходиться під напайкою і не має такого рівня опорності фізичним і термічним навантаженням — саме тому при повторному використанні непереточуваних пил відбувається повне руйнування напайки і корпусу пили. До переваг цього типу пил, можна віднести максимально низьку вартість різу та високу якість обробки суцільних та профільних матеріалів.

Об'єднання пил у групу **DRY-CUT**, відбувається на основі сумісності з верстатами. Пили даної серії підходять для стаціонарних та мобільних відрізних верстатів які працюють без охолодження. Пили працюють на значно вищих показниках різання. Така можливість зумовлена характерною, масивною формою зуба і відповідно, напайки, яка ефективно доляє абразивний, фрикційний, термічний та механічний вплив і суттєво подовжує термін використання диску. Оптимальною сферою використання пил DRY-CUT є різання профільних та трубчастих матеріалів з чорних та кольоворових металів. Дані пили випускаються у невеликих діаметрах, які варіюються, здебільшого у межах між 150 та 350 мм.

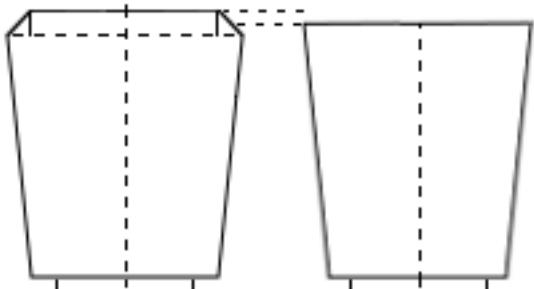
Особливості твердого зуба

Зубці твердосплавної дискої пили мають набагато складніші устрій і функціональність пил зі швидкорізальної сталі. Майже кожен виробник має свої конкретні принципи створення форми і геометрії зуба. Поширенна практика виробництва ТСТ пил під замовлення, робить можливість класифікації зубців імовірною тільки по їх характерним ознакам.

Пряний-трапеція

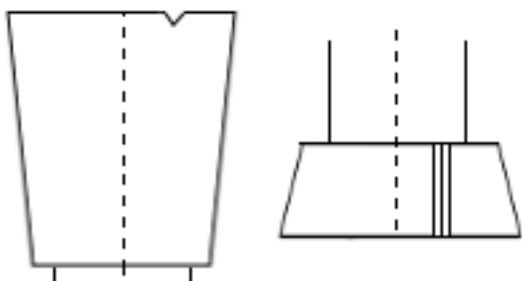
Ріжуча кромка з такого типу має два типи зуба: трапецієвидний та пряний.

Трапецієвидний — вищий за пряний ($\pm 0,3\text{мм}$), тому він першим формує лінію розпилу. Пряний зуб іде слідом і зачищає місце різу. Така архітектура ріжучої кромки дозволяє ділити стружку на три рівні частини, тим самим зменшуячи навантаження на міжзубну пазуху. Оптимальною сферою застосування є різання суцільних заготовок великого перетину з чорних та кольорових металів.



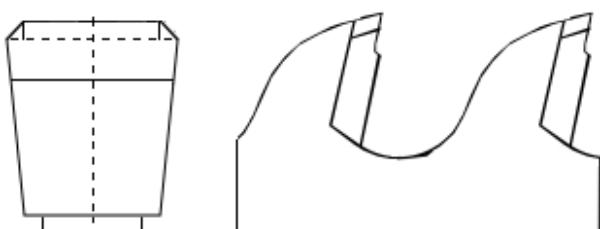
Зуб зі стружколомом 1

Стружколомом звуться спеціальний паз на верхній поверхні зуба, який не дозволяє стружці скручуватися у кільце і подрібнює її ще на стадії формування. Така особливість не тільки значно полегшує виведення відпрацьованого матеріалу але і позитивно впливає на ефективність роботи.



Додаткові ріжучі кромки, які формуються такою канавкою, значно підвищують якість різання та строк роботи інструменту. Зазвичай, даний тип зуба використовується для чистового різання тонкостінних труб і профілів (до 3-х мм) з чорного металу. Існує багато комбінацій такого зуба. Так, можна використовувати зуб зі змінною позицією пазу, чи комбіновану ріжучу кромку, яка містить зубці пряний-трапеція зі стружколомом.

Зуб зі стружколомом 2



Спеціальний виїм розміщується на передній поверхні зуба. Більш ефективно дробить сформовану стружку. Пристосований для різання суцільних і профільних матеріалів з чорних та кольорових матеріалів.

Окрім цих, найбільш розповсюджених типів зуба, існує багато варіантів зубців, які характерні для конкретних виробників та напрямків металообробки.

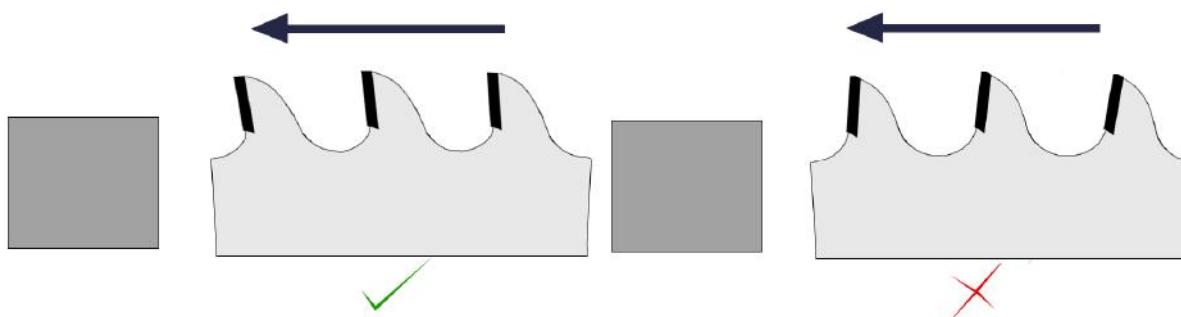
Геометрія зуба

Геометрія зуба твердосплавного диску визначається наступними факторами:

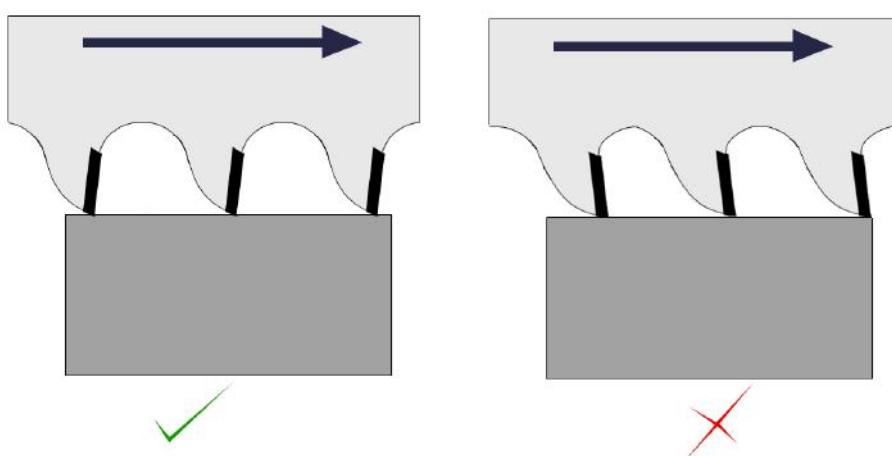
- матеріалом оброблюваної заготовки;
- типом обладнання, яке використовується;

Так, пили для різання чорних металів, зазвичай, виробляються з нейтральним, або негативним кутом атаки (0 - 5°) — навантаження припадають на фронтальну поверхню напайки, і оптимально розповсюджуються нею. Це значно підвищує кінцеву якість обробки, та подовжує періоди між необхідністю переточування або заміни диску.

Вибір геометрії зуба пили для різання кольорового металу набагато складніший. Великий вплив на вибір диску, має сам верстат на який пила буде встановлена. Особливу увагу варто приділяти способу подачі пили на заготовку — через високий рівень в'язкості оброблюваного матеріалу кут занурення зуба в матеріал має величезне значення. Так, при роботі з горизонтальним верстаком, зуб оптимальної ТСТ пили повинен мати позитивний кут нахилу 5° , або з незначними відхиленнями. Це акцентує навантаження на робочу поверхню зуба та дозволяє оптимізувати та максимально полегшити процес формування та розповсюження стружки.



Для вертикальної подачі рекомендовано використовувати пили з негативним зубом, приблизно (-5°) — в іншому разі, основне навантаження буде припадати на задню поверхню зуба, спричиняючи надмірне тертя спинки зуба о заготовку, окрім того, формування стружки буде відбуватися за межами міжзубної пазухи, що може негативно сказатися на ресурсі інструменту. Особливо актуальним, це правило є під час різання профільних та трубчастих матеріалів.



Режими різання

Фізичні характеристики твердосплавних дискових пил дозволяють використовувати їх на набагато вищих швидкостях різання, ніж звичайні HSS пили. В залежності від оброблюваного матеріалу, виділяють наступні рекомендації:

Рекомендовані швидкості різання та інтенсивність подачі для обробки чорних металів та сплавів

Границя міцності металу	Швидкість різання	Подача на зуб
Суцільні матеріали		
До 600 Н/мм ²	120-150 м/хв	0,10-0,15 мм
600-750Н/мм ²	120-140 м/хв	0,10-0,14 мм
750-900 Н/мм ²	100-130 м/хв	0,10-0,12 мм
900-1200 Н/мм ²	85-105 м/хв	0,08-0,10 мм
Профільні матеріали та труби		
До 600 Н/мм ²	130-180 м/хв	0,10-0,14 мм
600-750Н/мм ²	120-150 м/хв	0,10-0,13 мм
750-900 Н/мм ²	110-140 м/хв	0,10-0,12 мм
900-1200 Н/мм ²	100-130 м/хв	0,08-0,12 мм

Рекомендовані швидкості різання та інтенсивність подачі для обробки кольорових металів та сплавів

Границя міцності металу	Швидкість різання	Подача на зуб
Алюміній		
200-250 Н/мм ²	2500-4000 м/хв	0,03-0,06 мм
350-500 Н/мм ²	2000-3000 м/хв	0,015-0,05 мм
Мідь		
Стандартна оброблюваність	250-350 м/хв	0,07-0,12 мм
Спеціальні сплави	150-250 м/хв	0,06-0,10 мм
Латунні сплави		
Легка оброблюваність	240-350 м/хв	0,05-0,10 мм
Легка і середня оброблюваність	200-250 м/хв	0,04-0,08 мм
Середня і важка оброблюваність	150-200 м/хв	0,04-0,08 мм

Фрикційні дискові пили



Використання фрикційної пили є одним із найпродуктивніших методів механічної обробки металу. Даний інструмент вже не відноситься до категорії пил для холодного різання. Навпаки, сам **принцип роботи даних пил базується на термічній обробці заготовки**, що є прямо-протилежним основам роботи HSS та ТСТ пил. Даний інструмент працює на підвищених обертах, що витікає у надзвичайно високу швидкість різання. Ріжуча кромка, у свою чергу, забезпечує тертя пили о крайки оброблюваного матеріалу, доводячи його до температури, близької до температури плавлення. Зуб спеціальної форми, буквально стирає оплавлений метал, формуючи таким чином, лінію розпилу.

Дані пили використовуються для різання заготовок зі сталі. У першу чергу — це обробка сталевих труб та профілів зі сталі з границею міцності $\sim 300\text{--}800 \text{ Н/мм}^2$. Диски встановлюються на спеціальні лінії виробництва з леточими відрізними верстатами — ріжучим обладнанням, рама якого здатна рухатися уздовж конвеєра.

Беручи до уваги принцип роботи інструменту, та його продуктивність. Слід вказати на суттєвий недолік. На відміну від пил для холодного різання, які формують ідеально чистий розпил, фрикційні пили залишають характерні оплавлені задирки, товщиною до 1 мм, на країках оброблюваного матеріалу.

Типи фрикційних пил

Розподіл фрикційних дискових пил відбувається за двома напрямками:

- фрикційні пили для різання холодного прокату;
- фрикційні пили для різання гарячого прокату;

Перший тип пил використовується для різання вже сформованих труб, профілів, та інших профільних матеріалів, другий — для різання труб, профілів, балок, рейок кругляка та листового матеріалу на лініях прокату.

Сфера застосування даного інструмента зумовлюється металургійними особливостями сплаву виробництва та формою зуба, якою устаткований диск.

Металургійні особливості фрикційних пил

Основою для даних дискових пил, зазвичай, служать матеріали, які мають найвищий опір термічному та фрикційному впливу. Так, фрикційні пили виготовляються з інструментальних легованих сталей.

Стандартними матеріалами виготовлення фрикційних дискових пил є:

- **80CrV2 (1.2235)** — стандартний і найбільш поширений сплав для виробництва фрикційних дискових пил. Зазвичай використовується для виготовлення скрізно-гартованих дисків діаметром більше 1500 мм, але поширенім є використання таких дисків і значно меншого діаметру. Використовуються на летючих верстатах для різання холодного прокату;
- **73WCrMoV2-2 (1.2604)** — має дещо вищі показники міцності ніж 80CrV2, але не підходить для виробництва великоформатних пил, саме тому диски, вироблені з цього сплаву не перевищують діаметр 1000 мм. Використовуються на летючих верстатах для різання холодного прокату;
- **75Cr1 — (1.2003)** — стандартна вуглецева сталь для виготовлення малих та середніх фрикційних пил для ліній гарячого різання металопрокату.
- **51Mn7mod** — використовується для виробництва фрикційних пил (холодний прокат) найбільшого діаметру — 2500мм. Має найвищі показники опору термічному, фрикційному та абразивному впливу. Також використовується для вироблення пил середнього калібра (до 1500мм) для ліній різання гарячого прокату.

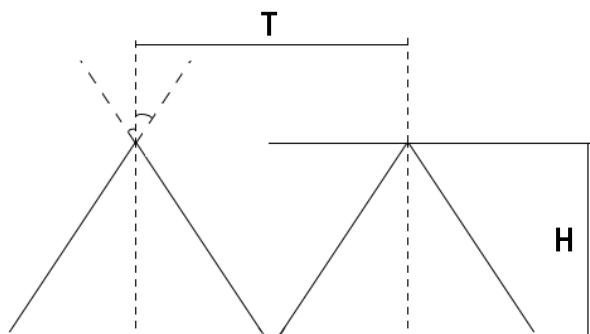
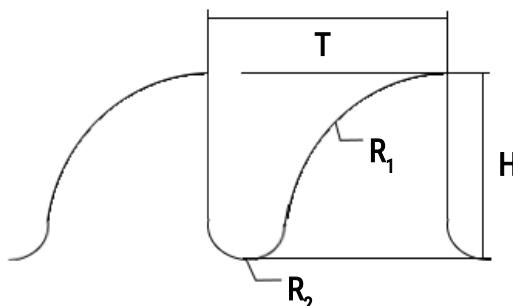
Твердість стандартних фрикційних пил по металу варіюється у межах між 43 і 46 HRC.

У більшості випадків, виробник сам вибирає матеріал виготовлення диску, в залежності від очікувань клієнта та особливостей виконуваної роботи.

Форма зуба фрикційних дискових пил.

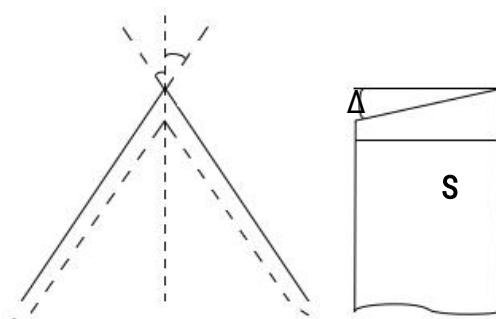
Стандартний зуб із радіусною спинкою

Більш схожий на стандартний зуб. Має передній кут 0° та радіусну спинку. Формує умовно більш якісну лінію розпилу але має чіткі обмеження по типу заготовки та умовах роботи. Використовується для різання профілю зі стінкою менше 4-5 мм. Температура різання $<100^\circ\text{C}$



Стандартний зуб 30/30°

На відміну від більшості зубців для різання металу, даний зуб не має чітко акцентованої передньої та задньої частини. Через свою невибагливість до умов та кондицій роботи є одним із самих розповсюджених. Призначений для різання металів зі стінкою товщою від 4-5 мм і гарячого прокату. Температура різання $> 600^\circ\text{C}$.

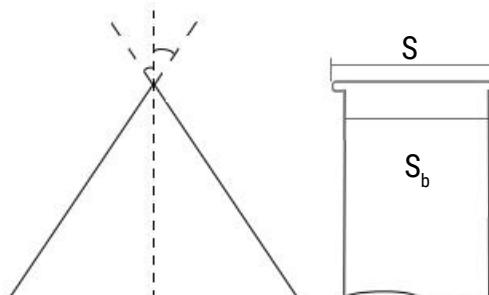


Зуб зі змінно-скошеною верхівкою (кут Δ)

Спеціальний зуб зі скошеною верхньою поверхнею. Використовується для різання гарячого прокату на лініях з виробництва сталевих рейок, труб, балок і профілів. За рахунок балансування навантаження на верхівки зубців та акцентування ріжучого зусилля, значно підвищують швидкість роботи диску.

Зуб зі сплющеною верхівкою

Спеціальний зуб, який пристосований для різання труб, профілів і гарячого прокату. Характерна, сплющена верхівка зуба, попереджає вклинювання зуба в оброблюваному матеріали, дозволяючи йому тим самим різати заготовки з товстою стінкою (до 12 мм).



Рекомендований крок зuba

Товщина стінки менше 5 мм

5-6 мм

Товщина стінки більше 5 мм

7-8 мм

Режими різання

Фрикційні пили — достатньо невибагливий інструмент, але має чіткі вимоги та обмеження, невиконання яких може привести до різкого зниження ефективності роботи та швидкого руйнування інструменту.

Швидкість різання

Умовно, більшість виробників фрикційних пил рекомендують дуже високу швидкість різання : 80 – 200 метрів на секунду. Оптимальними вважаються параметри в **110-150 м/с.** Слід зазначити, що ці рекомендації дуже приблизні і на них впливають багато факторів: стан обладнання, пластичні та механічні якості оброблюваної заготовки.

Обчислення поточної швидкості різання можна виконати за формулою:

$$V (\text{м/с}) = 3,14 \times D(\text{мм}) \times RPM \div 1000$$

де:

V — швидкість різання (м/с);

D — діаметр диску (мм)

RPM — кількість обертів диску на хвилину

На основі цієї формулі можна вивести рекомендовані обороти диску, для досягнення оптимальної швидкості різання:

Рекомендовані оберти фрикційного диску					
D mm	RPM об. /хв	Оптималь. RPM	D mm	RPM об. /хв	Оптималь. RPM
200	10500-14300	12000	700	3030-4100	3400
250	8400-11500	9550	750	2800-3820	3180
300	7000-9550	8000	800	2630-3580	2980
350	6000-8200	6800	850	2470-3370	2810
400	5250-7200	6000	900	2330-3420	2850
450	4700-6370	5300	1000	2100-2870	2390
500	4200-5730	4780	1200	1750-2390	1990
520	4050-5500	4600	1500	1400-1910	1590
550	3821-5200	4340	1800	1170-1590	1330
560	3750-5200	4350	2000	1050-1430	1190
600	3500-4880	4000	2200	955-1300	1085
650	3230-4410	3670	2500	840-1150	955

Подача

Подача — один із найскладніших параметрів фрикційного пилиння. Для забезпечення оптимальних умов різання необхідно дотримуватися чіткого балансу. Фактично, фрикційне пилиння є симбіозом абразивного та стандартного різання і знаходитьсья десь посередині між ними. Відхилення в один з боків негативно відображається на якості різання або на терміні роботи інструменту.

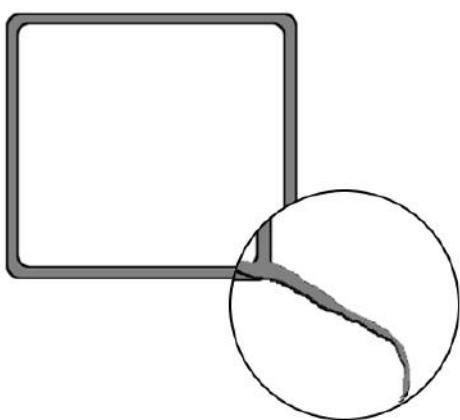
Так, рекомендована інтенсивність подачі, згідно більшості виробників, варіюється у межах між 500 і 2000 мм на секунду з оптимумом у **1000-1500** мм/сек.

Відхилення від цього показника на користь швидшої подачі призведе до зникнення фрикційного ефекту — пила почне функціювати аналогічно стандартному ріжучому інструменту. Пилі не вистачає ресурсу працювати таким способом, тому вона дуже швидко сідає, демонструючи низькі показники роботи. Зниження інтенсивності подачі не вплине на ресурс інструменту, та підсилить фрикційний вплив, але значно збільшить витрати матеріалу і утворення задирок.

Використання ЗОР

Змащувально-охолоджуюча рідина є одним із значущих елементів фрикційного різання. При даному типі роботи слід використовувати ЗОР на водяній основі. Однак, важливими є не стільки консистенція чи тип рідини, а спосіб нанесення. **Виробники фрикційних пил категорично не рекомендують нанесення ЗОР до, чи безпосередньо у місце різу!** Це зумовлено тим, що нанесене до формування різу охолодження, нівелює фрикційний вплив, який здійснює диск. Змащувальна рідина повинна бути нанесена після місця розпилу для того, щоб не допускати перевищення робочої оптимальної температури.

Наплавлений матеріал на країках заготовки



Формування задирок на країках оброблюваної заготовок — природне явище, враховуючи принцип роботи фрикційної пили. Слід зазначити, що **прийнятними є задирки товщиною не більше 1-1,5 мм — в іншому разі їх прийнято вважати дефектом.** В цьому випадку, скоріше за все, причиною цього є один із некоректно виконаних пунктів налаштування режимів різання. Неякісна лінія різу може формуватися при порушенні будь якої із вищеперелічених рекомендацій. Ще однією поширеною причиною цього явища є затуплення зуба пили — саме в цьому разі формується аналогічний розпил.

Сегментні дискові пили



Сегментні дискові пили — спеціалізований інструмент для холодного різання сталі з границею міцності до $800 \text{ Н}/\text{мм}^2$. Принцип холодної обробки металів полягає у тому, що все тепло, яке виробляється при обробці, поглинається самою пилою, у той час, поки оброблюваний матеріал залишається холодним. Саме тому, наполегливо рекомендується використовувати дані пили з охолодженням.

Особливої уваги заслуговує конструкція диску. Пила складається з основи — спеціального диску і насадних пластин (сегментів) які встановлюються на корпус і закріплюються на ньому завдяки спеціальним заклепкам. Через те що на насадки припадає найвищий рівень навантажень, вони виготовляються з твердих металів у той час як корпус, який не приймає прямої участі в роботі виконується із інструментальної сталі. Така комбінація значно підвищує загальний ресурс інструменту. Так, сегменти не тільки багаторазово переточуються але і взаємозамінюються в разі неможливості їх подальшого використання. Таким чином, при коректному використанні, пили можливо експлуатувати максимально довго, періодично змінюючи відпрацьовані елементи.

Використовуються для високопродуктивного різання сталевих заготовок: профілю, труби, кругляка, брусу, рейок, тощо.

До головного недоліку використання цього інструменту можна віднести неекономічність різання: навіть диски малого калібру , 250 мм, формує достатньо широку лінію розпилу 3,5 мм.

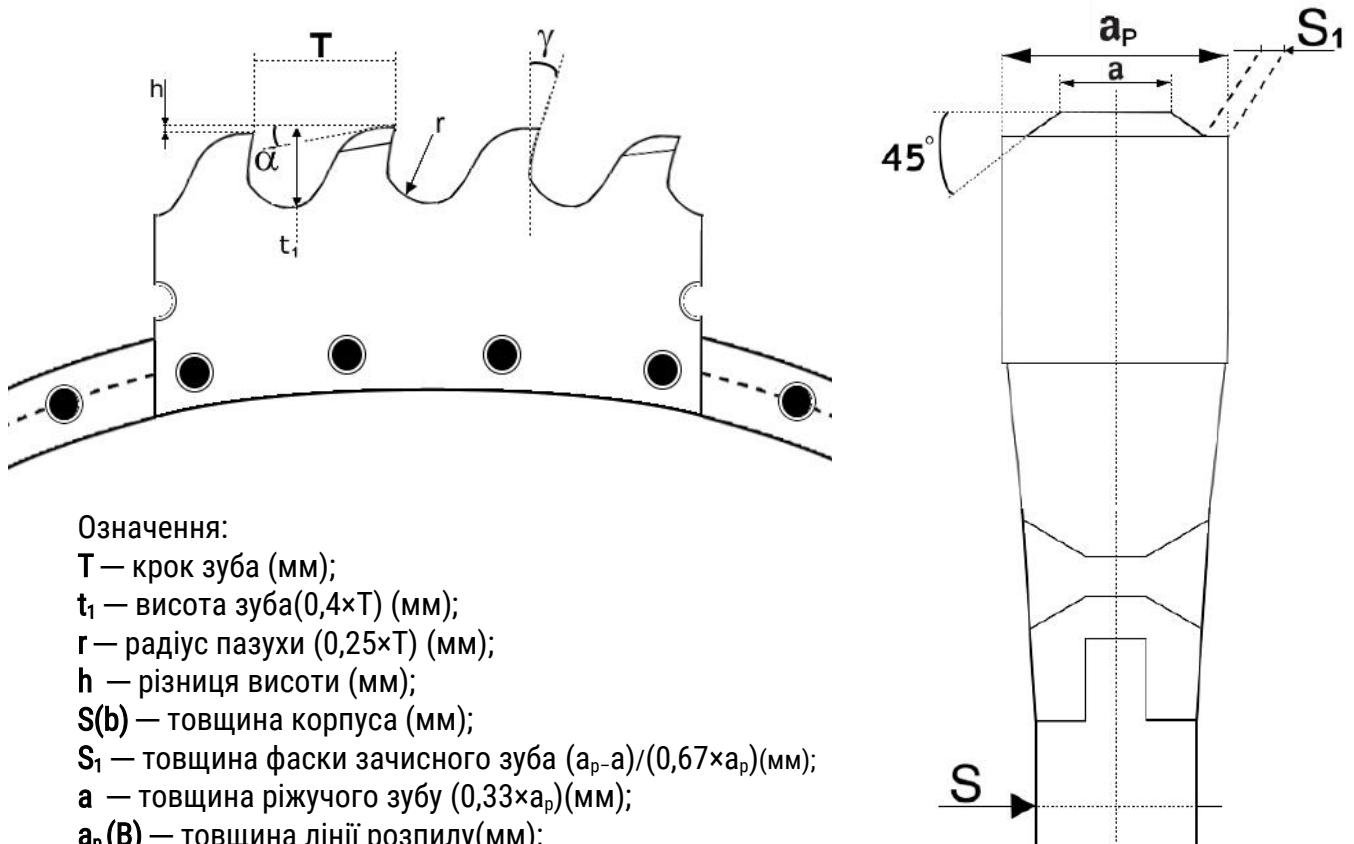
Металургійні особливості сегментних пил по металу

Через різні рівні навантажень, корпус і сегменти даного інструменту виконуються із різних матеріалів. Сегменти, які виконують різання, і в більшому ступені зазнають зношення, формуються із твердої, швидкорізальної сталі. Сплав з якого виготовлені насадки, аналогічний тому, з якого виробляються звичайні HSS пили, так, можна виділити два його типи:

- Dmo5 — стандартний швидкорізальний сплав з підвищеним ~ 5% вмістом хрому, молібдену та вольфраму. Дані легуючі елементи у складі металу, забезпечують йому достатньо надійний захист від зношення через термічні та механічні навантаження. Утворюють міцні карбіди на поверхні матеріалу, тим самим максимально довго перешкоджаючи та зменшуючи темп, та масштаби росту "зерен" металу. Вважається стандартним матеріалом, який підходить для оброблення чорних металів легкої та середньої важкості.
- Emo5 — окрім легуючих елементів з вищезазначеного сплаву, даний матеріал відрізняється достатньо високим рівнем вмісту кобальту 5%. Цей елемент значно збільшує ресурс інструменту та дозволяє різати навіть важкооброблювані матеріали. Суттєво зменшує утворення та розростання зерен під впливом високих температур.

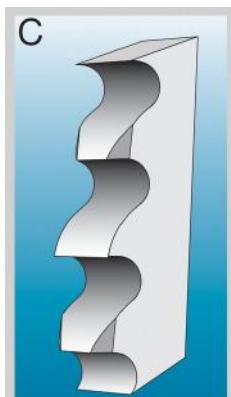
Корпус пили зазнає менше навантажень, тому, заради зменшення вартості пили, його виготовляють з дешевшої хром ванадієвої сталі. Даний матеріал має високі показники пластичності та опору фрикційному, та тепловому впливу, за умови коректного обслуговування, його можна використовувати максимально довго.

Конструкція сегментних дискових пил



Форма зуба сегментних дискових пил

Оскільки даний інструмент використовується для різання, здебільшого суцільних матеріалів, він устатковується спеціалізованим зубом форми С.



Така конфігурація включає у себе два типи зуба: прямий і трапецієвидний. Трапецієвидний зуб, ріжучий, вищий за прямий, саме він формує лінію розпилу. Завдяки фаскам з боків, на даний зуб надходить значно менше навантаження при різанні, окрім того відбувається ділення стружки на рівні частини, що позитивно впливає на ресурс інструменту і якість різу. Прямий зуб, зачисний, йде слідом за ріжучим. Він остаточно формує розпил і знімає залишки матеріалу, який залишився.

Така форма зуба оптимальна для різання суцільних заготовок і профільних, трубчастих матеріалів з товщиною стінки більшою 5 мм.

Рекомендації до вибору кроку зубу сегментних пил по металу

Довжина ріжучої дуги = висота оброблюваного матеріалу d(mm)	Легкооброблювані матеріали	Важкооброблювані матеріали	Будь які типи матеріалів	Будь які типи матеріалів	Будь які типи матеріалів
Крок зуба (T) мм					
20	8,2	6,5	5,9	5,0	4,0
30	10,9	8,0	6,5	6,0	4,5
40	12,5	9,5	8,0	7,2	5,0
50	14,4	11,0	8,5	7,5	5,5
60	16,5	12,0	9,5	8,0	6,0
70	18,0	13,0	10,9	8,5	6,3
80	19,5	14,4	11,0	9,0	6,5
90	21,0	15,0	11,6	9,0	6,8
100	22,5	16,3	12,0	10,0	7,2
125	26,0	18,5	13,1	11,0	7,5
150	29,5	20,5	15,0	12,0	8,0
175	32,5	22,5	16,3	12,5	8,5
200	35,0	24,0	17,5	13,0	9,0
250	40,5	27,0	19,5	14,4	9,5
300	46,6	31,3	21,8	15,0	10,0
400	54,2	36,6	23,5	17,0	10,9
500	57,6	39,0	25,0	19,0	12,0
600	63,2	43,0	27,0	21,0	13,0

S – товщина стінки заготовки (мм)

d – перетин/діаметр заготовки (мм)

Режими різання сегментною дисковою пилою по металу

Оскільки, матеріал з якого вироблені сегментні пили, аналогічний тому, з якого виготовляються стандартні HSS диски, то і рекомендації стосовно вибору оптимальних режимів різання металів у них будуть приблизно однаковими.

Рекомендації до вибору режимів різання металів сегментною пилою					
Група матеріалів	Зразки матеріалів	Границя міцності Н/мм ²	Кут атаки зуба °	Швидкість різання м/с	Подача на зуб мм
Легкооброблювані метали кольорові	Al 99,9, AlSi10Mg, MgAl3Zn	100-300	25	500-1250	0,03-0,05
Важкооброблювані кольорові метали	F-Cu	150-200	25	100-200	0,06-0,07
Конструкційна сталь	St33, St37, St42, St 50, St52, St60	330-500 500-700	20 20	24-30 18-20	0,12-0,14 0,11-0,12
Цементована сталь	C10, C15 16MnCr5, 20MnCr5	400-500 500-750	20 20	24-30 15-20	0,12-0,14 0,11-0,12
Жаростійка сталь	C22, C35 C45, C60 30Mn5, 40Mn4 3 7MnSi5, 42MnV7	500-600 700-850 700-800 700-800	20 18 18 18	18-24 15-20 15-20 12-16	0,12-0,14 0,11-0,12 0,09-0,11 0,09-0,11
Ливарна сталь	GS38, GS45, GS52 GS60, GS62, GS70	380-520 600-700	20 20	24-30 15-20	0,12-0,14 0,11-0,12
Сірий чавун	GG10, GG20, GG30	100-300	20	24-30	0,12-0,14
Високоміцний чавун	GGG38, GGG50 GGG60, GGG70	380-500 600-700	18 15	18-24 15-20	0,11-0,12 0,09-0,11
Азотна сталь	34CrAl 6, 34CrAlMo5 31CrMoV9, 31CrMo12	700-800 750-850	18 18	12-16 12-16	0,07-0,09 0,07-0,09
Пружинна сталь	38Si6, 46Si7 60SiMn5, 50CrV4	1200-1400 1200-1300	15 15	6-10 6-10	0,05-0,06 0,05-0,06
Підшипникова сталь	100Cr6, 105Cr2	900-1000	15	10-12	0,06-0,07
Нержавіюча сталь	X10Cr13, X20Cr13	600-800	15	10-12	0,06-0,07
Нелеговані інструментальні сталі	C110W2, C85W2	600-700	15	10-12	0,06-0,07
Леговані інструментальні сталі	X210Cr12X 165CrMoV12	800-900	15	10-12	0,05-0,06
Швидкорізальна сталь	S6-5-2, S10-4-3-10	800-950	15	10-12	0,06-0,07

Для обчислення поточної швидкості різання, можна скористатися спеціальною формулою:

$$V = 3,14 \times D \times RPM \div 1000$$

V — швидкість різання (м/хв);

D — діаметр диску(мм);

RPM — кількість обертів диску на хвилину.

Технічні рекомендації до експлуатації дискових пил по металу

Рекомендації до вибору оптимальної швидкості обертання сегментного диску по металу											
D mm	Кольорові метали <300 Н/мм ²		Нелегована сталь <500 Н/мм ²		Легована сталь <900 Н/мм ²		Важкооброблювана сталь <1000 Н/мм ²		Чавун <700 Н/мм ²		
	RPM (оберти на хвилину)										
	Min/max	Оптималь.	Min/max	Оптималь.	Min/max	Оптималь.	Min/max	Оптималь.	Min/max	Оптималь.	
250	636-1592	1100	30-38	34	15-25	20	7-15	11	19-38	28	
275	579-1448	1010	27-34	31	13-23	19	6-13	9	17-34	26	
315	505-1263	880	24-30	27	12-20	16	6-12	9	15-30	23	
360	442-1106	775	21-26	24	10-17	14	5-10	8	13-26	20	
370	430-1076	750	20-25	23	10-17	14	5-10	8	12-25	19	
400	398-995	696	19-23	21	9-15	12	5-9	7	11-23	17	
425	374-937	655	18-22	20	9-14	12	5-9	7	11-22	16	
450	353-884	618	16-21	19	8-14	11	4-8	6	10-21	16	
500	318-796	557	15-19	17	7-12	10	4-7	6	10-19	15	
560	316-711	513	13-17	15	7-11	9	4-7	6	8-17	13	
660	241-603	422	11-14	13	6-10	8	3-6	4	7-14	11	
710	224-590	392	10-13	12	5-9	7	3-5	4	6-13	9	
760	209-527	736	10-12	11	5-8	7	3-5	4	6-12	9	
800	199-497	348	10-11	10	4-8	6	2-4	3	6-11	8	
910	175-437	306	8-10	9	4-7	6	2-4	3	5-10	8	
970	164-410	287	8-10	9	4-7	6	2-4	3	5-10	8	
1020	156-390	273	7-9	8	4-6	5	2-4	3	5-9	7	
1120	142-318	355	7-8	8	3-6	5	2-3	3	4-8	6	
1250	127-318	230	6-7	7	3-5	4	2-3	3	4-7	6	
1320	120-301	210	6-7	7	3-5	4	2-3	3	4-7	6	
1430	111-278	194	5-6	6	3-4	4	2-3	3	3-6	5	
1510	105-263	184	5-6	6	3-4	4	2-3	2	3-6	5	
1610	99-274	173	4-6	5	2-4	3	2-3	2	3-6	5	
1870	85-212	148	4-5	5	2-3	3	2-3	2	3-5	4	

Увага! Рекомендації, наведені в таблицях умовні і виконують функції орієнтиру. При безпосередньому використанні дисків, необхідно брати до уваги стан верстату, характеристики і форми оброблюваного матеріалу а також якість диску.



ТОВ «КОМПАНІЯ «TOPA»

www.tora.com.ua

Україна, Харківська обл., м. Харків, проспект Московський 199д

телефон: (057) 728-10-30

email: tovtora@com.ua