

РЕФЕРАТ

ПЗ: 126с., 52рис., 19 табл., 19 джерел.

Прибуткова економічна діяльність неможлива без створення високо-ефективних конструкцій різального інструменту. Тому фахівці, які готуються працювати в металообробній галузі, повинні вміти проектувати різні інструменти. Більше того, комплексна автоматизація проектування виробництва вимагає точних знань та досконалого володіння методами проектування. Вираз «проектування різального інструменту» має подвійне значення. По-перше, це створення нової конструкції чи навіть нового виду інструменту, для забезпечення ефективного оброблення створеної конструктором деталі; по-друге, це може означати вибір необхідного інструменту з існуючого ряду для реалізації розробленої технології.

Завданням для дипломної роботи магістра запроєктувати металорізального інструменту для обробки замка лопатки в диску ротора турбіни авіаційного двигуна AI-450.

В результаті виконання дипломного проекту необхідно вирішити наступні задачі:

- Опис об'єкта;
- Описати процес протягування;
- Різновиди протяжок;
- Геометрія протяжок;
- Схеми протягування;
- Конструкції протяжок;
- Розрахунок проектування протяжки;
- Виготовлення протяжки.

Головною метою магістерської роботи є підбір необхідний інструмент для обробки «ялинкового» замка лопатки в дисках ротора вільної турбін.

АВІАДВИГУН АІ-450, РОТОР ВІЛЬНОЇ ТУРБІНИ, «ЯЛИНКОВИЙ» ЗАМОК, ПРОТЯГУВАННЯ, ПРОТЯЖКА.

ABSTRACT

Software: 126 p., 47 fig., 17 tables., 19 sources.

Profitable economic activity is impossible without creation highly efficient cutting tool designs. Ago specialists who are preparing to work in the metalworking industry, must be able to design various tools. More, comprehensive automation of design and production requires accurate knowledge and mastery of design methods. The term "cutting tool design" has a double meaning value. First, it is the creation of a new design or even a new type of tool to ensure of the part created by the designer; secondly, it can mean the selection of the necessary tool from the existing range for implementation of the developed technology.

The task for the master's thesis is to design a metal-cutting tool for processing the blade lock in the turbine rotor disk of the AI-450 aircraft engine.

As a result of the completion of the diploma project, the following tasks must be solved:

- Object Description
- Describe the drawing process
- Types of drafts
- Geometry of drafts
- Drawing schemes
- Draft designs
- Calculation of draft design
- Production of broaching

The main goal is to choose the necessary tool for processing the "herringbone" blade lock in the rotor discs of free turbines

AI-450 AIRCRAFT ENGINE, FREE TURBINE ROTOR, "HERRING-BONE" LOCK, DRAFTING, DRAFTING.

ЗМІСТ

	С.
Вступ	10
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	12
1.1 Опис об'єкта	12
1.2 Вибір металорізального інструменту для обробки замка лопатки в дисках ротора вільної турбіни	16
2 Літературний огляд і аналіз стану питання	21
2.1 Особливості процесу протягування	21
2.2 Різновиди протяжок	35
2.3 Конструкція протяжок	40
2.4 Основні складові частини	41
2.4.1 Передній хвостовик	41
2.4.2 Передня напрямна	44
2.4.3 Задня напрямна (хвостовик)	45
2.5 Геометрія протяжок	46
2.6 Схеми протягування	55
2.6.1 Одиарна схема різання	55
2.6.2 Групова схема різання	58
2.7 Проектування кінцевої ялинкової протяжки	61
3 Розрахункова частина кінцевої ялинкової протяжки	71
4 Виготовлення ялинкової протяжки	82
4.1 Вибір металу	82
4.2 Характеристика існуючого обладнання та аналіз його можливостей ...	85
4.3 Вибір інструменту другого порядку.....	88
5 Розробка і оптимізація керуючої програми для реалізації розробленого технологічного процесу	91
Висновок	97

	9
Перелік використаних джерел	98
Додаток А	96

ВСТУП

Процес протягування деталей машин широко застосовується у машинобудуванні як один із високопродуктивних процесів чистової лезової обробки. Проте за останні 20-25 років наукових та експериментальних досліджень процесів протягування в Україні та закордоном практично не проводилось. Протягування застосовується на більшості деталей ГТД як найбільш продуктивний, а найчастіше як єдиний можливий процес обробки. Трудомісткість операцій протягування становить на окремих деталях більше 50% від загальної трудомісткості механічної обробки.

Протягуванням проводиться обробка профілю замків і пазів у формі ластівкового хвоста, а також пазів у диска турбін у формі «ялинки».

Протягування складних «ялинкових» пазів в дисках турбін - найбільш складний процес у виробництві газотурбінних двигунів. Трудомісткість операцій протягування становить 30..40% від усієї трудомісткості механічної обробки дискових турбін.

Протяжки - металомісткий, складний за конструкцією та у виготовленні інструмент.

Економічна доцільність їх застосування виправдовується при проектуванні оптимальної конструкції, виборі раціональних режимів різання, якісному виготовленні та правильній експлуатації. Проблема вибору конструкції інструменту є складним та багатоплановим завданням, вимагає оптимізації численних технологічних, конструктивних і експлуатаційних факторів. Конструктивні та експлуатаційні параметри протяжки пов'язані між собою і не визначаються однозначно, тому що на них впливають численні, здебільшого суперечливі чинники. Щоб вибрати найкращий варіант конструкції, використовуючи традиційні методи проектування, конструктору далеко не завжди буває достатньо особистого досвіду та інтуїції. Варіантна ситуація при проектуванні вимагає розв'язання задачі оптимізації, яка успішно

реалізується на основі оптимізаційної математичної моделі інструмент. Оптимізувати можна не тільки конструкцію інструменту в загалом, а й окремі конструктивні елементи.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Опис об'єкта

Авіадвигун AI-450 (рис.1.1) турбовальний двороторний двигун. Призначений для легких вертольотів і літаків у класі злітної ваги 1500-4000 кг і може бути використаний у складі як дводвигунних, так і одновигунних силових установок літальних апаратів, а також як допоміжна силова установка.

Авіадвигун AI-450 виконано по двороторній схемі, що включає ротор газогенератора і ротор вільної турбіни.

Вільна турбіна передає потужність на редуктор, який встановлений спереду двигуна, через вал, що проходить всередині вала ротора газогенератора.

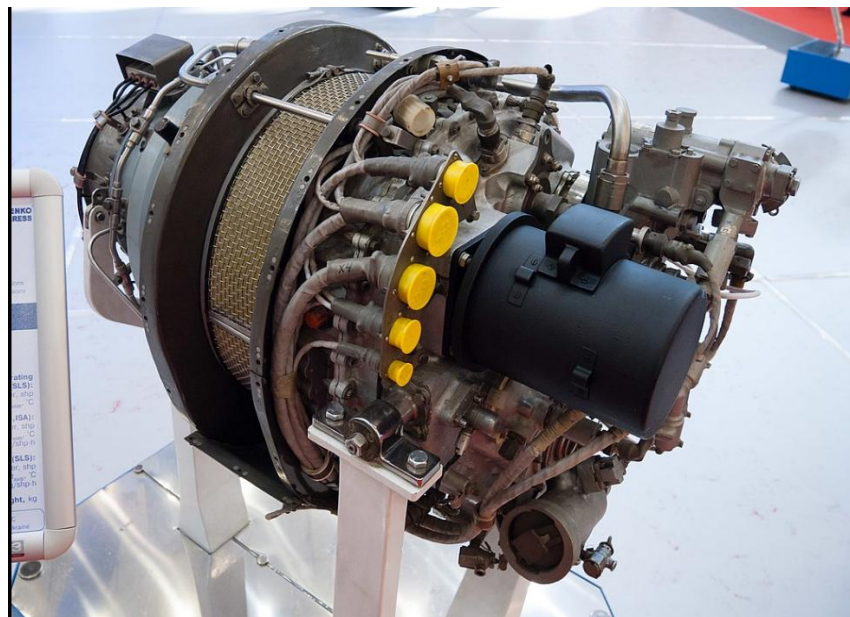


Рисунок 1.1 – Авіадвигун AI-450

Двигун складається з трьох модулів:

- редуктора з коробкою приводів агрегатів, вмонтованих в єдиний корпус;

- газогенератора, що об'єднує вхідний пристрій, компресор, камеру згорання і турбіну компресора;
- вільної турбіни з її валом.

Одним із елементом вільної турбіни є – ротор вільної турбіни. Ротор вільної турбіни складається з робочого колеса першої ступені і робочого колеса другої ступені, виконаних заодно з валом турбіни. Диск робочого колеса першої ступені з'єднаний з диском другої ступені за допомогою торцевих шліців, виконаних на ободках дисків. Диски стягнуті стяжними болтами. Лопатки в дисках кріпляться замками ялинкового типу.

Диски роторів - це одні з найбільш відповідальних елементів конструкцій газотурбінних двигунів. Від досконалості конструкцій дисків залежить надійність та легкість конструкцій авіаційних двигунів в цілому.

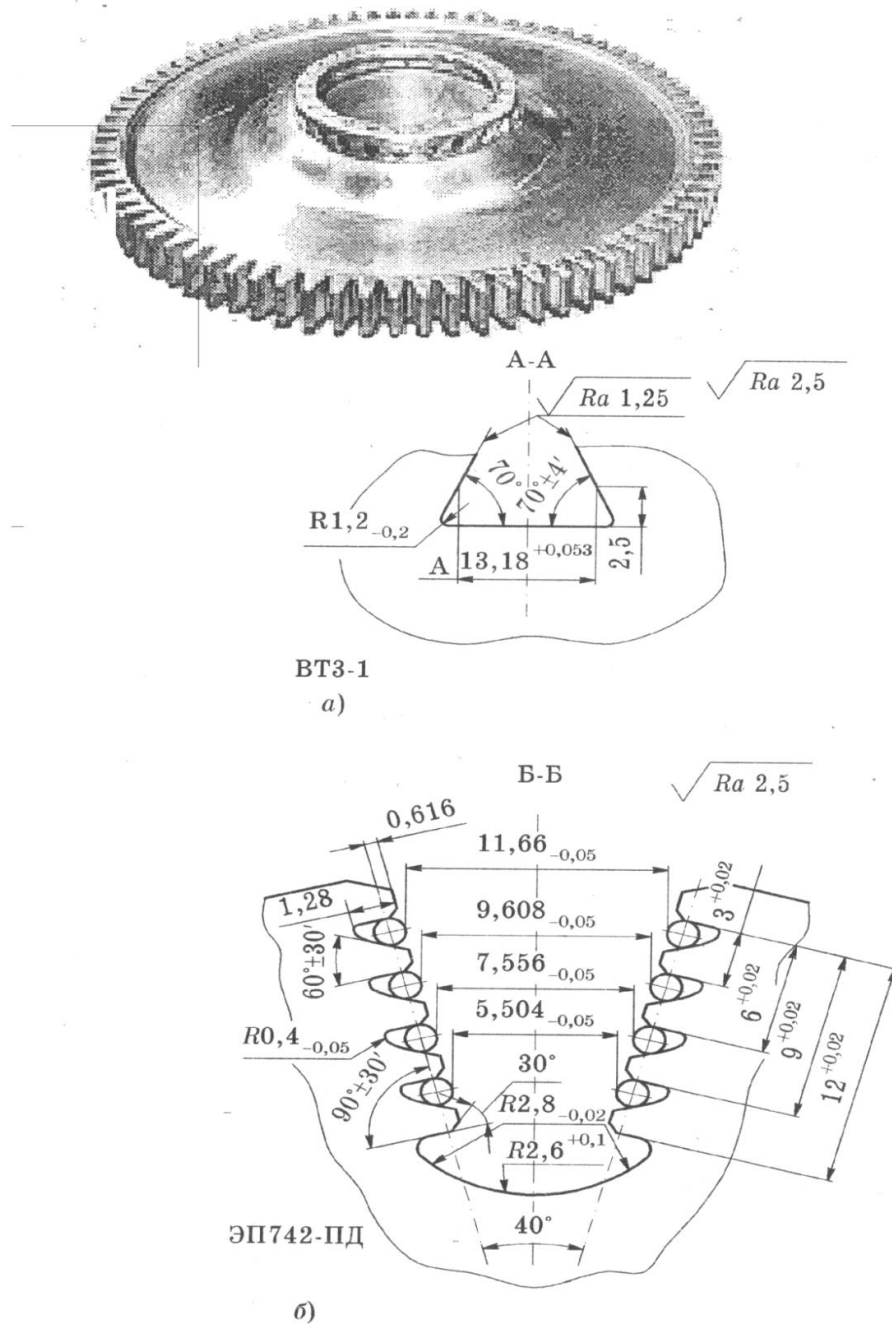
Кріплення робочих лопаток до ротора турбін здійснюється спеціальними замками. Вибір типу замка для кріплення робочих лопаток є дуже важливим. Його проводять на підставі специфічних особливостей роботи вузла, для якого він призначений. Для кріплення робочих лопаток ротора турбін використовуються два типи спеціальних замків: «ялинковий» та «ластівчин хвіст».

«Ялинковий» замок (рис. 1.2б) набагато складніший у виготовленні ніж «ластівчин хвіст» і застосовується як більш міцне з'єднання в дисках та лопатках ротора турбін, що зазнають більш високих термодинамічних навантажень. Особливість «ялинкового» з'єднання полягає в тому, що замок лопатки має великі розміри, глибше розміщується в диску турбіни. Навантаження від дії зовнішніх сил перерозподіляється між зубцями «ялинкового» профілю, тому виготовлення такого з'єднання має бути точнішим, ніж замків типу «ластівчин хвіст» (рис. 1.2а), бо через недостатню точності може статися поломка зубчиків як на лопатці, так і в пазу диска.

Переваги цього замку полягають у наступному:

- матеріал кореневої частині лопатки використовується досить раціонально - лопатки і диск при такому замку виходять найбільш легкими;

- малі розміри кореневої частини замку лопатки в площині диска дозволяють розмістити, на диску, велику кількість лопаток;



а) – «ластівчин хвіст» б) – «ялинка» у диску турбіни

Рисунок 1.2 – Загальний вигляд диска турбіни після протягування пазів та ескізи профілів пазів

- вільна посадка лопатки в замку не перешкоджає розширенню найбільш нагрітої частини диска у обода, завдяки чому температурні напруги в лопатці усуваються, а в обід диска зменшуються;

- вільна посадка лопатки в диску має місце лише при невеликій величиною відцентрової сили (при числі обертів, що дорівнює половині максимального числа обертів);

- в зв'язку з тим, що по неробочій частині зубців лопаток і диска є зазори, в деяких конструкціях можна здійснити охолодження замку за допомогою продувки повітря через зазначені зазори;

- можлива легка заміна пошкоджених лопаток.

Поряд з цими перевагами ялинковий замок має і недоліки:

- невелика поверхня контакту лопатки і диска по площах зубів призводить до поганого теплового контакту між лопаткою і диском, внаслідок чого тепловідвід від лопатки в диск погіршується;

- внаслідок малого радіусу заокруглень в зубах ніжки лопатки і диска відбувається велика концентрація напружень, що може призводити до появи втомних тріщин;

- для отримання більш рівномірного навантаження на зуби замку необхідна висока ступінь точності обробки замку по кроку, по куту і іншим розмірам зубів.

Встановлено, що для виготовлення замкових з'єднань найкраще використовувати жароміцні сталі і сплави які призначені для роботи в умовах великих навантажень і високих температур протягом тисяч, десятків, а інколи сотень тисяч годин.

1.2 Вибір металорізального інструменту для обробки я замка в дисках ротора вільної турбін

Метою Дипломного проекту є необхідність підбору оптимального металорізального інструменту для виготовлення ялинкового з'єднання диска вільної турбіни авіадвигуна АІ-450.

Розглянувши переріз диска вільної турбіни авіадвигуна AI-450 (рис. 1.4) та ознайомившись з розмірами і технічними вимогами до ялинкових пазів диска вільної турбіни AI-450 (рис.1.6) та враховуючи те що диск вільної турбіни (рис.1.5) виготовлений із високо жароміцного сплаву EK151-ІД, можемо зробити висновок про те що процес виготовлення ялинкових пазів досить трудомістких та потребує розробки інструменту, який забезпечить високу продуктивність та точність обробки.

Таку складну фасону поверхню можна утворити фрезеруванням або ж протягуванням.

Обробка ялинкового паза фрезеруванням (рис.1.3б) вимагає необхідності проектування та виготовлення спеціальних фрез(рис.1.3а),не буде забезпечувати отримання необхідної точності та шорсткості ялинкових пазів, а також буде досить трудомістким через те що пази будуть виготовлятися за декілька проходів.

Тому методом обробки ялинкового паза обираємо протягування.

Основними перевагами протягування, у порівнянні з фрезеруванням, є:

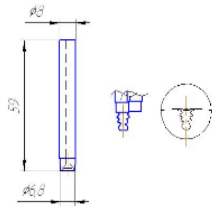
- висока продуктивність процесу;
- забезпечення більш високої точності обробки;
- висока стійкість інструменту.

Протяжка – спеціальний інструмент, який проектують і виготовляють для оброблення однієї або декількох певних деталей. Це дорогий та складний для виготовлення і експлуатації інструмент. Тому найбільша рентабельність застосування протяжок спостерігається в масовому і багатосерійному типах виробництва.

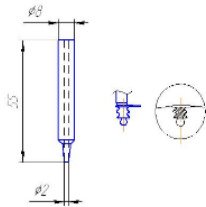


а

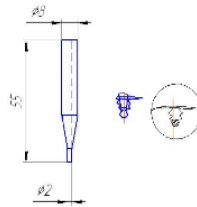
Операция №1
поперечная обработка
паза кинцевой фрезой



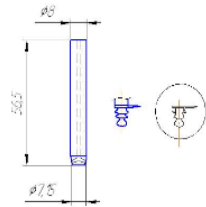
Операция №2
поперечная обработка
паза кинцевой фрезой



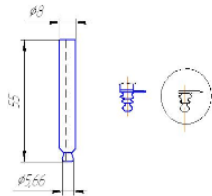
Операция №3
поперечная обработка
паза кинцевой фрезой



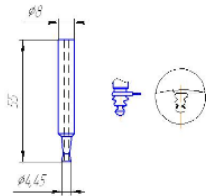
Операция №4
поперечная обработка
внутреннего диаметра паза



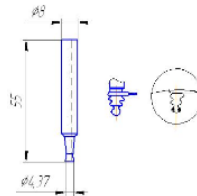
Операция №5
поперечная обработка
среднего диаметра паза



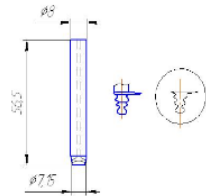
Операция №6
поперечная обработка
нижней части паза



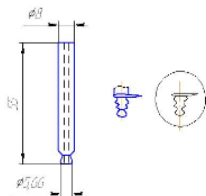
Операция №7
поперечная обработка
нижней части паза



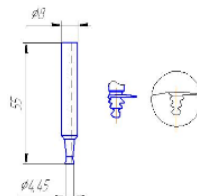
Операция №8
чистовая обработка
внутреннего диаметра паза



Операция №9
чистовая обработка
среднего диаметра паза



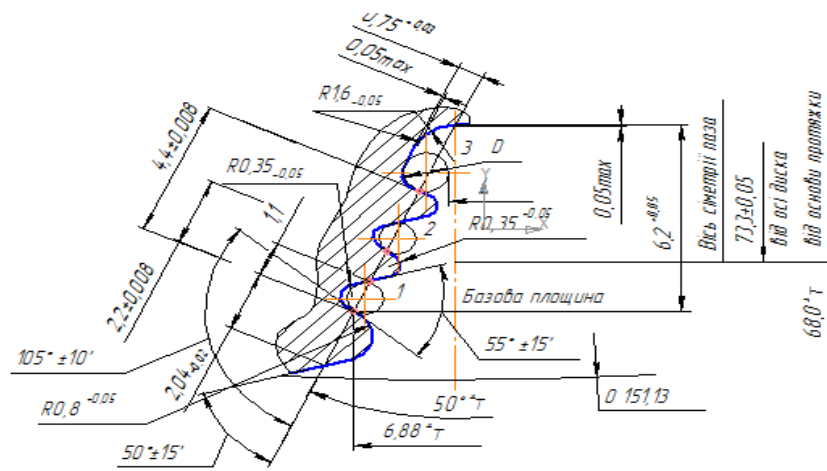
Операция №10
чистовая обработка
нижней части паза



б

а) – ялинкові кінцеві фрези б) – фрезерна обробка паза

Рисунок 1.3 – Фрези і фрезерна обробка



Таблиця У міліметрах

Западина	D	L
1	1,155	4,869 ^{-0,003}
2		3,009 ^{-0,003}
3	1,153	0,896 ^{-0,005}

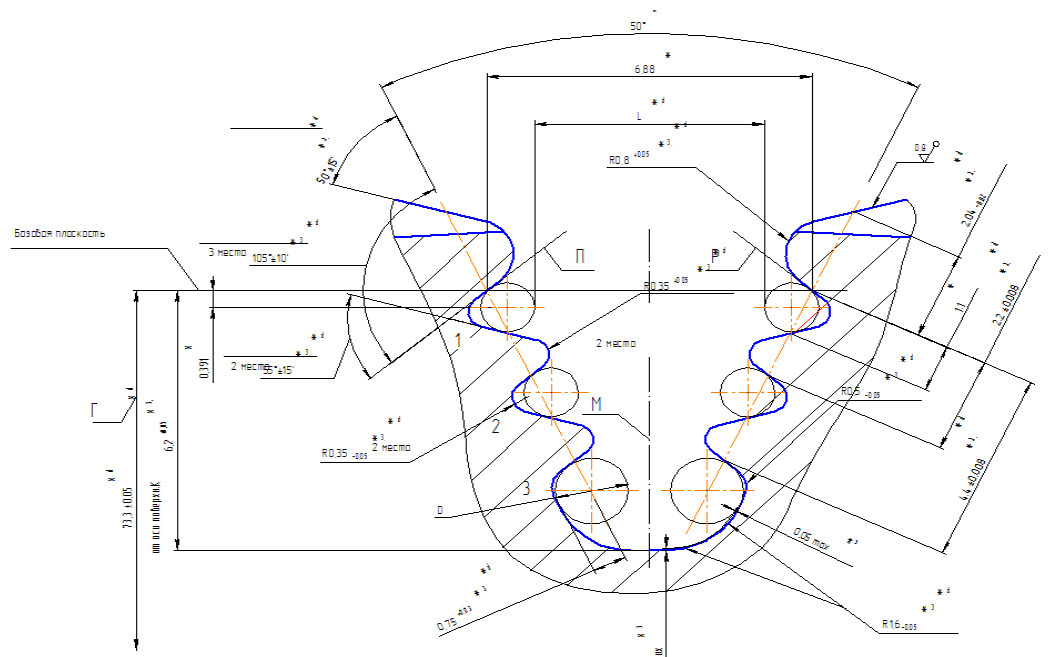
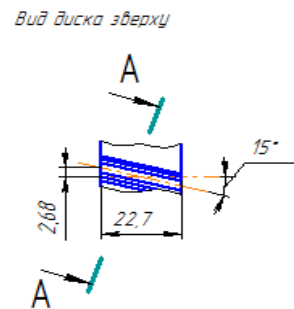


Рисунок 1.6 – Ялинковий паз диска вільної турбіни AI-450

Важливе відмінність протягування від інших видів механічної обробки полягає в тому, що при протягуванні відсутній рух подачі. Значення подачі при просуванні закладено у конструкції інструменту. Розмір кожного наступного ріжучого елемента протяжки більше попереднього величину,

чисельно рівну S_z – подачі на зуб. Кожен зуб протяжки на відміну від зуба фрези лише один раз бере участь у обробці заготовки;

Методом протягування досягається точність до 2-го класу включно і чистота обробленої поверхні до 6-го квалітету точності

2 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД І АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

2.1 Особливості процесу протягування

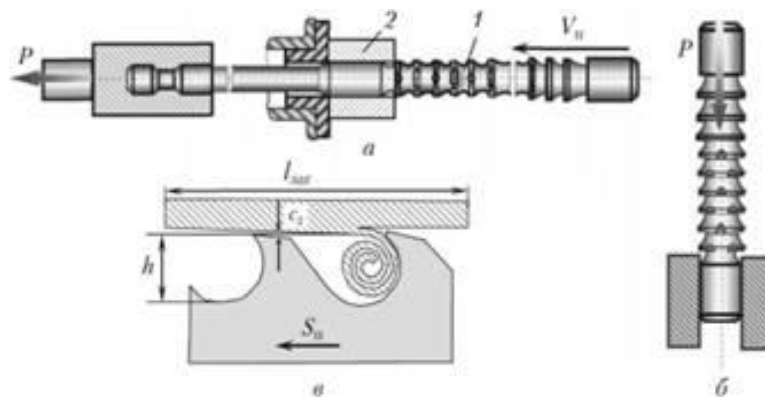
Протягування – це багатозубі високопродуктивні інструменти, що знайшли широке застосування в серійному і особливо в масовому виробництвах. Вони відносяться до інструментів з конструктивною подачею, так як при протягуванні рух подачі відсутній.

Процес обробки матеріалів різанням на протяжних верстатах ріжучим металорізальним інструментом - протяжкою.

Протягування забезпечує отримання зовнішніх і внутрішніх фасонних поверхонь виробів високої якості (7-8-го квалітету). Це високопродуктивний метод. Його застосування доцільно при обробці великих партій деталей, тобто у великосерійному і масовому виробництві (зважаючи на складність виготовлення і високої вартості протяжок).

Формоутворення (рис. 2.1. а) здійснюється при поступальному русі протяжки 1 (головний рух) відносно нерухомої заготовки 2. Головне рух різання у напрямку збігається з віссю інструменту

За величину подачі S_n , визначальну товщину зрізаного шару окремим зубом протяжки, приймають підйом на зуб, тобто різниця розмірів по висоті двох сусідніх зубів з z ; S_n є одночасно і глибиною різання.



а) – схеми протягання б) – внутрішньої прошивки в) – принцип їх роботи

Рисунок 2.1 – Робота протяжки

Відмінність прошивки полягає в тому, що в протяжка сила різання прикладена до передньої частини інструменту, а в прошивках - до задньої (рис 7. б), тобто протяжку тягнуть за передній кінець, а прошивку штовхають.

При обробці протяжками припуск знімається одночасно ріжучими лезами декількох зубів (рис. 2.1 в). Обробка, в тому числі і складних поверхонь, здійснюється за один робочий хід інструменту.

Протягування засновано на використанні найпростішою принциповою кінематичної схеми різання. Головний рух, забезпечує процес різання, частіше всього прямолінійне, поступальне. Рідше зустрічаються протяжки з обертальним або гвинтовим головним рухом. Прямолінійний головний рух, повідомляється протяжним інструментам або оброблюваним заготовкам, може бути спрямовано вздовж горизонтальної осі X), якщо протягування ведуть на горизонтально-протяжних верстатах. При роботі на вертикально-протяжних верстатів прямолінійний рух спрямований вздовж вертикальної осі Z . Прямолінійний рух на принциповою кінематичною схемою різання кількісно характеризується швидкістю різання V . Кінематичне виконання протяжних верстатів відповідно до принциповою кінематичною схемою різання передбачає тільки прямолінійне зворотно-поступальний рух робочих органів. Пряме поступальне рух завжди є робочим ходом; зворотний рух – холостим ходом. Характер роботи зовнішніх протяжок дозволяє легко здійснити принцип безперервної обробки деталей без зупинки протяжного верстата та зворотного ходу протяжки - конвеєрне протягування. При прямолінійному головному русі це відбувається шляхом пересування оброблюваних деталей щодо нерухомої протяжки. При круговому головному русі деталі, що протягуються закріплюються на круглому столі, що обертається. Таке протягування називається карусельним, а верстати для нього карусельно-протяжними. Продуктивність верстатів, працюючих по безперервному або конвеєрному методу, у 6-10 разів вище, ніж продуктивність обладнання з зворотно-поступальним рухом протяжки. Зовнішнє протягування може проводитися не тільки з прямолінійним головним рухом протяжки або оброблюваних деталей,

але і з круговим їх переміщенням. Для протягування в цьому випадку можуть використовуватися токарні, фрезерні та інші верстати. Крім незамкнених поверхонь протяжками обробляються і зовнішні поверхні тіл. Обертання з прямолінійними або криволінійними утворюючими. Для цієї мети застосовуються протяжні верстати типу токарних, у яких в супорті замість різця встановлюється протяжка. Деталь встановлюється в центрах або закріплюється в патроні та приводиться у обертальний рух приводом верстата. В процесі роботи протяжка рухається прямолінійно в вертикальній або горизонтальній площині щодо оброблюваної поверхні. В іншому варіанті цього ж виду протягування застосовуються дискові обертові протяжки, зубці яких розташовані на спіральній поверхні інструменту. Обробка провадиться за один оборот протяжки. Нарешті, та сама робота може бути виконана кільцевою протяжкою з внутрішніми зубцями, ріжучі кромки яких також лежать на спіральній поверхні.

Для обробки протяжками зубчастих коліс із зовнішніми зубами існують такі методи:

- 1) продавлювання заготовки крізь порожню (трубчасту) протяжку
- 2) застосування набору протяжок із плоским тілом
- 3) обкатка рейковою протяжкою.

Обробка за першим методом проводиться на гідравлічному преса. Протяжка має форму труби або порожнистого циліндра, якому розміщені ріжучі секції, виконані або у вигляді кілець з внутрішніми зубцями або у формі окремих смуг, розташованих вздовж утворюють циліндра. Для більш менш великих модулів кожен зубець протяжки виконується окремо і вставляється в відповідне гніздо корпусу. Для обробки шестерні застосовується одна або кілька трубчастих протяжок в залежності від модуля.

При протягуванні за другим методом застосовується набір протяжок у кількості, що дорівнює кількості западин на зубчастому колесі. Протяжки рухаються прямолінійно по напрямних пазах пристосування. Робота проводиться на вертикальному чи горизонтальному протяжному верстаті,

причому конструкція протяжок тут простіше, ніж у попередньому випадку. При обробці за третім способом рейкова протяжка має поступальний робочий рух у вертикальній або горизонтальній площині, а заготовка, що обробляється, обертається навколо своєї осі примусово, за допомогою зубчастого механізму, а в окремих випадках самостійно, будучи встановленою на кульковій підп'ятник. При протягуванні прямих зубців вісь заготовки нахилиється під тим кутом, під яким розташовані рейкові виступи зубців протяжки. Щоб обробити всі зубці колеса, необхідно мати широку та довгу протяжку. Тому зазвичай застосовують протяжки з двома-трьома рейковими виступами, проводячи роботу на кілька проходів.

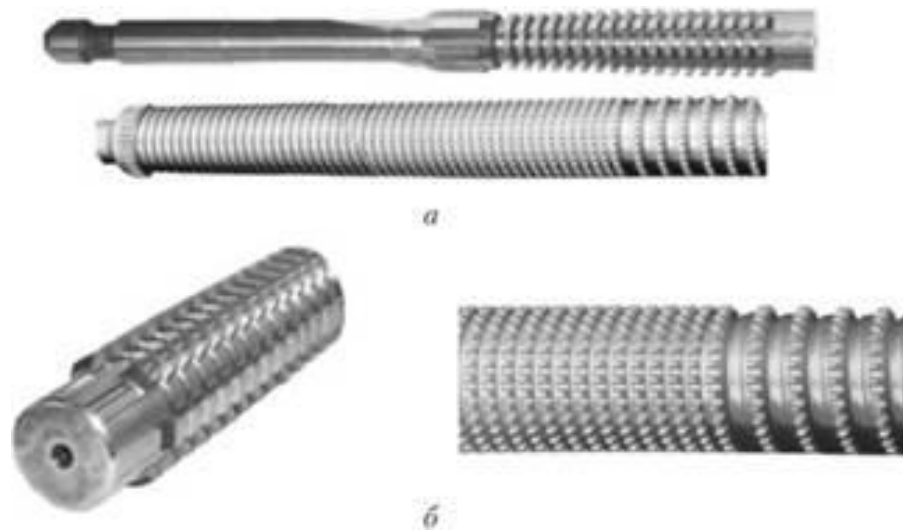


a) – схеми; *б)* – реальні деталі

Рисунок 2.2 – Види отворів, одержуваних протяганням.

Внутрішнє протягування застосовують для обробки різних отворів, наприклад квадратних, багатограних, шліцьових з різними профілями прямих та гвинтових канавок, а також шпонкових і інших фігурних пазів в отворі деталі (рис. 2.2.).

Протяжка, що використовується для отримання внутрішніх шліцьових отворів(рис.2.3).



a) – загальні види; *б)* – фрагменти робочих частин

Рисунок 2.3 – Протягання для внутрішнього протягування шліцьових отворів

У багатьох випадках протягування складних поверхонь окремі їх ділянки утворюються з профільної схемою, інші - по генераторної, тобто комбіновано. Наприклад, при протягуванні шпонкових пазів і шліцьових отворів дно канавок утворюється за профільною схемою, бічні сторони - по генераторної.

Зовнішнє протягування застосовують для обробки зубчастих коліс, циліндричних поверхонь валів, зовнішніх шліців різного профілю на валах, канавок в формі хвоста, Т-образних пазів, ялинкових профілів. Приклади деяких профілів для зовнішнього протягання показані на рис.2.4, приклади деталей - на рис.2.5. (стрілками показані виконані зони обробки), а зовнішні протяжки-рис 2.6.

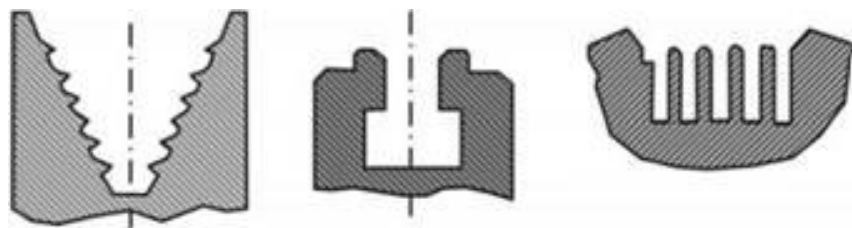
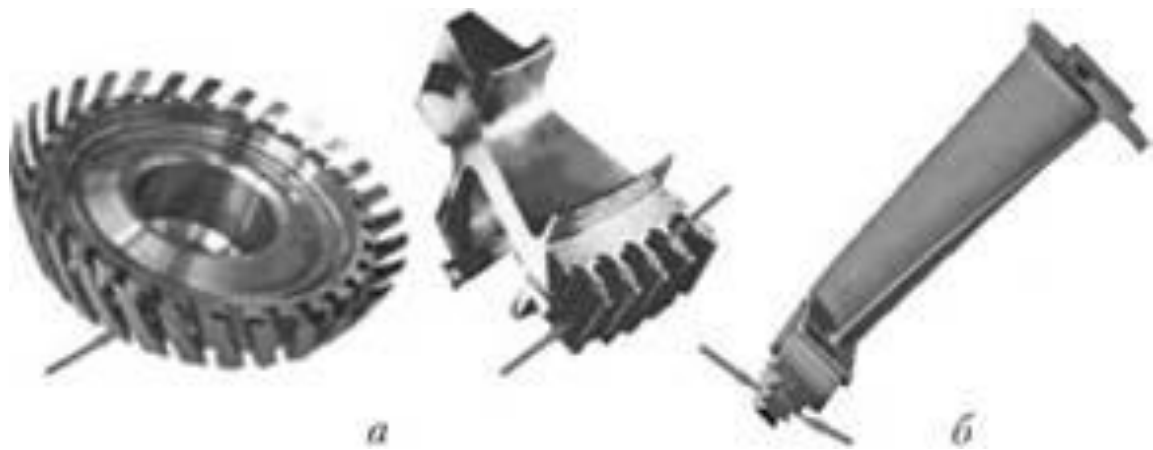
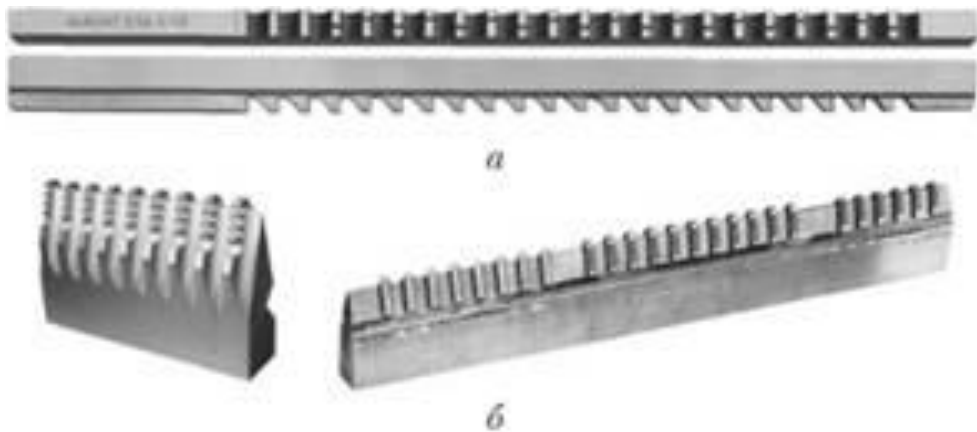


Рисунок 2.4 – Профілі поперечного перерізу, одержувані наріжним протяганням



a) – зовнішніх пазів *б)* – фасонних поверхонь

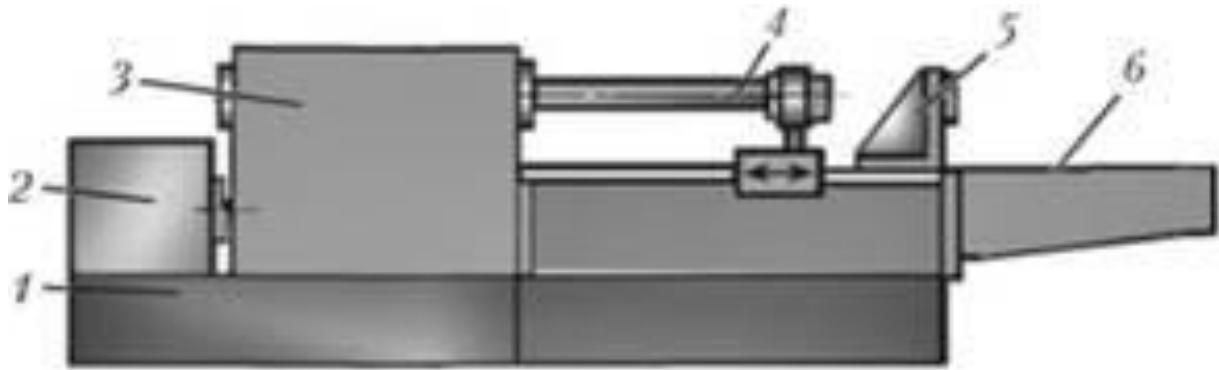
Рисунок 2.5 – Приклади отримання протяганням



a) – для плоских пазів; *б)* – фасонних пазів

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд протяжок для отримання зовнішніх профілів.

Типова схема горизонтально-протяжного верстата для внутрішнього протягування показана на рис. 2.7. Верстат складається з станини 1, насосної станції 2, гідроциліндра 3, каретки 4, опорного кронштейна 5 і корита 6.



1 - станина; 2 - насосна станція; 3 - гідроциліндр; 4 – каретка;

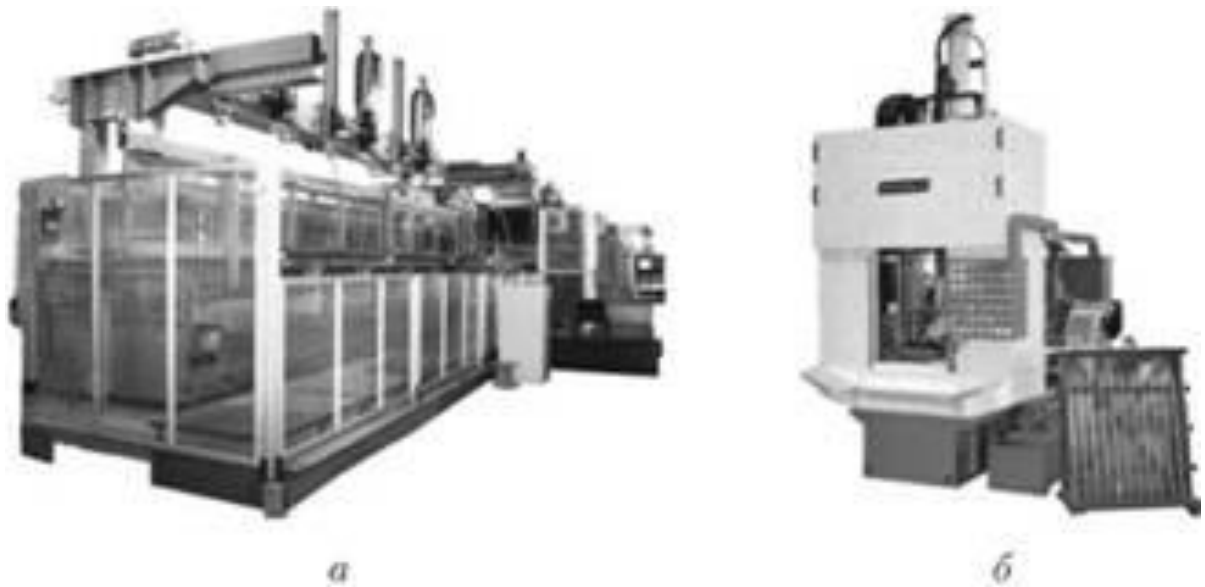
5 опорний кронштейн; 6 - корито

Рисунок 2.7 – Схема протязного верстата

Протязку хвостовою частиною вставляють у попередньо оброблене отвір заготовки і закріплюють у патроні каретки 4. Каретка з протязкою отримує поступальний рух від штока поршня гідроциліндра 3 - головний рух різання. Заготівка при протязуванні спирається торцем на опорну поверхню кронштейна 5. Поступальний рух протязці повідомляють доти, поки вона не вийде з отвору заготовки. Після закінчення протязування заготівля падає в корито 6, протязка витягується з каретки 4, остання повертається у вихідне положення (допоміжний хід), і цикл обробки повторюється.

Протязні верстати відрізняються простотою конструкції та експлуатації. Зовнішній вигляд горизонтального і вертикального верстатів показаний на рис.2.8.

Діаметр протязаются отворів знаходиться в межах 5-400 мм, довжина - до 10 м. Припуск залежить від поперечного розміру отвору і для $d = 10$ мм становить (порядок) 0,6 мм, для $d = 90$ мм - $\sim 1,5$ мм. Це обумовлено тим, що формоутворення поверхні на протязному верстаті здійснюється копіюванням форми ріжучих крайок зубів інструменту.



a) – горизонтальний; *б*) – вертикальний

Рисунок 2.8 – Протяжні верстати

Швидкості різання залежать від матеріалу заготовки, необхідної точності, складності нарізання профілю і т.д. і орієнтовно складають 2-6 м / хв. Подача в основному залежить від оброблюваного матеріалу, конструкції протяжки і жорсткості заготовки і становить 0,01-0,2 мм / зуб.

На рис. 2.9 подано схематичне зображення передньої частини протяжки встановленої на верстаті разом із заготовкою. Передня частина протяжки складається з таких конструктивних елементів: передній хвостовик *12*, шийка *10*, перехідний конус *9* та передня напрямна *8*.

Протяжка *7* з надітою на неї заготовкою *6* закріплена в патроні *1*. Хвостовик *12* має кільцеву проточку *11* у яку заходить кулак *3*. Він передає тягове зусилля верстату до інструменту. Для того щоб кулак *3* не вийшов із проточки *11* зовні надіта гільза *2* патрону. Вона може пересуватись вздовж патрону звільнюючи кулак.

Отже, кінцеву частину хвостовика виконують у вигляді кільцевої виточки, в яку у радіальному напрямку входять кулачки автоматичного або напівавтоматичного патрону, які здійснюють силове замикання протяжки з патроном та передають тягове зусилля протяжного верстата. Перевагою такої

патрону протяжного верстата. Таким чином, довжина протяжки до першого зубу складається з таких складових елементів:

- товщина заготовки;
- товщина опорної пластини;
- товщина столу станка;
- довжина переднього хвостовика.

При виборі верстату основними критеріями є хід верстату (довжина ходу протяжки) та діаметр D отвору у опорній плиті.

При протягуванні необхідно враховувати не тільки припуск призначений за технічними розмірами, але й стан поверхні заготовки. Залежно від того, яким інструментом було попередньо утворено отвір у заготовці - товщина пошкодженого шару металу буде різною [1,5]. При утворенні отвору на його поверхні залишається шар із слідами оброблення, товщина якого (позначається як A) залежить від використаного інструменту. Пошкоджений шар необхідно видалити під час протягування. У табл. 2.1 подано мінімальну товщину (припуск) A цього шару для загального випадку.

У тому випадку коли задано тип інструменту та квалітет утворення попереднього отвору у заготовці, припуск A під протягування призначають за табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Припуск A на діаметр у загальному випадку

Діаметр отвору заготовки, мм	Припуск A на діаметр, мм			
	Співвідношення довжини до діаметру отвору заготовки			
	до 1	до 2	до 3	до 4
10 ... 18	0,6	0,7	0,8	0,9
18 ... 30	0,8	0,9	1,0	1,1
30 ... 50	1,1	1,2	1,3	1,3
50 ... 80	1,2	1,2	1,4	1,4
80 ... 120	1,2	1,4	1,5	1,6

Під час призначення допуску А необхідно враховувати не тільки тип інструменту який застосовують на чорновій операції, але і стан устаткування. Тому у табл. 2.3 наведені опосередковані дані.

Таблиця 2.2 – Припуск А на діаметр для заданого чорнового інструменту

Внутрішній діаметр отвору, мм	Квалітет IT7 та IT8		Квалітет IT10	
	Припуск А, мм		Припуск А, мм	
	Попередній інструмент		Попередній інструмент	
	свердло	зенкер або розточування	свердло	зенкер або розточування
11	0,4	-	0,3	-
13	0,4	-	0,3	-
16	0,6	-	0,8	-
18	0,6	-	0,8	-
21	-	0,8	0,6	-
23	-	0,8	0,6	-
26	-	0,8	0,8	-
30	-	0,8	0,8	-
32	-	0,9	0,9	0,9
36	-	0,9	0,7	0,7
42	-	0,9	0,9	0,9
46	-	0,9	0,8	0,8
52	-	1,0	0,9	0,9
56	-	1,0		0,9
62	-	1,0		0,9
72	-	1,0		0,9
82	-	1,0		1,0

Загалом при підготовці отвору під протягування заданого квалітету його утворюють інструментом призначеним за табл. 2.2.

Таблиця 2.3 – Квалітет виготовлення чорного отвору під протягування

Квалітет отвору у заготовці під протягування	Тип технологічної операції перед протягуванням
<i>H14</i>	Свердлення
<i>H12</i>	Зенкерування
<i>H9</i>	Розточування
<i>H8</i>	Розгортання

У всіх випадках не слід надмірно збільшувати припуски на протягування. Великі припуски призводять до збільшення довжини протяжки

Протяжка це інструмент який працює на розрив, тому необхідно виконати її перевірку на здатність витримувати навантаження. Також, зусилля різання не повинні перевищувати найбільше тягове зусилля на яке розраховано верстат. Він може або зупинитись, або вийти з ладу. Одночасно треба враховувати, що деталь також може не витримати напружень, які виникають при роботі протяжки. Тому при обробленні деталей, які мають тонкі стінки необхідно перевірити, чи витримують вони навантаження. У загальному випадку спочатку перевіряють на міцність протяжку, а потім вибирають верстат відповідно до розрахованих зусиль різання.

Загальна формула розрахунку зусилля має вигляд:

$$P = C_p (S_z)^x B n z_p K_\gamma K_m, \quad (2.1)$$

де: C_p – коефіцієнт зусилля різання;

S_z – подача на зуб, мм;

x – коефіцієнт ;

B – довжина одного різального елемента

n – кількість елементів, що одночасно різуть. Для шліцьової протяжки значення n дорівнює кількості шліців;

z_p — кількість одночасно працюючих зубців протяжки;

K_γ та K_M — коефіцієнти за табл. 4 та табл. 5.

Довжина B різального елемента, це довжина різальної кромки одного з елементів робочої частини протяжки.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти розрахунку зусилля протягування

Матеріал деталі	Твердість матеріалу деталі, HV	Тимчасовий опір, МПа (кГ/мм^2)	C_p^*	x	K_M
Сталь вуглецева	< 200	< 700 (65)	2120 (215)	0,85	1
	200...230	700...800 (65...75)	2300 (234)		
	> 230	> 800 (75)	2840 (288)		
Сталь легована	< 200	< 700 (65)	2300 (234)	0,85	1,2
	200...230	700...800 (65...75)	2840 (288)		
	> 230	> 800 (75)	3150 (320)		
Чавун сірий	< 200	-	1250 (128)	0,73	0,5
	> 200	-	1500 (153)		0,65
Бронза	-	-	1275(130)	0,73	0,44

* - числа без дужок відносяться до розрахунків у Ньютонах [Н]. Числа у дужках відносяться до розрахунків у кілограмах [кГс].

Для того, щоб перевірити протяжку на міцність необхідно розрахувати напруження, які виникають у її найбільш небезпечному перерізі.

Для різальної частини протяжки найбільш небезпечним є січення що проходить по стружковій канавці перед першим різальним зубом. Кожна група зубців зрізує свій припуск, має свою довжину різальної кроки і в загальному випадку свою величину подачі на зуб. Отже, кожна з них має свої зусилля різання. Тому протяжку необхідно перевіряти по напруженням, які виникають в момент роботи кожної групи зубців (фаскова, кругла, шліцьова).

На етапі перевірки міцності протяжки геометричні параметри та розміри зубців різних типів (фаскові, круглі, шліцьові) приймають за розмірами відповідних елементів деталі. Розрахунок виконавчих розмірів цих зубців виконують після перевірки на міцність усієї протяжки.

Напруження $\sigma_{пр}$ що виникають у перерізі по стружковій канавці перед першим зубцем протяжки під дією зусилля різання розраховують як:

$$\sigma_{пр} = \frac{P_{max}}{F_k}, \quad (2.2)$$

де: P_{max} – найбільше зусилля різання, що виникає під час роботи

F_k – площа січення по стружковій канавці перед першим зубом протяжки.

Таблиця 2.5 – Передній кут та коефіцієнт K_γ

Матеріал деталі		Передній кут, град			
Сталь $HB < 180$ (σ_B до 60 кГ/мм ²)		15 ... 18			
Сталь $HB 180...220$ ($\sigma_B 60 ... 100$ кГ/мм ²)		12 ... 15			
Сталь $HB > 220$ (σ_B більш 100 кГ/мм ²)		8 ... 10			
Чавун $HB < 150$		8 ... 10			
Чавун $HB > 150$		4 ... 8			
Бронза		4 ... 8			
Коефіцієнт K_γ					
Матеріал деталі	γ , град				
	5	10	15	20	
Сталь	1,13	1,00	0,93	0,85	
Чавун	1,10	1,00	0,95	-	
Примітки : 1 кГ/мм ² = 9,8 МПа					

Отже, остаточно приймають $P_{max} = \max(P_k, P_f, P_{ш})$.

Ще одним небезпечним січенням є січення переднього хвостовика, яке має найменшу площу. Напруження σ_x що виникають в цьому січення визначають як:

$$\sigma_x = \frac{P_{max}}{F_x}. \quad (2.3)$$

де: F_x – найменша площа поперечного перерізу переднього хвостовика протяжки з урахуванням всіх його конструктивних елементів.

Для того щоб перевірити протяжку на міцність необхідно за табл. 6 вибрати матеріал різальної частини протяжки залежно від матеріалу деталі.

2.2. Різновиди протяжок

Протяжки це багатолезовий інструмент який застосовують для оброблення наскрізних отворів різної форми. Кінематичною схемою роботи протяжки є прямолінійний рух інструмента відносно деталі, це одна з найпростіших схем формоутворення [2,7].

Протяжка представляє собою стержень визначеного перерізу, який на поверхні має різальні зуби. Кожний наступний зуб розміщено вище від попереднього і зрізує з поверхні заготовки шар завтовшки $0,01...0,2$ мм (рис. 2.10).

Припуск при протягуванні (z) знімається протяжкою за один прохід. Таким чином припуск дорівнює сумі різниць висот попереднього та наступного зубів протяжки:

$$Z = S_{z1} + S_{z2} + \dots + S_n$$

де $S_{z1} + S_{z2} \dots$ – різниця висот попереднього та наступного різальних зубів протяжки.

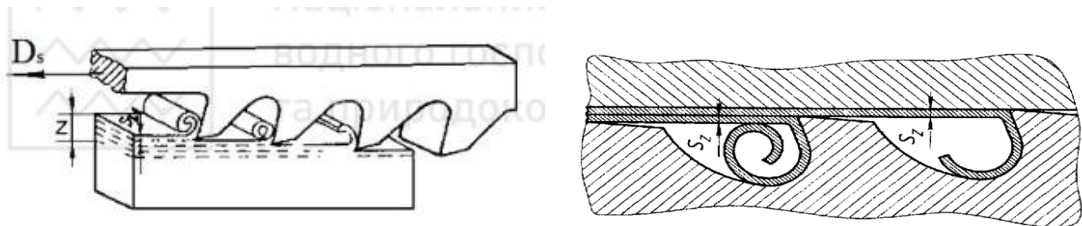


Рисунок 2.10 – Схема різання припуску при протягуванні.

Протяжки які обробляють отвори називають внутрішніми, а ті що обробляють зовнішні поверхні – зовнішніми. Для оброблення протяжкою внутрішньої поверхні у деталі потрібно попередньо зробити отвір. Діаметр отвору під протягування роблять меншим ніж діаметр обробленої деталі, залишаючи певний припуск на оброблення протяжкою, який називають припуском на протягування. Протяжки для оброблення отворів це – стержневий багатозубий різальний інструмент, який здійснює процес зрізання шарів металу при відсутності руху подачі за рахунок того, що висота кожного наступного зуба перевищує висоту попереднього на величину s_z , яку називають підйомом на зуб або подачею на зуб. Протяжки мають прямолінійний рівномірний головний рух різання, він співпадає з віссю інструмента. Кожний різальний зуб зрізує шар металу товщиною S_z , а в цілому всі різальні зубці – сумарний шар, який є припуском на оброблення. На рис. 17 показана загальна схема зрізання припуску під час роботи протяжки.

У загальному випадку протяжка може утворювати отвір довільного фасонного профілю. Найчастіше протягуванням утворюють отвори діаметром 10...75 мм, завдовжки 2,5...3 діаметри.

При протягуванні, внаслідок скорочення основного і допоміжного часу, поєднання операцій чорнового і фінішного оброблення досягається висока продуктивність формоутворення. Стійкість протяжок дозволяє працювати декілька змін без періодичної наладки верстата і інструменту. При обробленні деталей протяжками досягається висока точність розмірів і геометричної форми, а також низька шорсткість поверхні порівняна із шліфуванням. Тому протягування широко застосовують в багатьох галузях машинобудування для фінішного оброблення поверхонь. [6].

У залежності від форми отвору застосовують різні конструкції протяжок: круглі (які інколи називають циліндричними), шпонкові, гранні для утворення багатогранних отворів, шліцьові, фасонні та інші.

В залежності від виду робіт, які виконуються тією чи іншою протяжкою їх можна поділити на шість типів.

Круглі протяжки(рис.2.11а) – для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь. На секціях круглих протяжок в шаховому порядку роблять стружко-роздільні канавки. Шліцові протяжки застосовують для обробки прямих і гвинтових шлицових канавок. Канавки виготовляють прямими та евольвентного профілю. При протягуванні останніх заготовка чи протяжка обертається в процесі обробки.

Шпонкові протяжки(рис.2.11г) – для обробки шпонкових пазів.

Багатогранні протяжки(рис.2.11д) – для обробки граней отворів з любым числом сторін.

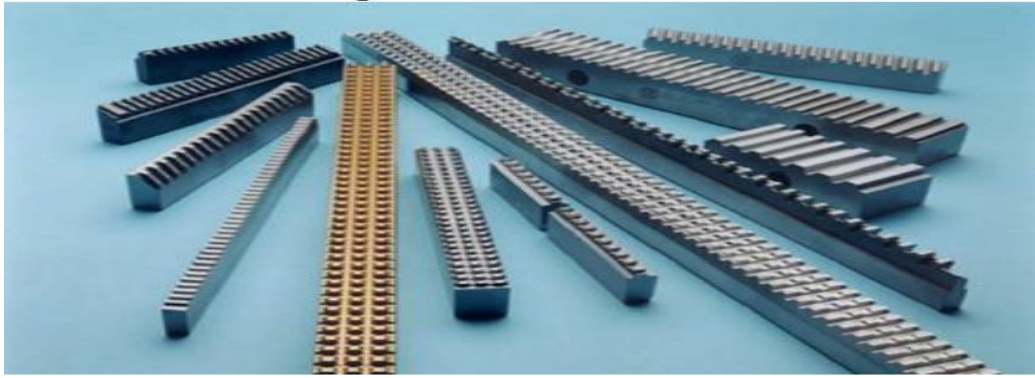
Плоскі протяжки(рис.2.11б) – для обробки плоских поверхонь.

Ущільнюючі протяжки(рис.2.11в) – для ущільнення попередньо оброблених поверхонь з метою покращення структури поверхневого шару та зменшення шорсткості обробленої поверхні

Плоскі протяжки (рис. 2.11 б) для зовнішнього протягування призначені для обробки зовнішніх плоских та лінійних фасонних поверхонь невеликої ширини. Ці протяжки не мають ні передніх ні задніх направляючих.



а



б



в



г



д

a) – круглі протяжки, *б)* – плоскі протяжки, *в)* – ущільнюючі протяжки,
г) – шпонкові протяжки, *д)* – багатогранні протяжки.

Рисунок 2.11 – Види протяжок

Для протяжки, як різального інструменту, можливо виділити ряд характерних особливостей. А саме:

- простота реалізації прямолінійного робочого руху інструменту;
- відсутність руху подачі як окремого руху (подача різальних кромок інструменту забезпечена його конструкцією);
- найкоротша траєкторія різання (пряма лінія);
- малий час контакту інструменту та деталі між початком і закінчення оброблення поверхні деталі.

Наприклад, під час оброблення деталі довжиною 50 мм час контакту між деталлю та кожним окремим різальним елементом протяжки (зубом) становить приблизно 1...2 секунди, а весь процес оброблення займає менше хвилини.

У процесі оброблення отвору протяжка здійснює відносно заготовки прямолінійний поступальний рух (робочий рух). Швидкість робочого руху протяжки (швидкість різання) становить 2...12 м/хв для протяжок виконаних із інструментальної сталі (табл. 2.6...2.8). Це значно менше ніж для багатьох інших металорізальних інструментів. Однак завдяки особливості кінематичної схеми формоутворення протяжка має один з найвищих показників за продуктивністю застосування. Так під час утворення шліцьових отворів 7 або 8 квалітетів у сталевих деталях, продуктивність операції протягуванням становить 80...120 деталей на годину (тобто менше хвилини на деталь), забезпечуючи шорсткість поверхні $Ra_{1,25} \dots 2,5$ мкм порівняну із шліфуванням.

Таблиця 2.6 – Швидкість різання при протягуванні сталі, м/хв

Квалітет отвору	Група матеріалу			
	I	II	III	IV
IT 7	5	4,5	3,5	2,5
IT 8	8	7	6	5

Таблиця 2.7 – Групи матеріалів (сталь)

Матеріал	Група
40; 50; 60; 49Г; 60Г; 65Г; 40Х; 50Х; 40ХГМ; 50ХГ	I
35; 35Х; 20Х; 20ХГ; 35ХМА; 33ХС; 35СГ; 18ХГМ; 12Х2Н4А; 18ХГТ; 30ХГТ	II
25; 30; 15Г; 20Г; 20ХН; 40Г; 65Г; 50ГА; 30Х; 50Х; 50ХФА; 35ХМА; 35ХГСА; 50ХН; 40ХГМ; 40НМ	III
10; 15; 20; 35ХС; 35ГС; 37Н3А; 40ХГМ; 33ХН3МА	IV

Таблиця 2.8 – Коефіцієнт корегування швидкості

Матеріал протяжки	P18, P12Ф5М	P6M5, P12Ф3	P9K10	P6M5K5, P6Ф2K8M5	ХВГ, 9ХВГ
Коефіцієнт корекції	1,6	1,0	1,8	2,0	0,7

2.3. Конструкція протяжок

Конструктивна частина протяжки складається з елементів, які призначають не за розрахунками, а з конструктивних міркувань та у відповідності до характеристик наявного устаткування [4,8].

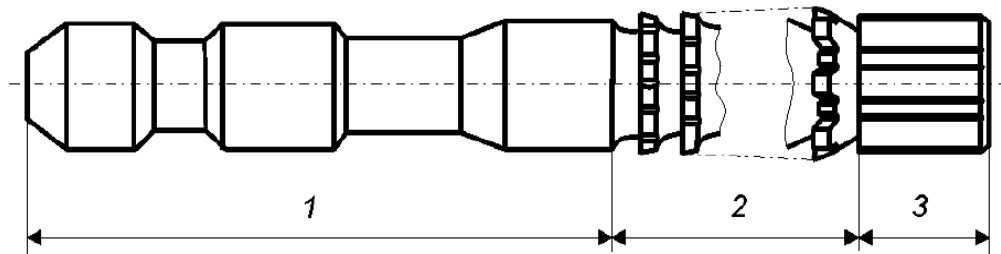


Рисунок 2.12 – Основні елементи протяжки.

У загальному випадку протяжка складається з передньої частини 1 (рис. 2.12), робочої частини 2, яку іноді називають різальною частиною протяжки

та заднього хвостовика 3. Різальна частина є головною частиною будь-якої протяжки. Інші ж частини, які іноді називають гладкими частинами протяжки, слід розглядати як допоміжні.

2.4. Основні складові частини протяжки

2.4.1. Передній хвостовик

Передній хвостовик протяжки призначений для її закріплення в патроні протяжного верстата. Через нього на протяжку передається тягове зусилля верстата. Конструктивне оформлення переднього хвостовика виконують за одним з варіантів за ГОСТ 4044-70(рис. 2.13). Діаметр $d_{\text{хв}}$ переднього хвостовика повинен бути таким щоб він мав змогу вільно проходити у отвір заготовки діаметром $D_{\text{заг}}$. Для розрахунків приймають:

$$d_{\text{хв}} = D_{\text{заг}} - 0,3 \quad (2.4)$$

де $D_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки.

Отриманий результат необхідно округлити до найближчого меншого значення за табл.9. Параметр F_n це площа торцевого перерізу діаметру d_n , її величина впливає на міцність протяжки, яка працює на розрив. Параметр F_n використовують під час перевірки інструменту на можливість витримати навантаження на хвостову частину протяжки під дією зусиль різання.

Хвостовики виконання 1 та 3 застосовують при використанні стандартного швидкозмінного патрону у загальному випадку, коли орієнтація шліців відносно деталі не має значення. Наприклад, звичайні зубчасті колеса або у випадку оброблення круглого отвору. Загалом більш поширеним є виконання 1.

Хвостовики виконання 2 застосовують у тому випадку, коли орієнтація шліців відносно деталі має значення і вказана в умовах на її виготовлення. У такому випадку деталь певним чином орієнтують у пристрої, а протяжка орієнтується у патроні за допомогою лиски на хвостовику.

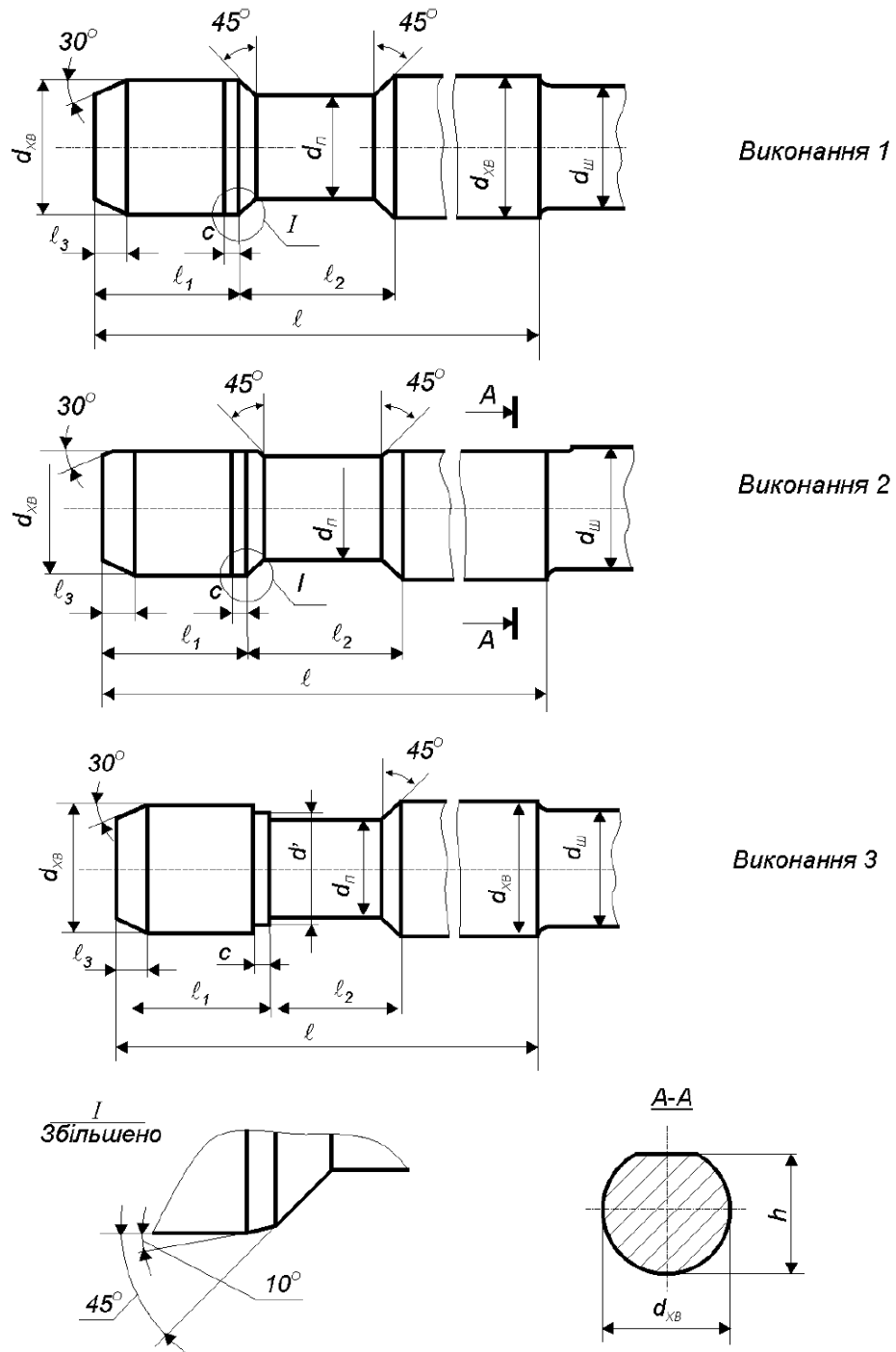


Рисунок 2.13 – Типи хвостовиків

При діаметрах переднього хвостовика більше 12...18мм його виконують із сталі 40Х та зварюють із основною протяжкою, яка зроблена з

інструментальної сталі. Місце зварки розташовують на конусі 9 передньої напрямної хвостовика (на рис. 20 позначено як ЗВ)[9,16].

Таблиця 2.9 – Розміри хвостовиків для швидкозмінних патронів

$d_{хв}$, мм	$d_{п}$, мм	$F_{п}$, мм ²	d' , мм	$d_{ш}$, мм	l , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	h , мм	c , мм
12	8	50	11,8	11	65	16	28	5	10,5	0,5
14	8,5	71	13,7	13	70				12,5	
16	11	95	15,7	15	14					
18	13	133	17,7	17	16					
20	15	177	19,7	19	18					
22	17	227	21,7	21	20					
25	19	283	24,7	24	23					
28	22	380	27,7	27	80	20	32	8	26	1,0
32	25	491	31,6	31	29,5					
36	28	515	35,6	35	33,5					
40	32	804	39,5	39	90	100			37,5	1,5
45	34	908	44,5	44	42					
50	38	1133	49,5	49	47					
55	42	1385	54,4	54	51					
60	45	1590	59,4	59	115	25	36	12	56	
70	52	2125	69,4	69	66					
80	60	2827	79,2	79	75					
90	70	3848	89,2	89	120	32	40		85	2,0
100	75	4418	99,2	99	94					

Допустимі відхилення:

- розмір $d_{хв}$ кінцевої частини хвостовика, яка сполучається із патроном по $e8$;
- розмір $d_{п}$ проточки для затиску кулачками патрону по $c11$;
- розмір h лиски для орієнтації протяжки та запобігання її повороту по $h11$.

2.4.2. Передня напрямна

Передня напрямна призначена для базування заготовки деталі на протяжці перед початком протягування. Вона забезпечує розташування деталі співвісною до протяжки, внаслідок чого припуск зрізується рівномірно по усьому контуру отвору заготовки. Передня напрямна повинна також виключати перекіс деталі, який може призвести до поломки перших різальних зубців або протяжки в цілому.

Конструктивне оформлення передньої напрямної подано на рис.21. Довжину передньої напрямної $l_{\text{пн}}$ приймають не коротше за діаметр отвору, що підлягає протягуванню. Допуск на діаметр $d_{\text{пн}}$ призначають за IT8 або IT9 з відхиленням по e або d .

Тип 1 приймають у випадку, коли довжина отвору у деталі не перевищує двох її діаметрів, в протилежному випадку застосовують виконання за тип 2. У цьому випадку між двома сторонами передньої напрямної виконують проточку діаметром на 0,5...1 мм менше ніж діаметр самої напрямної. Призначення проточки – запобігти заклинюванню деталі на інструменті у випадку, коли отвір заготовки має пошкодження.

Оформлення за тип 3 застосовують у випадку коли діаметр отвору заготовки значно перевищує діаметр хвостовика що закріплюється у патроні. Це може трапитись коли діаметр патрону верстату значно менший за діаметр протяжки.

Довжину перехідного конуса $l_{\text{пк}}$ приймають у межах 10...25 мм залежно від різниці у діаметрах шийки переднього хвостовика та передньої напрямної. Загалом бокова сторона перехідного конуса повинна бути нахилена відносно його осі на кут 10...20°. Для типу 3 застосовують два центруючі кута $\varphi_1 = 10...20^\circ$ та кут $\varphi_2 = 5...10^\circ$. Зменшений кут φ_2 забезпечує більш плавний перехід від конуса до передньої напрямної.[10,11].

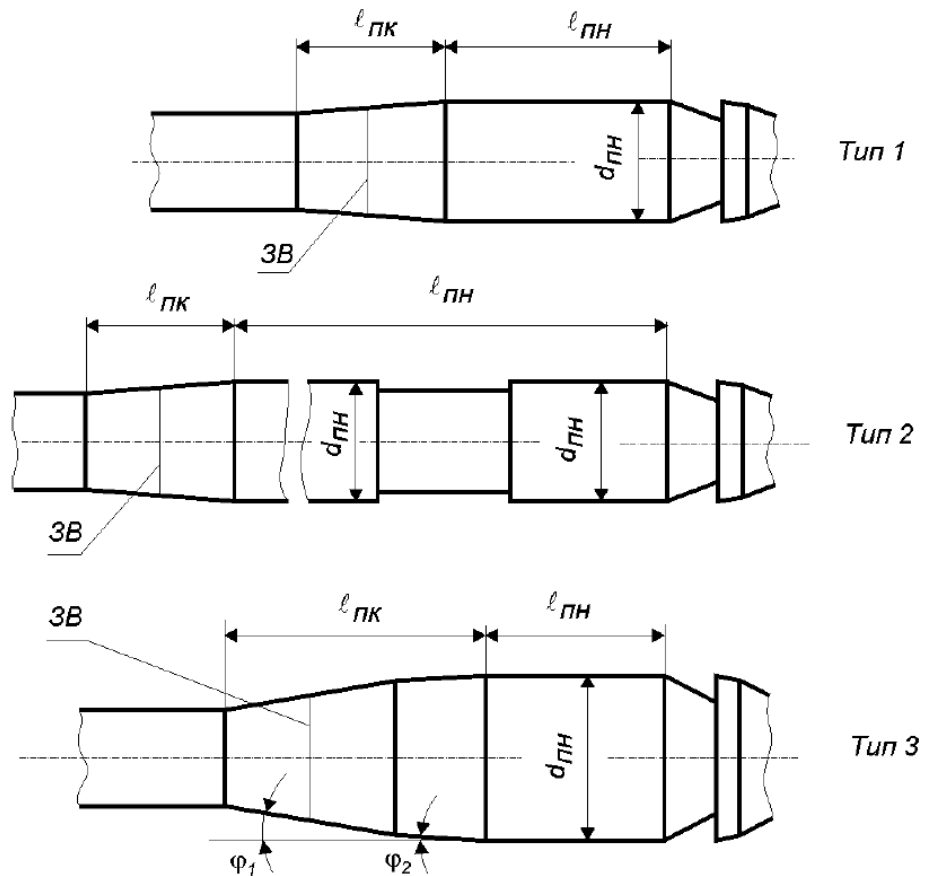


Рисунок 2.14 – Конструктивні елементи передньої напрямної.

2.4.3. Задня напрямна(хвостовик).

Задній хвостовик (рис.2.15) перешкоджає перекосу деталі в момент виходу з неї останніх зубців протяжки, усуваючи небезпеку пошкодження обробленої поверхні та пошкодження зубців інструмента. Задній хвостовик інколи називають задньою напрямною. З метою спрощення виготовлення протяжки, поперечний переріз задньої напрямної виконують круглим, вписаним у протягнутий отвір (рис. 2.15 а).

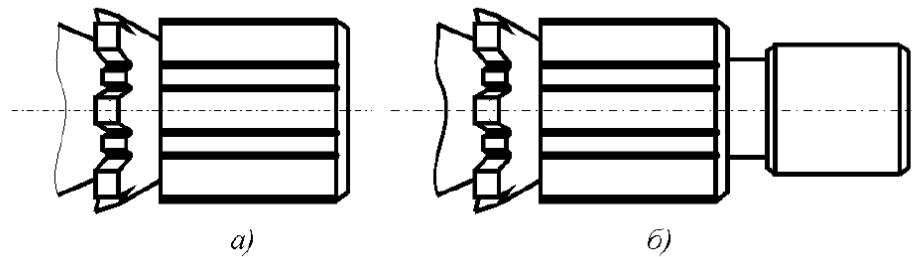


Рисунок.2.15 – Задня напрямна протяжки

Для протяжок великого діаметру та довжини і відповідно великої ваги, якщо вони працюють на горизонтально-протяжних верстатах, за задньою напрямною утворюють опорну цапфу (рис. 2.15б), яка у рухомому люнеті підтримує протяжку щоб вона не провисала. Діаметр опорної цапфи відповідає діаметру отвору люнета, що застосовується.

Форма та розміри задньої напрямної обумовлені її призначенням - вона повинна забезпечити плавний схід обробленої деталі з останнього зубця протяжки без будь яких взаємних перекосів деталі та інструменту[12,13].

Таблиця 2.10 – Довжина задньої напрямної

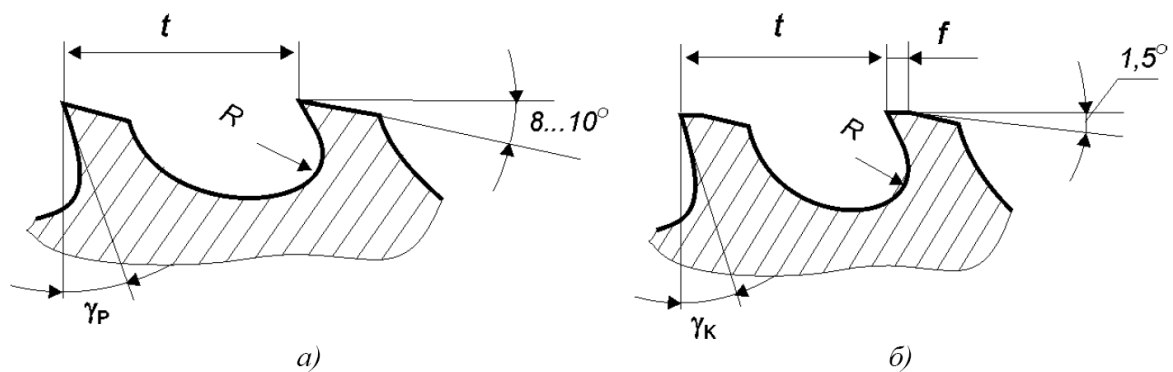
Довжина отвору, мм	< 25	25...30	30...40	40...50	50...70	70...100
Довжина задньої напрямної l_{zn} , мм	20	25	30	35	45	50...65

2.5. Геометрія протяжок

Головною частиною протяжки є різальна частина, тому що саме вона різкує шар металу виділеного, як припуск на оброблення та утворює профіль деталі. Різальна частина складається з зубців, профіль різальних кромek та поперечні розміри яких поступово змінюються. Профіль та розміри першого різального зуба співпадають з профілем та розмірами попереднього отвору у

заготовці під протягування. Останній зуб - з профілем та розмірами готового отвору. Усі проміжні різальні зубці послідовно змінюються у розмірах, внаслідок чого відбувається поступове зрізування припуску. Типовий осьовий переріз різальних зубців показано на рис. 2.16а.

Безпосередньо за секцією різальних зубців розташовані калібрувальні зубці. На відміну від різальних зубців розміри та форма всіх калібрувальних зубців (рис. 23б) однакові і відповідають формі та розмірам готового отвору. Конструктивна різниця між різальними та калібрувальними зубцями полягає в наявності на калібрувальних зубцях стрічки f та зменшеним кроком t .



а) – різальні зубці; б) – калібрувальні зубці

Рисунок 2.16 – Зубці протяжки

Калібрувальні зубці мають два призначення. Перше призначення для загладжування обробленої поверхні та гарантованого отримання отвору певних розмірів. Другим призначенням калібрувальних зубців є поповнення різальних зубців, котрі виходять із роботи в наслідок зміни своїх розмірів після переточування протяжки. Так після перших кількох переточок перший калібрувальний зуб буде виконувати роботу останнього по черзі різального зубу. Далі, по мірі переточування протяжки, у роботу замість різальних зубців будуть входити наступні калібрувальні зубці. Отже, головним призначенням

калібрувальні зубців є забезпечення можливості використання протяжки після її переточування.

Різальна та калібрувальна частини є головними частинами будь-якої протяжки. Інші ж частини, які іноді називають гладкими частинами протяжки, слід розглядати як допоміжні.

Конструкція різальної частини протяжки та її стійкість у значній мірі залежать від прийнятої схеми різання. Під схемою різання при протягуванні мають на увазі схему послідовності зрізання припуску із заготовки різальними зубцями протяжки та характер поступової зміни форми і розмірів поверхні яку обробляють. Схема різання визначає також спосіб розподілення роботи між різальними зубцями протяжки. В теперішній час при протягуванні використовують дві схеми різання: одинарну та групову.

Різальна частина є основною частиною протяжки, яка визначає якість та продуктивність процесу протягування. Під час конструювання протяжок необхідно вибрати величину подачі (підйому) на зуб (або групу зубців), крок зубців та форму канавки для розміщення стружки, яка утворюється під час роботи протяжки. Вибір цих параметрів визначає розміри та кількість зубців, а також працездатність протяжки [3,14].

Головним елементом, який найбільше впливає на всю роботу протяжки є форма та розміри стружкової канавки між зубцями протяжки, які мають суттєвий вплив на її загальну довжину та міцність. Протяжка працює на розрив і стружкова канавка послаблює її.

Визначення подачі на зуб (або підйому зубців) протяжки має визначальний вплив на весь процес протягування. Чим товща стружка, яку зрізує окремий зуб, тим коротша протяжка і тим більша її продуктивність. Але занадто товста стружка, через значні зусилля різання, може спричинити розрив протяжки та поламку верстату. При роботі з великою подачею об'єм канавки може статись замалим для розміщення стружки і навіть коли протяжка не зламається, якість обробленої поверхні буде низька.

Ширина стружки, яку зрізує окремий зуб, є загалом величиною перемінною. Через це у разі постійної (не змінної) величини подачі на зуб площа поперечного перерізу стружки, а також зусилля протягування є перемінними по довжині інструменту. Отже, для рівномірної загрузки верстату та інструменту доцільно змінювати величину подачі на зуб для окремих частин протяжки. Однак це значно ускладнює виготовлення протяжки. Тому зазвичай підйом на зуб роблять постійним для всієї протяжки, а на останніх 2...3 різальних зубах, що розташовані перед калібрувальними трохи зменшують.

Під час вибору величини подачі S_z треба враховувати, що малі товщини зрізаної стружки забезпечують зменшення шорсткості обробленої поверхні та потребують менших зусиль протяжного верстату. У разі вибору великих значень подачі довжина протяжки виявляється коротшою, однак значно підвищуються зусилля різання. Спочатку орієнтовно визначають подачу S_z на зуб для оброблення шліцьового отвору. У випадку, коли відомо тільки вид матеріалу заготовки, величину подачі на зуб S_z призначають за табл.2.11.

Таблиця 2.11 – Подача S_z на зуб узагальнено

Матеріал деталі	S_z , мм
Сталь	0,03...0,08
Чавун	0,04...0,10

У разі коли відомі механічні характеристики матеріалу заготовки величину подачі на зуб S_z призначають за табл.2.11. При проектуванні протяжки величину подачі на зуб можливо приймати як однакову всіх типів зубців (круглі, фаскові, шліцьові), так і різну. Прийнята величина подачі не є остаточною, вона корегується в процесі проектування протяжки.

Не треба застосовувати подачі більші за 0,15 мм під час оброблення сталі та 0,2 мм під час оброблення чавуну, так як у такому випадку різко зростає знос інструменту та погіршується якість обробленої поверхні. У той же час

дуже тонкі стружки менші за 0,012...0,015 мм потребують додаткової доводки різальних кромок під час заточки протяжки та частого переточування інструменту.

Протяжки профільної схеми різання зазвичай мають однакову подачу для всіх зубців за винятком кількох останніх на яких подача поступово зменшується. Ці зубці називають перехідними або зачисними. Вони необхідні для плавного переходу від різальних до калібрувальних зубців, що дозволяє отримати меншу шорсткість обробленої поверхні.

Різний розподіл подачі між окремими зубцями мають протяжки групової схеми різання у яких усі різальні зубці поділяють на чорнові, перехідні та чистові. Чорнові зубці зрізують основний припуск, а перехідні та чистові виконують кінцеве оформлення поверхні деталі. В окремих випадках перехідні зубці можливо не виконувати, застосовуючи тільки чорнові та чистові зубці.

Після визначення величини подачі на зуб s_z розраховують глибину h стружкової канавки, яку приймають однаковою для всіх типів зубців:

$$h = 1,13\sqrt{S_z \cdot L \cdot k}, \quad (2.5)$$

де: k – коефіцієнт заповнення стружкової канавки зрізаною стружкою;
 L – довжина шліцьового отвору.

Зрізана стружка повинна мати можливість вільно розміститись у канавці між зубцями без значного деформування. Загалом вона скручується у виток який повинен вільно розміститись у канавці. Однак через те, що виток стружки займає більший об'єм ніж об'єм зрізаного матеріалу, канавка для стружки повинна бути більшою ніж шар металу перетвореного у стружку. Отже, співвідношення між об'ємом канавки та об'ємом металу, зрізаного окремим зубом, повинно бути більшим за одиницю. Це співвідношення називають

коефіцієнтом заповнення канавки та позначають як k (у деякій літературі як K).

Коефіцієнт k заповнення стружкової канавки залежить від прийнятої величини подачі на зуб s_z та матеріалу заготовки. Його величину можливо визначити за табл.2.12. Наведені у таблиці значенні коефіцієнта k є мінімальними. Коли необхідно забезпечити більш вільне розташування стружки у стружковій канавці значення коефіцієнту k може бути збільшене.

Отримане за значення глибини канавки корегують порівнюючи із допустимою величиною за табл.2.13. Якщо розрахована глибина канавки h перевищує табличне значення $h_{\text{доп}}$ ($h > h_{\text{доп}}$) то її необхідно зменшити та прийняти допустиме табличне значення.

Після цього за табл. 2.14 перевіряють прийняту раніш величину подачі з умови згорнення стружки у стружковій канавці. Під довжиною стружки мають на увазі довжину елемента стружки виміряну по периметру профілю.

Таблиця 2.12– Мінімальні значення коефіцієнту k заповнення канавки

Подача на зуб S_z , мм	Матеріал заготовки				
	Сталь σ_B , МПа (кг/мм ²)			Чавун, бронза	Мідь, алюміній
	до 400 (35)	від 400 до 700 (35...65)	більш 700 (65)		
До 0,03	3,0	2,5	3,0	2,5	2,5
Від 0,03 до 0,07	4,0	3,0	3,5	2,5	3,0
Більш 0,07	4,5	3,5	4,0	2,0	3,5

Таблиця.2.13– Допустима глибина стружкової канавки

Діаметр протяжки, мм	Допустима глибина $h_{\text{доп}}$ стружкової канавки, мм
10...11	2,0
12...13	2,5
14...16	3,0
17...23	4,0
24...29	5,0
30...33	6,0
34...45	7,0
46...54	9,0
> 54	> 10 (не регламентовано)

У випадку коли умова згорнення стружки визначена за табл.2.14 не виконується, необхідно прийняти нову (меншу) величину подачі S_z та повторити розрахунки.

Після визначення глибини h стружкової канавки та подачі на зуб S_z приступають до подальших розрахунків.

Таблиця 2.14 – Найбільша подача S_z з умови згорнення стружки

Довжина стружки, мм	Глибина стружкової канавки, мм				
	3	4	5	6	7
	найбільш допустима подача s_z , мм				
3	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40
$<1,2(D_{\text{зов}})^{1/2}$	0,10	0,15	0,20	0,30	0,30
$>1,5(D_{\text{зов}})^{1/2}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25

Зауваження. Параметр $D_{\text{зов}}$ це найбільший зовнішній діаметр протяжки.

Крок t стружкової канавки різальних зубців усіх типів розраховують за єдиною залежністю:

$$t = (1,25 \dots 1,5) \sqrt{L}, \quad (2.6)$$

де: L – довжина отвору (товщина заготовки).

Чим більше одночасно працюючих зубців, тим менша відстань між ними і тим трудніше розмістити стружку у стружковій канавці. Попередньо кількість одночасно працюючих зубців визначають як:

$$z_p = \frac{L}{t} + 1 \quad (2.7)$$

L – довжина отвору;

t – крок стружкової канавки.

У подальших розрахунках приймають тільки цілу частину отриманого результату. Ця величина не повинна бути менше трьох $z_p \geq 3$. У протилежному випадку необхідно зменшити крок t стружкових канавок між зубцями.

Конструктивні розміри стружкової канавки (рис.2.17) визначають за наступними залежностями:

$$r = (0,5 \dots 0,55)h, \quad q = (0,3 \dots 0,35)t, \quad R = (0,65 \dots 0,8)t. \quad (2.8)$$

Форма зубу та канавок залежить від характеру стружки, що утворюється під час оброблення деталі та її довжини.

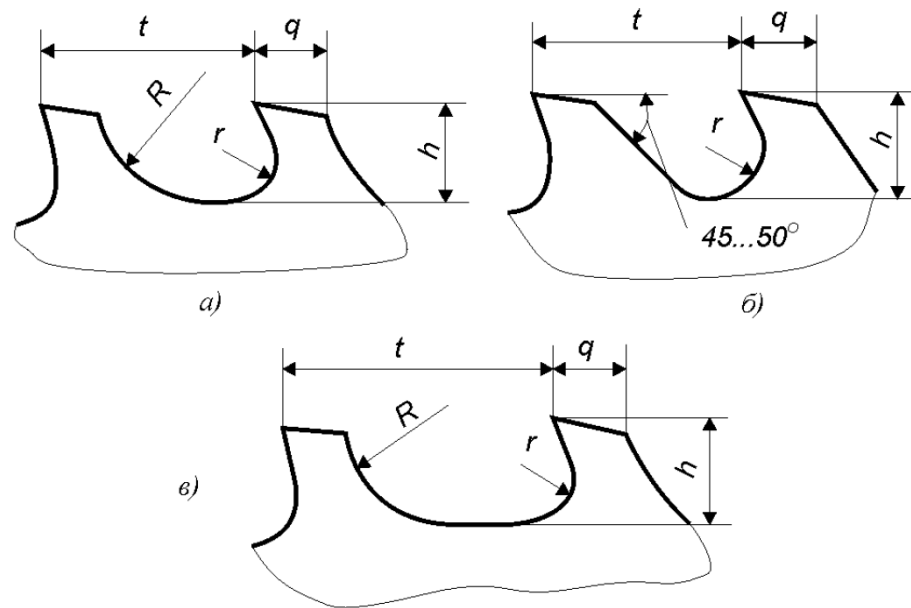


Рисунок 2.17 – Форма зубців та стружкових канавок

Форму канавки за рис. 2.17а застосовують при обробленні пластичних матеріалів, які утворюють м'яку зливну стружку, що не дуже добре згортається у виток та займає значний простір. Така форма канавки послаблює зуб через наявність радіусу R .

Форму за рис. 2.17 б застосовують при обробленні звичайних конструкційних сталей та матеріалів, які утворюють стружку надлому. Така стружка добре поділяється на окремі елементи та досить щільно заповнює канавку між зубцями.

Форму за рис. 2.17 в застосовують при обробленні довгих отворів, коли необхідно розмістити велику кількість стружки. Отримані розміри стружкової канавки уточнюють за табл.16 приймаючи їх параметри, як для основної канавки. Мілку (не глибоку) канавку застосовують у випадку коли зусилля протягування будуть занадто великі і розміри канавки (її глибину) необхідно буде зменшити, щоб збільшити площу поперечного перерізу протяжки. Але це можливо визначити тільки після перевірки протяжки на міцність.

Таблиця 2.15 – Розміри стружкових канавок

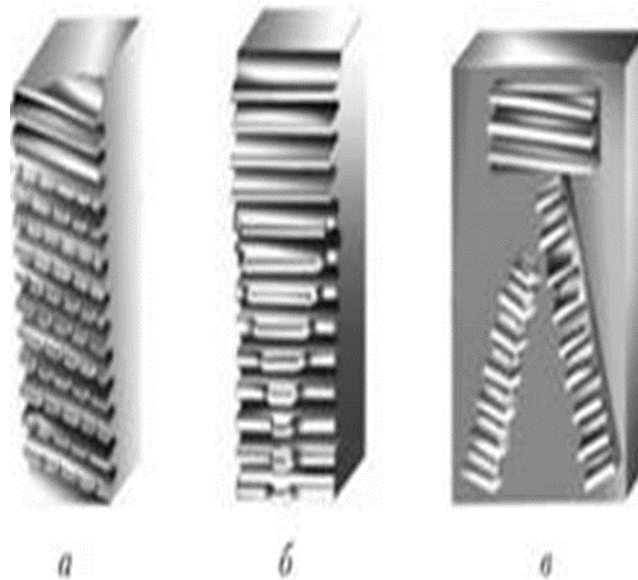
Крок t, мм	Загальні розміри		Основна канавка			Мілка канавка		
	q,мм	R,мм	h,мм	r,мм	F,мм ²	h,мм	r,мм	F,мм ²
4,0	1,5	2,5	2,0	1,0	3,14	1,5	0,8	1,77
4,5	1,5	2,5	2,0	1,0	3,14	1,5	0,8	1,77
5,0	1,5	3,5	2,0	1,0	3,14	1,5	0,8	1,77
5,5	2,0	3,5	2,0	1,0	3,14	1,5	0,8	1,77
6,0	2,0	4,0	2,5	1,3	4,92	2,0	1,0	3,14
6,5	2,0	4,0	2,5	1,3	4,92	2,0	1,0	3,14
7,0	2,5	4,5	3,0	1,5	7,07	2,0	1,0	3,14
7,5	3,0	4,5	3,0	1,5	7,07	2,0	1,0	3,14
8,0	3,0	5,0	3,0	1,5	7,07	2,0	1,0	3,14
8,5	3,0	5,0	3,0	1,5	7,07	2,0	1,0	3,14
9,0	3,0	6,0	3,5	1,8	9,68	2,5	1,3	4,92
9,5	3,0	6,0	3,5	1,8	9,68	2,5	1,3	4,92
10,0	3,0	7,0	4,0	2,0	12,6	3,0	1,5	7,07
11,0	3,0	7,0	4,0	2,0	12,6	3,0	1,5	7,07
12,0	4,0	8,0	5,0	2,5	19,6	3,5	1,8	9,63
13,0	4,0	8,0	5,0	2,5	19,6	3,5	1,8	9,63
14,0	4,0	10,0	5,5	2,8	23,8	4,0	2,0	12,6
15,0	5,0	10,0	5,5	2,8	23,8	4,0	2,0	12,6
16,0	5,0	12,0	6,0	3,0	28,3	4,0	2,0	12,6
18,0	6,0	12,0	7,0	3,5	38,5	5,0	2,5	19,6
20,0	6,0	14,0	8,0	4,0	50,3	5,5	2,8	23,8
22,0	6,0	16,0	9,0	4,5	63,6	6,0	3,0	28,3
24,0	7,0	16,0	9,0	4,5	63,6	6,0	3,0	28,3
25,0	8,0	16,0	10,0	5,0	78,5	7,0	3,5	38,5
26,0	8,0	18,0	10,0	5,0	78,5	7,0	3,5	38,5
28,0	10,0	18,0	12,0	6,0	113,1	8,0	4,0	50,3
30,0	10,0	18,0	12,0	6,0	113,1	8,0	4,0	50,3

2.6. Схема протягування

2.6.1. Одиарна схема різання

Характерною особливістю одинарної схеми різання (табл.16) є те, що кожен різальний зуб протяжки зрізує відносно широкий та тонкий шар металу за рахунок збільшення висоти кожного наступного зуба по відношенню до

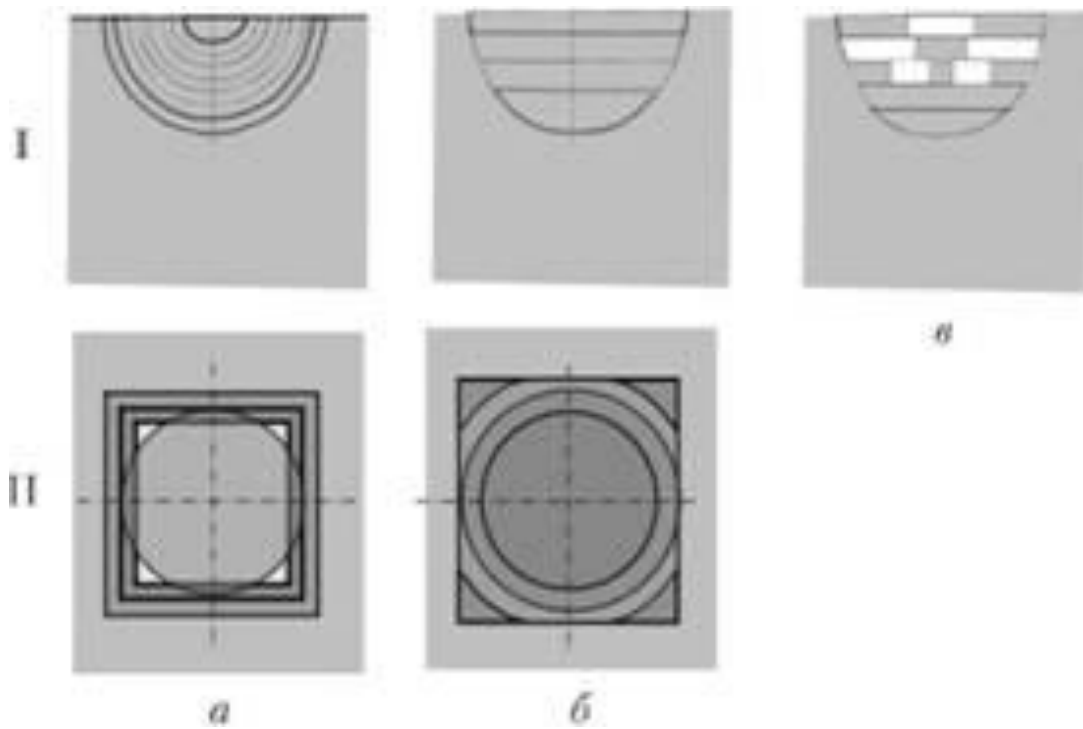
попереднього на величину S_z підйому на кожний зуб. Отже, при одинарній схемі кожний зуб протяжки має підйом на зуб. Він може бути однаковий або різний для різних зубців протяжки, але він є для кожного наступного зуба. Одинарна схема протяжок має такі різновиди: профільну, послідовну та комбіновану [15,19].



a) - звичайні; *б, в)* – прогресивні

Рисунок 2.18 – Схеми плоских протяжок

При профільному протягуванні всі ріжучі зуби протяжки знімають припуск, але не беруть участі в остаточному формуванні поверхні. Остаточну форму, розміри і якість поверхні додає ріжуча кромка останнього зуба (рис. 2.19а). При генераторному протягуванні кожен ріжучий зуб протяжки, зрізуючи припуск, одночасно бере участь у побудові заданої поверхні (рис. 26 б). При прогресивно-груповому протягуванні всі зуби, розподілені по групах (2-3 зуба), знімають шар металу не відразу по всій ширині, а частинами (рис.26 в, рис. 25). Цей вид протягування застосовують при знятті відносно великих припусків.



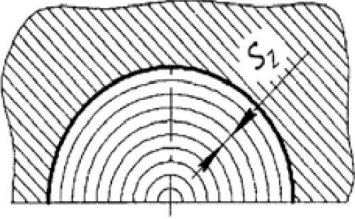
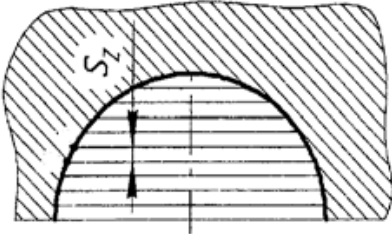
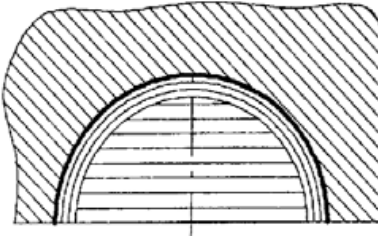
I – зовнішнє; II – внутрішнє; а) – профільна; б) – генераторне;
в) – прогресивне

Рисунок 2.19 – Схема протягування

Профільна схема. При профільній одинарній схемі різання всі різальні зубці протяжки мають форму (профіль) подібну до профілю поперечного перерізу повністю обробленої протягуванням поверхні деталі. Перші різальні зубці протяжки не приймають участі в формуванні остаточного профілю обробленої поверхні і тільки видаляють основну масу припуску на протягування. Остаточне формування профілю деталі здійснюється останнім різальним зубом протяжки. Калібрувальні зубці не зрізують припуск, вони тільки калібрують отвір. Це суттєвий момент у процесі формування поверхні деталі. Калібрувальні зубці не повинні зрізувати матеріал деталі. У протяжок, що працюють за профільною схемою різання кожний зуб виготовляють окремо, адже вони різні за розміром хоча і мають однаковий за формою (саме за формою, а не за розмірами) профіль. Загалом при обробці складних за формою поверхонь одинарна профільна схема різання нерациональна тому, що відтворити з високою точністю складну форму, різну за розмірами для кожного зуба протяжки, досить складно та дорого.

Профільну схему різання використовують лише при обробленні простих поверхонь – площі, циліндрів.

Таблиця 2.16 – Одинарні схеми зрізання припуску

Схема зрізання припуску	Пояснення
	<p>Профільна схема. Кожний зуб протяжки повторює форму профілю поверхні майбутньої деталі і має підйом на величину s_2 відносно до попереднього зуба. Кожний наступний зуб збільшується у розмірі відносно попереднього. Остаточна поверхня деталі повністю утворюється останнім різальним зубом протяжки.</p>
	<p>Послідовна схема (генераторна). Кожен зуб має підйом відносно попереднього, але за своєю формою зубці не повторюють профіль готової деталі. Кожний зуб послідовно генерує окрему частку профілю деталі. Через це дану схему зрізання припуску інколи називають генераторною.</p>
	<p>Комбінована схема. По суті це комбінація двох попередніх схем зрізання припуску. Її перевага в тому, що остаточно поверхня деталі утворюється одним зубом (різальною кромкою) який має повний профіль деталі і тому не залишає на ньому рисок у місці послідовного переходу від зуба до зуба.</p>

Генераторна схема. При виготовленні протяжок, що працюють за послідовною (генераторною) схемою різання, усі зубці протяжки виготовляють одночасним шліфуванням одного профілю на прохід. Далі кожен різальний зуб зрізують по висоті на величину відповідно з прийнятим підйомом s_2 на зуб. Така технологія виготовлення протяжок значно простіша, ніж для протяжок із профільною схемою різання. Тому собівартість протяжок, що виготовлені за послідовною схемою різання, особливо при обробленні

складних за формою поверхонь, значно менша ніж протяжок з профільною схемою різання.

Однак треба зауважити, що при застосуванні протяжок з послідовною (генераторною) схемою різання на обробленій поверхні можуть утворюватись повздовжні риси внаслідок неточного виготовлення протяжки. Тому на виробництві при високих вимогах до якості обробленої поверхні використовують комбіновану схему різання.

Комбінована схема. При комбінованій схемі різання перші різальні зубці працюють за послідовною схемою та видаляють практично весь припуск на обробку. Але останні два-три різальних зубці мають повний профіль з підйомом на зуб s_z , внаслідок чого вони зрізують шар металу по усьому контуру, тобто працюють за профільною схемою різання. Таким чином усуваються повздовжні риси на обробленій поверхні характерні для протяжок з послідовною схемою різання.

Загальним недоліком протяжок виконаних за одинарною схемою різання є їх значна довжина.

2.6.2 Групова схема різання

Протяжки з груповою схемою різання зрізують певний шар припуску товщиною s_z не кожним зубцем, а групою зубців. У таких протяжок усі різальні зубці розділені на групи одного діаметрального розміру. На рис. 27 представлено групу з трьох зубців для тієї частини протяжки яка утворює внутрішню (круглу) поверхню шліцьового отвору.

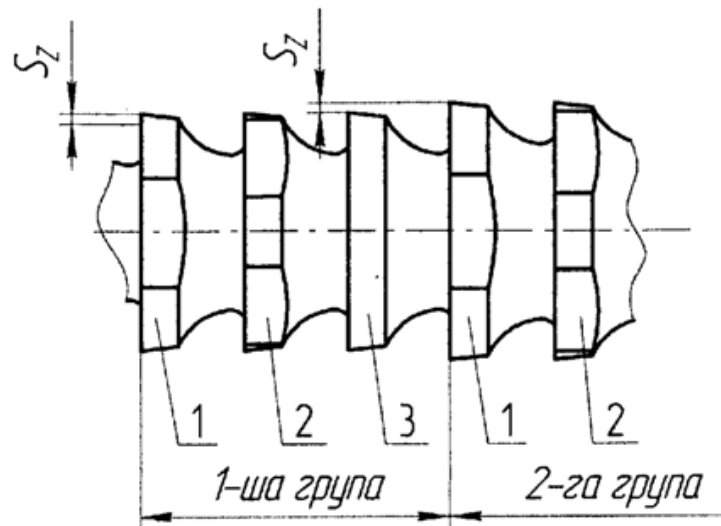


Рисунок 2.20 – Групова схема різання

За своєю формою перші (різальні) зубці (на кресленні 1 та 2) групи мають радіусні викружки розташовані у шаховому порядку. Останній, зачисний зуб 3 є суцільним (круглим). Він не зрізує матеріал деталі. Його призначення тільки зачистити можливі залишки.

Діаметри різальних зубців, які входять в кожну групу (на прикладі 1 та 2) однакові. Діаметри груп, від першої до останньої, поступово збільшуються на певну величину. Тобто у цих протяжок задається підйом не на кожний окремий різальний зуб, а на кілька зубців поєднаних у одну групу.

На прикладі цифрами 1 та 2 позначені різальні зубці однієї групи, які мають однаковий діаметр у своїй групі, але більший на величину s_z від попередньої групи.

Розділення стружки по периметру на зубах групи (крім останнього зубу) досягається за рахунок утворення на них дугових поглиблень - викружок, розміри та кількість яких розраховуються з умови, щоб площа зрізу для кожного зуба даної групи була однаковою. По зовнішньому контуру різальних зубців зроблені фаски радіусної форми, викружки (вони заштриховані). В наслідок цього кожен зуб однієї групи зрізує метал не по всьому профілю (контур) поверхні, що обробляється, а окремими полосами між викружками,

які поділяють весь контур профілю на окремі ділянки. Викружки на зубах розташовані у шаховому порядку.

Останній (третій) зуб групи має суцільну різальну кромку. Однак він не зрізує шар металу по усьому профілю отвору, а лише те, що залишилося не зрізаним попередніми зубцями групи. Діаметр останнього зубу у групі менше діаметра попередніх зубців даної групи на 0,02...0,04 мм.

Це робиться для того, щоб останній зуб групи не зрізав суцільний шар металу по усьому профілю і тим самим не створював би стружку у вигляді цільного кільця, яке буде важко зняти з протяжки. Таке явище може виникати внаслідок зменшення діаметра отвору за рахунок пружних деформацій після проходження перших зубців групи, а також у випадку надмірного зменшення діаметра перших зубців при переточках.

Протяжки з груповою схемою різання мають ряд переваг у порівнянні із протяжками одинарної схеми різання.

Внаслідок того, що різальні зубці протяжок з груповою схемою різання зрізують метал окремими вузькими полосами, їх товщина може бути більшою ніж товщина зрізу при одинарній схемі різання. Це призводить до зменшення сили різання на одиницю довжини різальної кромки. Тому при однаковій площі перерізу зрізаного шару протяжки з груповою схемою різання забезпечують менші зусилля різання. Отже, при однаковій силі різання ними можна зрізати припуск більшої площі. Це дозволяє зменшити кількість різальних зубців та застосовувати протяжки меншої довжини.

При роботі протяжок з груповою схемою різання утворюється хоч і більш товста, але рівномірна, без ребра жорсткості стружка. Така стружка краще згортається у виток і більш щільно укладається у впадині між зубцями. Внаслідок цього можна зменшити крок між різальними зубцями та довжину різальної частини протяжки приблизно на 30% у порівнянні із протяжками одинарної схеми різання.

Вибираючи схему різання при проектуванні протяжки слід враховувати, в першу чергу, технологічність протяжки, можливість забезпечення вимог до

точності та якості оброблено поверхні, а також силові характеристики процесу протягування та верстату[17,18].

2.7. Проектування кінцевої ялинкової протяжки

Протяжка - це дорогий та складний для виготовлення і експлуатації інструмент. Тому під час конструювання намагаються знайти таке рішення, які покращують умови його створення та використання. Це призводить до того, що конструкція протяжки буде визначатися не тільки схемою зрізування припуску та методом утворення поверхні. Звичайно складні поверхні, які утворюються протягуванням, розкладають на прості і для кожної такої складової проєктують окрему секцію зубів.

Протягування здійснюється як правило комплектом що складається :протяжка пазова перша(рис 2,22),протяжка пазова друга(рис.2,23)і протяжка ялинкова попередня(рис 2,24). Кількість протяжок 4шт так як це залежить від геометричних розмірів паза.

В моїй магістерській роботі необхідно буде спроектувати кінцеву ялинкову протяжку, на основі вищевказаного матеріалу про описаний багатолезовий інструмент(протяжка)

Відомо, що схема зрізування шарів металу істотно впливає на конструкцію різальної частини інструменту і на його стійкість. Схема показує, яким чином весь припуск розподіляється між зубами протяжки

При протягуванні зрізування шарів вибираємо групову при якій припуск розподіляється між групами зубів, а в межах групи шар металу товщиною розподіляється по ширині, ніж по одинарній схемі.

Зважаючи на те, що протяжки одинарного різання мають малі підйоми на зуб, вони довші, ніж протяжки групового різання. Крім того, вони мають

меншу стійкість у порівнянні із стійкістю протяжок групового різання внаслідок зношення на вершинах стружко розділювальних канавок, збільшення сили різання при закручуванні стружки за наявності на стружці ребра жорсткості і при зменшенні товщини зрізування.

У кінцевої ялинкової протяжки групового різання усі зуби розділені на групи по два і більше. У результаті збільшення величини підйому на зуб різальні кромки протяжок групового різання зрізують метал на глибині під кіркою, завдяки чому вони краще зберігаються у процесі різання. Зокрема, на них менше діють різні сторонні поверхневі включення.

Практика показала, що вони у середньому виходять коротшими на 30% і мають стійкість у 2 рази більшу, ніж протяжки одинарного різання.

Конструкція протяжок визначається не тільки схемою зрізування шарів, але також і методом утворення поверхонь протягуванням(рис 29).

Вибираємо профільний метод для нашої протяжки так як вона забезпечує високу точність і меншу шорсткість поверхні, чим генераторний метод він можливий тільки для попередніх протяжок.

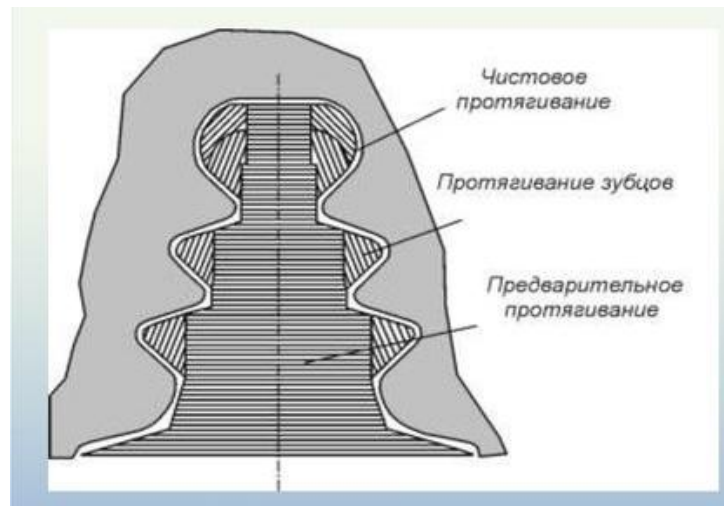


Рисунок 2.21 – Паз при протягуванні комплектом протяжок

Протяжка, як правило, працюють з прямолінійним рухом різання.

Робоча частина складається з чистових(рис.2.25 а) і калібрувальних зубі (рис. 2.25 б).Для запобігання утворенню стружки, що складно видаляється, на зубах виконуємо зниження їх профілю в шаховому порядку.

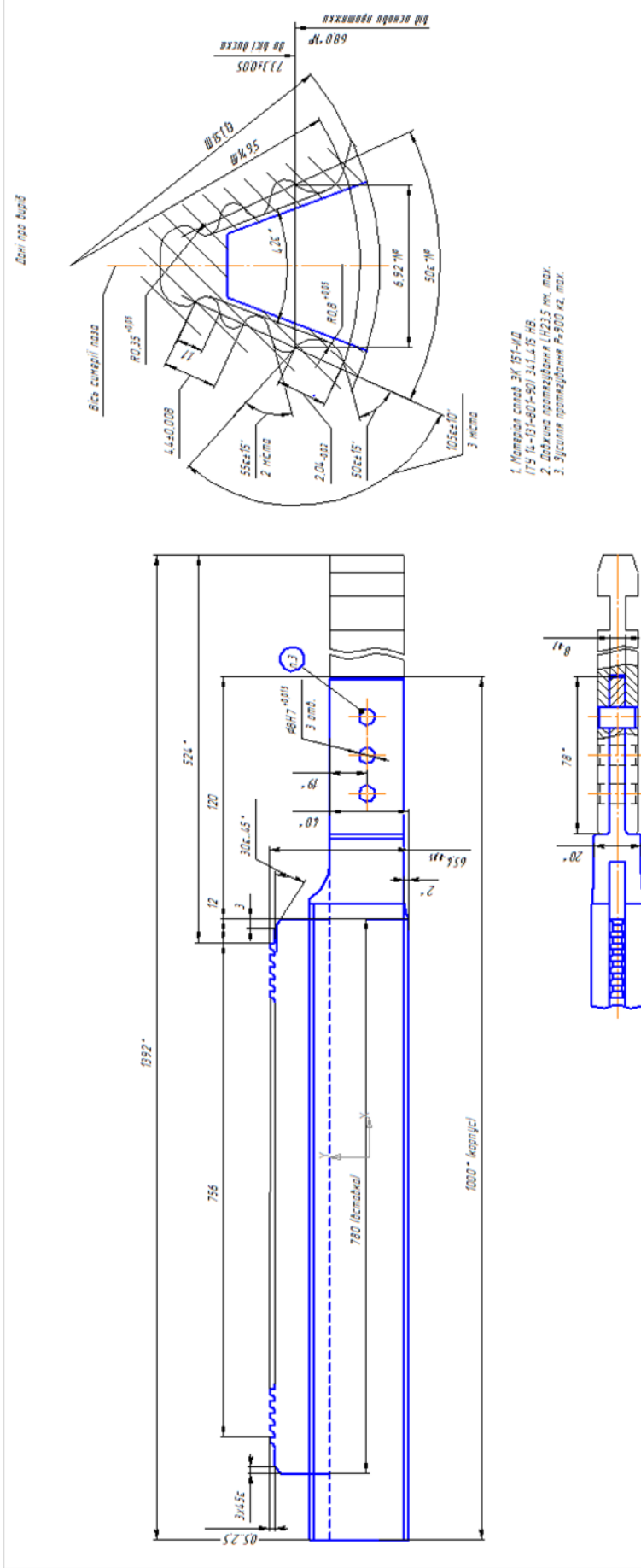
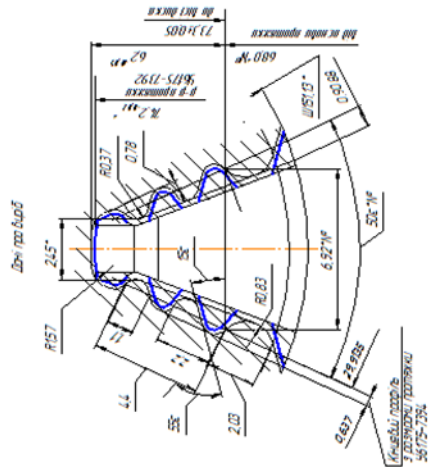


Рисунок 2.22 – Протјрка пазова перша



1. Нарисован вид 2х (D=150)
 2. Вид на вид спереди
 3. Вид на вид сверху
 D=150 мм
 D=150 мм
 D=150 мм

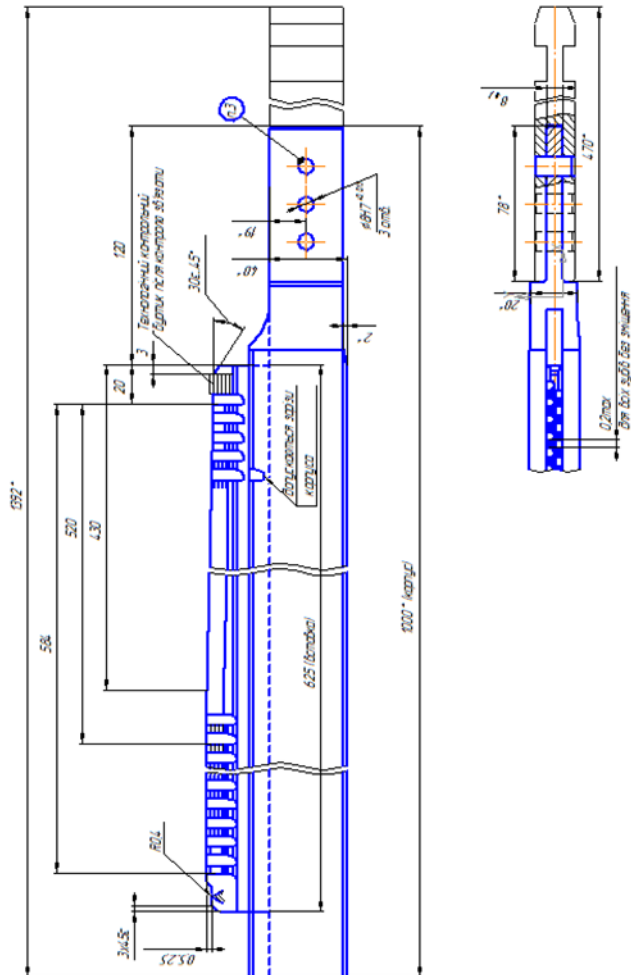
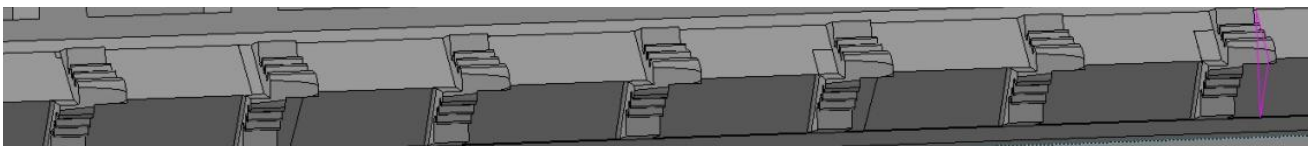


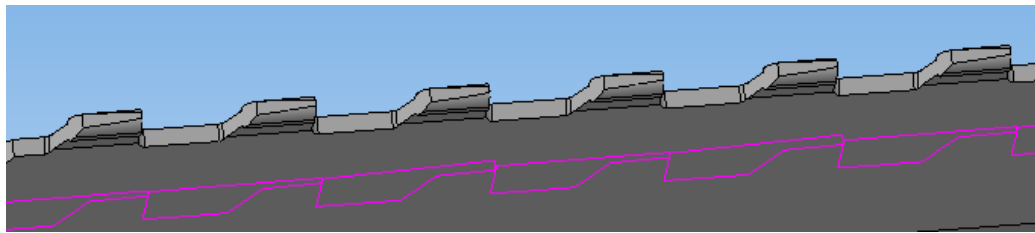
Рисунок 2.24 – Протяжка ялинкова попередня

Допуски на діаметри чистових та калібрувальних зубів складають третину або чверть від допуску на відповідний розмір виробу. Максимальний розмір калібрувальних зубів дорівнює найбільшому граничному розміру обробленої поверхні. Припуск на калібрувальну секцію не призначається. Ці зуби зрізують тільки те, що потрапляє зону різання у результаті пружного відновлення поверхні після проходу чистової секції. Кількість калібрувальних зубів призначають, виходячи із вимог до точності обробленої поверхні:

6-й квалітет – 13 зубів.



а



б

а) – чистові зуби в шаховому порядку; б) – калібрувальні зуби

Рисунок 2.25 – Різальна секція

Корпус протяжки буде передня напрямна (рис. 2.26) забезпечує центрування та напрямок протяжки в момент різання першими різальними зубами.



Рисунок 2.26 – Корпус протяжки

Задня напрямна протяжки(хвостовик)(рис. 2.27) перешкоджає перекосу деталі на протяжці та пошкодженню. Корпус с хвостовиком з'єднаний за допомогою штифтів.

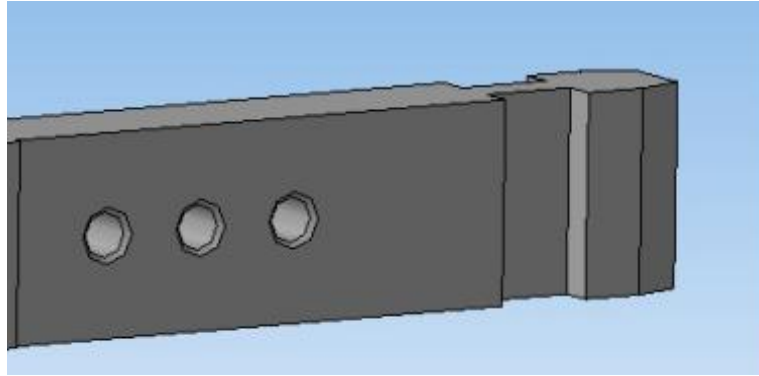


Рисунок 2.27 – Задня напрямна протяжки(хвостовик)

Вибираю складову (збірну) протяжку, а не цільну, з метою економії інструментальної сталі виконуються з двох частин протяжки і корпусу, скріплені між собою. Склеювання інструментів(вставки протяжки швидкорізальної сталі і корпусу із легованої сталі) замість з'єднання деталей інструментів паянням, зварюванням та механічним кріпленням дозволяє скоротити витрату дефіцитних інструментальних матеріалів, знизити брак при виготовленні інструменту із твердого сплаву, спростити складання складного інструменту.

Всі чотири протяжки використовуватися на горизонтальному-протяжному верстаті 7A520(рис.2.28)

У процесі роботи даним інструментом встановлено, що можливість обробити один диск з жароміцної сталі, на якому розташована велика кількість пазів ялинкового профілю. Після протягування одного диска інструментом з матеріалу P18, зношується, не дає необхідну точність, шорсткість поверхні і т.д.

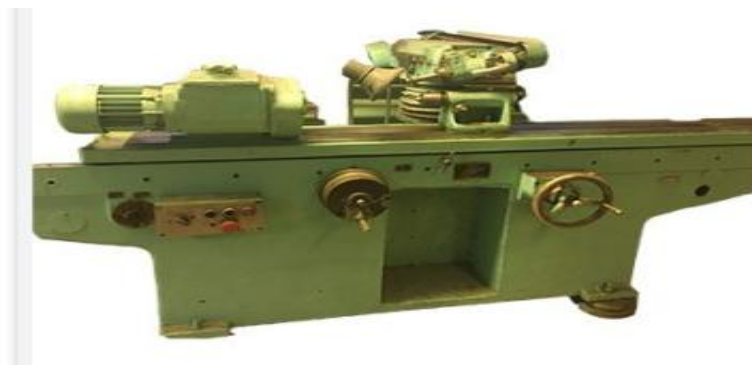
Для відновлення ріжучої здатності інструменту його необхідно переточувати по потиличній передній поверхні(рис. 2.29в), тому що при цьому

зменшення розміру зубів є мінімальним, а також провести повне копіювання всіх конструктивних елементів.



Рисунок 2.28 – Горизонтально-протяжний станок 7A520

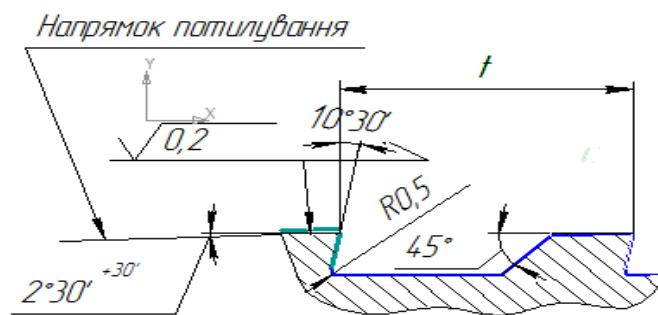
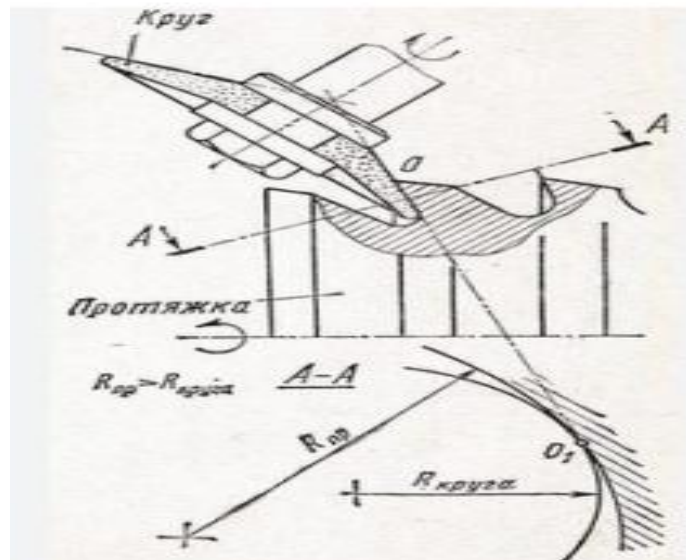
Припуск на повторне заточування дорівнює 0,15 ... 0,2 мм у протяжок чистової обробки і 0,25 ... 0,3 мм у протяжок для чорнової обробки. Протяжка заточують по передніх поверхнях зубів торцем тарілчастого кола 12.150*16*32 25AF60...90СМ1..2К(рис. 2.29б) при зворотно-поступальному переміщенні паралельно ріжучій кромці на заточному верстаті 360М(рис. 2.29а)



а)



б)



в)

а) – заточний верстат 360М; б) – заточка тарілчастим кругом;

в) – потилочна поверхня зуба

Рисунок 2.29 – Схема переточування протяжки

3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА КІНЦЕВОЇ ЯЛИНКОВОЇ ПРОТЯЖКИ

Розроблювана у магістерському дипломному проекті протяжка для протягування ялинкового пазу дозволяє здійснювати зовнішнє протягування замку лопатки за один прохід та отримати складну фасонну поверхню з високою точністю і шорсткістю, а також забезпечує високу продуктивність на відміну від аналогів, які отримують фрезеруванням.

Протягування ялинкового паза складається із чотирьох етапів та виконується чотирма різними протяжками, які вступають в роботу послідовно одна за одною. Протяжка являє собою корпус швелероподібної форми з хвостовиком, до якого кріпиться тяга на протяжному верстаті. Корпус має три ряди отворів з потаями під головку гвинта і два ряди з різьбленням для кріплення протяжок на опорних поверхнях. (на кресленні ми цього не бачимо) Кожна протяжка знімає певний шар, закладений конструктором, та формує поверхню певного профілю. Протяжки кріпляться до касети гвинтами з боку підшви та боків. Під час обробки деталей складного профілю необхідно виконати розрахунок профілю зуба протяжки. Розрахунок виконується аналогічно з розрахунком профілю фасонних різців.

Профіль призматичних та круглих різців у нормальному перерізі не збігається з профілем оброблюваної деталі в осьовій площині. Різниця між нормальними профілями різця та оброблюваної деталі в різних точках фасонного профілю різна і за величиною безперервно збільшується пропорційно до кута $\Sigma = \alpha + \gamma$. Профіль різця розраховують за характерними точками, положення яких визначається радіусами та осьовими розмірами.

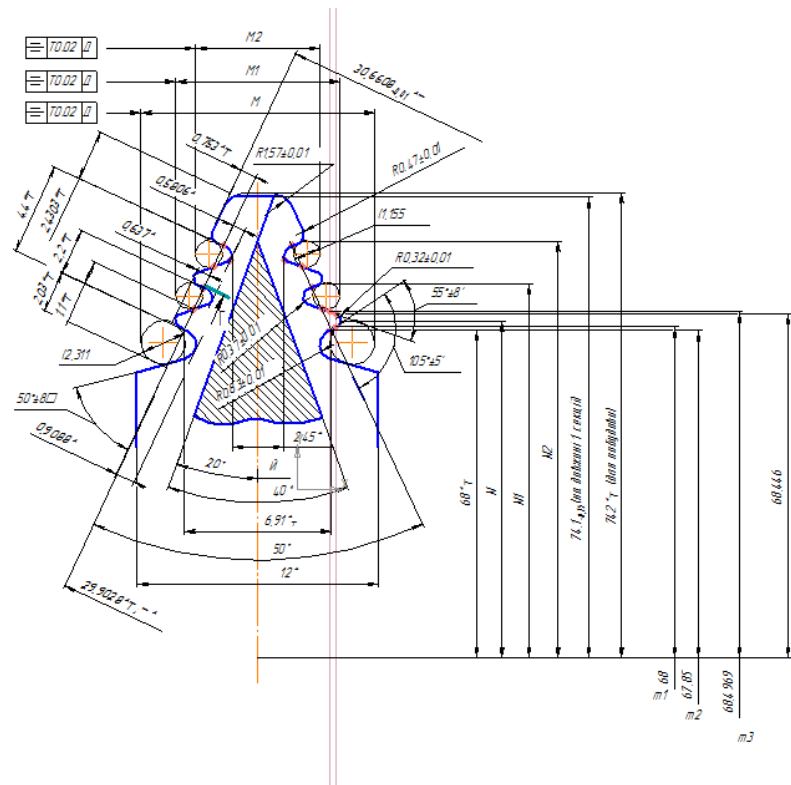


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема визначення профілю зуба протяжки

Координати прямолінійних ділянок профілю визначаються без особливих труднощів методом їх прямого виміру.

Кут профілю кутових ділянок протяжки визначається за формулою згідно рис.3.1

$$\varphi_t = \arctg \frac{l_H}{T} \quad (3.1)$$

Для ділянки 1 – 2:

$$l_{H1-2} = Y_1 - Y_2 \quad (3.2)$$

$$l_{H1-2} = 68,0 - 67,85 = 0,15$$

$$T_{1-2} = X_1 - X_2 \quad (3.3)$$

$$T_{1-2}=2,975-2,501=0,474$$

$$\varphi_{1-2}=\arctg (0,15/0,474)=17^{\circ}56'$$

Для ділянки 3 – 4

$$I_{н3-4}=Y_3-Y \quad (3.4)$$

$$I_{н3-4}=68,4969-68,446=0,0509$$

$$T_{3-4}=X_3-X_4 \quad (3.5)$$

$$T_{3-4}=3,1807-2,251=0,9297$$

$$\varphi_{3-4}=\arctg (0,0509/0,9297)=3^{\circ}13'$$

З достатньою для практики точністю на ділянці профілю різця, що розраховується, проводять відповідним чином підібрану замінювальну дугу кола. Розрахунки виконують в такий спосіб. За початок координат приймають одну з трьох розташованих на криволінійній ділянці профілю різця вузлових точок і визначають координати x_0 і y_0 центру дуги окружності, що замінює, і її радіус за формулами

$$x_0 = \frac{a^2 \cdot y_1 - b^2 \cdot y_2}{c} \quad (3.6)$$

$$y_0 = \frac{a^2 \cdot x_1 - b^2 \cdot x_2}{c} \quad (3.7)$$

$$a^2 = x_2^2 + y_2^2; \quad b^2 = x_1^2 + y_1^2; \quad c = 2(x_2 \cdot y_1 + x_1 \cdot y_2);$$

$$\rho = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$$

Для радіусного переходу 2 – 3

$$x_0 = \frac{0,944^2 \cdot 0,4 - 1,264^2 \cdot 0,992}{1,725} = -0,712$$

$$y_0 = \frac{0,944^2 \cdot 0,529 - 1,264^2 \cdot 0,88}{1,725} = -0,542$$

$$a^2 = 0,4^2 + 0,88^2 = 0,944;$$

$$b^2 = 0,992^2 + 0,529^2 = 1,264;$$

$$c = 2(0,4 \cdot 0,992 + 0,88 \cdot 0,529) = 1,725;$$

$$\rho = \sqrt{(-0,712)^2 + (-0,542)^2} = 0,895$$

Для радіусного переходу 4 – 5:

$$x_0 = \frac{1,172^2 \cdot 0,655 - 0,492^2 \cdot 1,024}{0,972} = 0,671$$

$$y_0 = \frac{1,172^2 \cdot 0,25 - 0,492^2 \cdot 0,351}{0,972} = 0,266$$

$$a^2 = 0,351^2 + 1,024^2 = 1,172;$$

$$b^2 = 0,25^2 + 0,655^2 = 0,492;$$

$$c = 2(0,351 \cdot 0,655 + 0,25 \cdot 1,024) = 0,972;$$

$$\rho = \sqrt{0,671^2 + 0,266^2} = 0,702$$

За наявності заднього кута профіль зуба протяжки необхідно коригувати для отримання заданого профілю деталі. Корекція здійснюється для розмірів, що вимірюються по осі X шляхом множення на постійний коефіцієнт спотворення, який визначається як

$$h = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma} \quad (3.8)$$

$$h = \frac{\cos(5^\circ + 0^\circ 26' 32'')}{\cos 5^\circ} = 0,9993$$

Тоді для похилих ділянок профілю зуба

$$\varphi_{1-2} = \arctg 0,15 / (0,474 \cdot 0,9993) = 17^{\circ}57'' \quad (3.9)$$

$$\varphi_{3-4} = \arctg 0,0509 / (0,9297 \cdot 0,9993) = 3^{\circ}14'' \quad (3.10)$$

Крок ріжучих зубів S і обрис профілю западини слід вибирати з урахуванням обсягу, займаного стружкою в процесі її утворення, а також відповідно до числа одночасно працюючих зубів, яких має бути не менше двох.

Вільне розміщення стружки, що зрізується зубом при протягуванні деталі, є вирішальним фактором при виборі кроку та профілю зубів, а також форми та розмірів западини між сусідніми зубами.

Зазвичай крок ріжучих зубів протяжки визначається за формулою:

$$S = m \cdot \sqrt{L_0} \quad (3.11)$$

де: m – коефіцієнт, дорівнює $1,5 \div 2$;

L_0 – довжина деталі, що протягується в мм.

Для розглядаємого варіанта приймаємо кількість одночасно оброблюємих деталей рівну чотирьом.

$$L_0 = 4 \cdot \frac{B}{\cos \delta} \quad (3.12)$$

де B – ширина оброблюємої деталі, мм;

δ – кут нахилу пазів, що обробляються відносно осі деталі.

$$L_0 = 4 \cdot \frac{22,7}{\cos 15^{\circ}} = 94 \text{ мм.}$$

$$S = 2 \cdot \sqrt{94} = 19,39 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S = 20$ мм.

Ширина задньої поверхні зуба:

$$c=1,25 \cdot h \quad (3.13)$$

де h – висота зуба протяжки мм.

$$c=1,25 \cdot 3,5=4,375 \text{ мм.}$$

Приймаємо $b = 6,0$ мм

Радіус сполучення передньої поверхні:

$$r=0,5 \cdot h=0,5 \cdot 3,5=1,75 \text{ мм.} \quad (3.14)$$

Число ріжучих зубів протяжки Z_p визначається величиною припуску і прийнятою товщиною шару, що зрізується, а на один зуб:

$$z_p = \frac{A_0}{a} \quad (3.15)$$

$$Z_p=0,19/0,05=4$$

Кількість одночасно працюючих зубів залежить від довжини оброблюємої деталі L_0 та шагу S

$$Z \geq 18,5/20=1$$

Довжина ріжучої частини протяжки l дорівнює:

$$l = S \cdot Z_p, \quad (3.16)$$

де S – крок ріжучих зубів у мм,

Z_p – кількість ріжучих зубів.

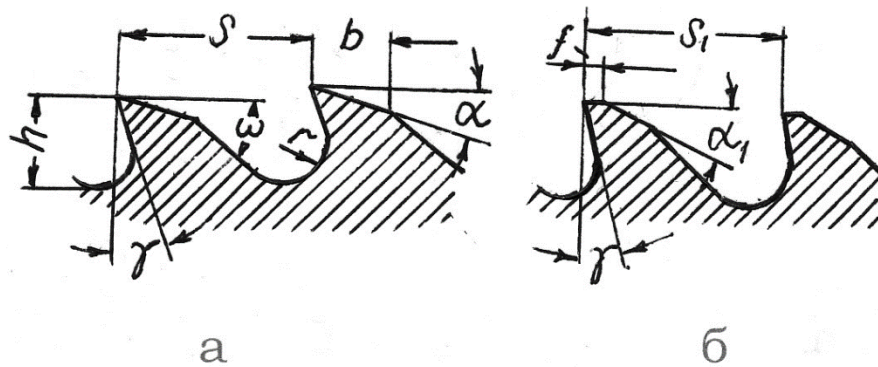
Зуби, що калібрують відрізняються від ріжучих меншим кроком і стрічкою. Крок зубів менший, оскільки не відбувається великих зніманих металу і достатня невелика западина для стружки, співвідношення до кроку ріжучих зубів S дорівнює:

$$S_k = (0,5 \div 0,6) \cdot S \geq 5 \text{ мм.}$$

$$S_k = (0,5 \div 0,6) \cdot 20 = 10 \div 12 \geq 5$$

Стрічку (фаску) f без заднього кута роблять для збереження розміру зуба при переточках по передній грані, а також забезпечує кращий напрямок протяжки в роботі. Ширина стрічки f робиться змінною по довжині протяжки, поступово збільшуючи від 0,2 мм на першому зубі до 0,8 мм на останньому, що забезпечує поступовий перехід калібруючих зубів в ріжучі при переточування протяжки по передній грані.

З огляду на складну форму зуба. Крок і профіль зубців, що калібрують, виконуємо аналогічними різальним, згідно рис.3.2, рис.3.3, рис.3.4.



а) – ріжучих; б) – калібруючих

Рисунок 3.2 – Профілі зубів

Передній кут вибирається в залежності від характеру оброблюваного матеріалу в межах $0 \div 18^\circ$ при обробці жароміцного сплаву, передній кут вибираю рівний $3^\circ 46'$. Задній кут α слід вибрати з урахуванням тертя та зношування з боку задньої поверхні зубів протяжки, а також з урахуванням зменшення розміру зуба в поперечному перерізі.

Для зменшення тертя та інтенсивності зносу з боку задньої поверхні слід прагнути збільшення заднього кута, але це призводить до зниження міцності зубів протяжки. На вибір кута впливає також величина шару, що знімається, розглядається мною протяжка є остаточною і вона працює як зачищаюча при

цьому проводить знімання малих припусків що призводить до збільшення концентрації напруг в оброблюваному матеріалі, яка в результаті призводить до збільшення зносу по задній поверхні. З цієї точки зору доцільно задній кут α збільшити до 2° . Однак такі великі задні кути у

протяжок для обробки внутрішніх поверхонь приводять до швидкої втрати розміру профілю при переточці по передній поверхні і протяжки швидко виходять з ладу. У таких випадках рекомендується кут $\alpha \leq 2^\circ 30'$ але цей кут призводить до великого тертя, отже, погіршення чистоти поверхні обробленої деталі. У цих випадках задній кут доводиться збільшувати до $\alpha = 4-5^\circ$. Приймаю $\alpha = 4^\circ 30'$

Для запобігання утворенню стружки, що складно видаляється, на зубах виконуємо зниження їх профілю в шаховому порядку.

Усі спеціальні протяжки, згідно рис 3.5 необхідно перевіряти на міцність на розтяг за формулою

$$[\sigma_B] \geq \frac{P_z}{F_0}, \text{ МПа} \quad (3.17)$$

Для протяжок із швидкорізальних сталей $[\sigma_B]$ - 250 ... 300 МПа; P_0 - осьове зусилля, що виникає при різанні, Н; F_0 - площа небезпечного перерізу протяжки, мм^2 (зазвичай це площа перерізу дном канавки 1-го і 2-го зубів ріжучої частини протяжки).

Осьова сила різання, Н, що діє на протяжку, визначається із залежності:

$$P_0 = q_0 \cdot \sum l_p \cdot k_p \quad (3.18)$$

$$P_0 = 380 \cdot 39,75 \cdot 0,32 = 4833,6 \text{ Н}$$

де $q_0 = 380 \text{ Н/мм}$ - осьова сила, що припадає на 1 мм довжини різального леза;

l_p - сумарна довжина ріжучих кромки, що беруть участь у різанні, мм;

Для остаточної правої протяжки, згідно з кресленням

$$l_p = ((58-48))/(\sin 25^\circ) + (68-58) + ((70,5-68))/(\sin 25^\circ) = 39,75 \text{ мм}$$

k_p - коефіцієнт умов обробки, рівний

$$k_p = k_{p.M} \cdot k_{p.0} \cdot k_{p.p} \cdot k_{p.K} = 0,4 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,32$$

де $k_{p.M} = 0,4$ - коефіцієнт, що враховує вплив оброблюваного матеріалу, для металу в відпаленому стані $k_{p.M} = 0,4$;

$k_{p.0} = 1$ - коефіцієнт, що враховує вид СОЖ,

$k_{p.p}$ - коефіцієнт, що враховує спосіб поділу стружки (без викружки),

$k_{p.p} = 0,8$;

$k_{p.K}$ - коефіцієнт, що враховує якість обробленої поверхні, для титану

$k_{p.K} = 1$;

Мінімальна площа поперечного перерізу протяжки:

$$F_0^{\min} \geq \frac{P_z}{[\sigma_d]} \quad (3.19)$$

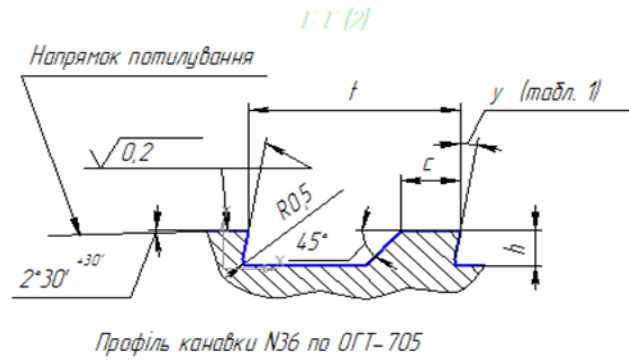
$$F_0^{\min} \geq \frac{16917,6}{300} = 56,39 \text{ мм}$$

Враховуючи, що площа поперечного перерізу прямокутника визначається формулою $F = a \cdot b$, при ширині ріжучої вставки $b = 15 \text{ мм}$, мінімальна відстань від опорної площини до дна стружкової канавки по першому зубу

$$a = \frac{F_0^{\min}}{b} \quad (3.20)$$

$$a = \frac{56,39}{15} = 3,8 \text{ мм}$$

На відстані від опорної площини до дна стружкової канавки по першому зубу $a = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ мм}$ міцність протяжки забезпечується.



Таблиця 1 У міліметрах

N секції	1	2
N зубів	1.. по 9	від 9..19 для усіх
h	2,1+0,2 (шлиць 2)	3,5
t	20	27
c	6	N5,5

Рисунок 3.3 – Профіль канавки

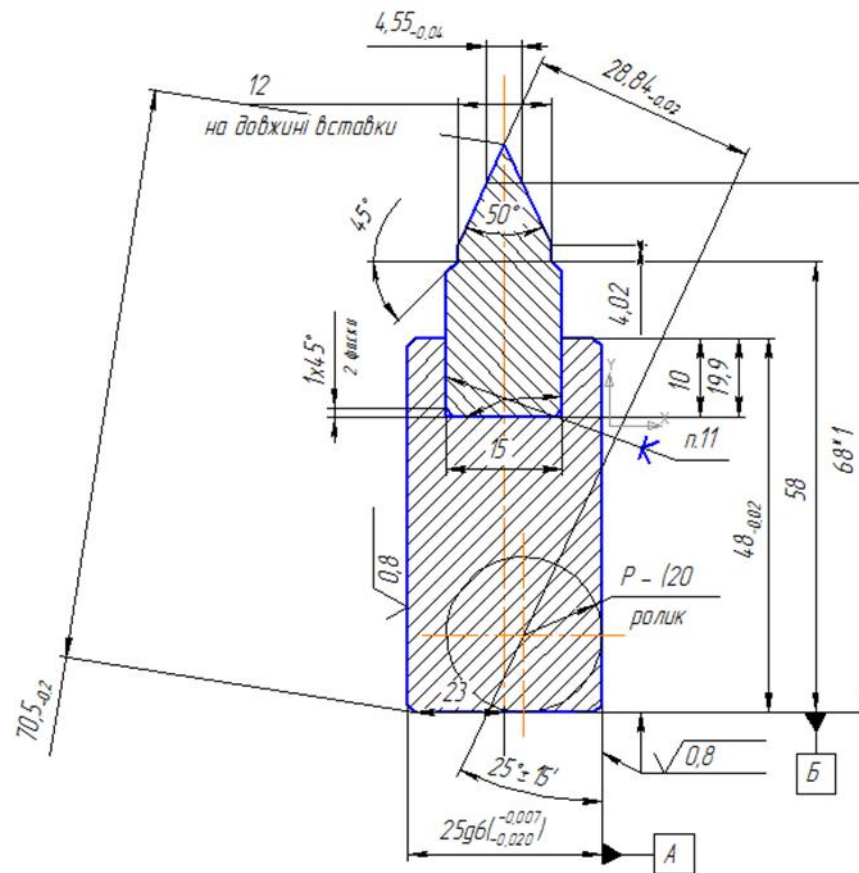


Рисунок 3.4 – Переріз зуба

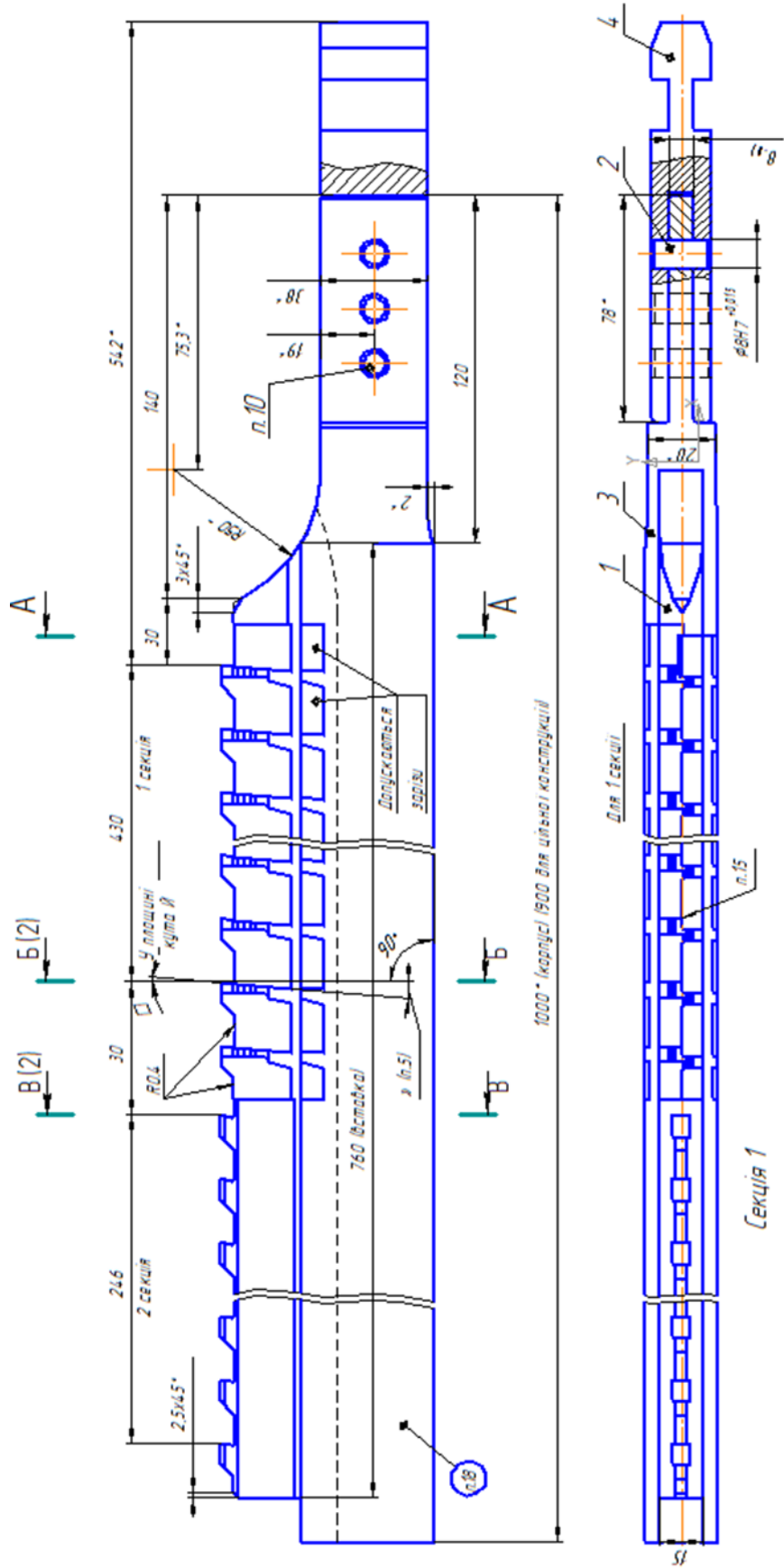


Рисунок 3.5 – Профіль протяжки

4 ВИГОТОВЛЕННЯ ЯЛИНКОВОЇ ПРОТЯЖКИ

4.1 Вибір металу

Одним з головних умов високопродуктивної роботи ріжучого інструменту є правильний вибір матеріалу для його виготовлення. Більшість різальних інструментів виготовляються із інструментальних сталей. Залежно від хімічного складу інструментальні сталі підрозділяють на вуглецеві, леговані і швидкорізальні. У холодному стані, ці сталі розрізняються по твердості незначно. Основна їх відмінність - різна теплостійкість.

Вуглецеві сталі. Зміст вуглецю в них становить 0,6-1,4%.

Через відсутність легуючих елементів вуглецеві сталі мають гарну технологічність і є дешевим інструментальним матеріалом. Недоліком вуглецевих сталей є низька теплостійкість (200-250 ° С). При більш високих температурах нагріву в результаті структурних перетворень твердість вуглецевих сталей знижується і інструмент втрачає свої ріжучі властивості.

Вуглецеві інструментальні сталі застосовують для виготовлення слюсарно-монтажних і ручних ріжучих інструментів, що працюють при малих швидкостях різання: зубил, викруток, ножиць, пилок, ножівок, розгорток, мітчиків, плашок, і т.п.

Передбачено випуск двох груп інструментальних вуглецевих сталей (ГОСТ 1435-74): якісні сталі (наприклад, У7, У13) і високоякісні сталі (наприклад, У7А, У13А). Цифра позначає зміст в сталі вуглецю в десятих частках відсотка (0,7-1,3%).

Леговані сталі. Це вуглецеві сталі, леговані хромом (Х), вольфрамом (В), ванадієм (Ф), кремнієм (С) і іншими елементами. Хром забезпечує глибоку прокалюємість і підвищує твердість; вольфрам сприяє підвищенню теплостійкості і зносостійкості; ванадій створює найбільш тверді і стійкі карбіди і сприяє отриманню дрібнозернистої структури. Теплостійкість 250-350 ° С.

Найбільшого поширення набули сталі X, ХВГ, 9ХС, ХВСГ, В1 і ін. З легованих сталей виготовляють мітчики, плашки, протягання, розгорнення, фасонні різці та інший інструмент, який працює при невисоких швидкостях різання.

Швидкорізальної сталі. Основним легуючим елементом в них є вольфрам (6-18%), а також ванадій, хром, кобальт, молібден. Сталь має високу твердість, теплостійкість (до 650 ° С), зносостійкість, опірність пластичного деформації і хорошу прокалюємість. Швидкорізальної сталі позначають буквою Р; наступна за нею цифра вказує середній вміст вольфраму в відсотках. Сталі, що містять кобальт, молібден, ванадій, мають у маркуванні відповідно літери К, М, Ф і цифри, що показують їх середня кількість у відсотках. Зміст хрому (близько 4%) і вуглецю (0,7-1,5%) в марках не вказуються. Наприклад, Р6М5, Р9Ф5, Р18К5Ф2 і ін. З сталей нормальної продуктивності Р9, Р18, Р6М5 виготовляють різці, фрези, свердла, зенкери, розгортки, зуборізні інструменти, а з швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності, наприклад Р9К5, Р18Ф2, Р9Ф5, Р18К5Ф2 - аналогічні інструменти для обробки, жароміцних і титанових сплавів, корозійностійких і інших важкооброблюваних матеріалів. Для економії дорогих матеріалів з швидкорізальних сталей виготовляють стандартні пластини, які приварюють, припаюють або кріплять механічно до корпусних або кріпильний-приєднувальних частини.

Для економії затрат на метал вставку вибираю сталь Р18 (рис 43), корпус с хвостовиком 40Х (рис 44). Марка сталі Р18 відноситься до швидкорізального класу з нормальною продуктивністю. До її складу входить 18% вольфраму, що забезпечує покращення технічних якостей: підвищення твердості до НРС 62-65, червоностійкості до 600 градусів, міцності. Леза з цих сплавів мають високу твердість, їх не потрібно часто заточувати. З недоліків можна назвати високу вартість виробів.

Сталь 40Х вона представлена леговою структурою, яка здатна витримувати несуттєвий вплив вологи та деяких хімічних речовин. Сталь 40Х,

характеристики якої можуть бути покращені під час проведення термічної обробки.

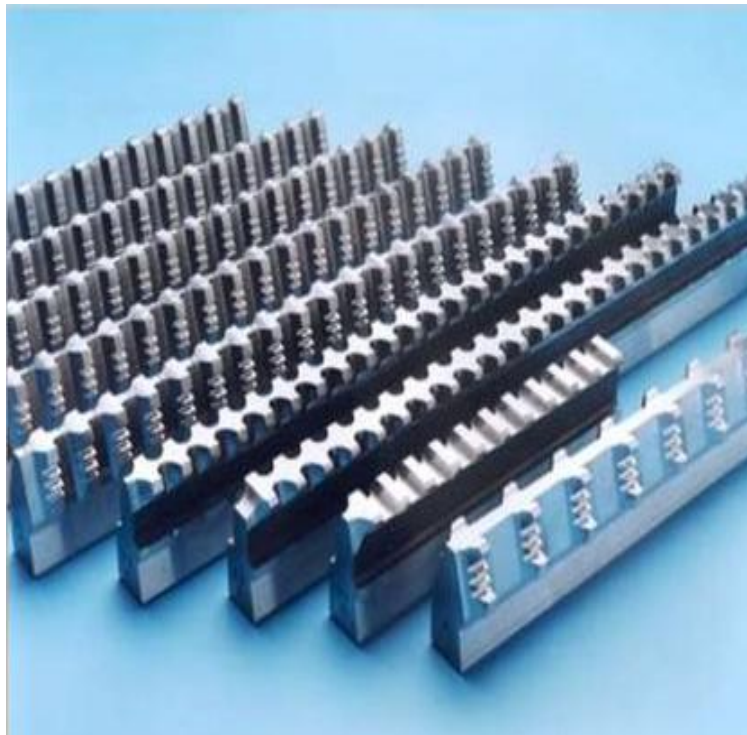


Рисунок 4.1–Вставки для протягування пазів типа «ялінка» з металу P18



Рисунок 4.2–Корпус с хвостовиком

4.2 Характеристика існуючого обладнання та аналіз його можливостей

Перед складанням маршруту обробки ялинкової кінцевої протяжки (рис 45) необхідно врахувати тип обладнання, на якому буде здійснюватися виробництво і його можливості. Для того щоб виготовити протяжку необхідно цілий маршрутний технологічний процес : токарні, фрезерні та шліфувальні операції. Виберемо шліфувальну операцію по виготовленню різальної частини протяжки.

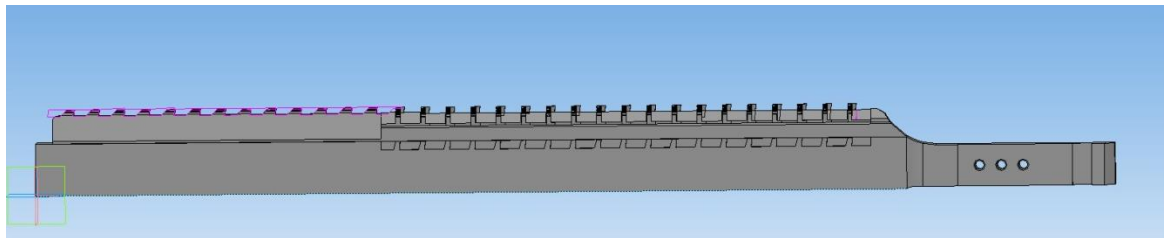


Рисунок 4.3 – 3D модель ялинкової кінцевої протяжки

Вибираємо шліфувальний заточний верстат з ЧПК виробника Schneeburge (Швейцарія). Шліфувальний 6-осьовий верстат з ЧПК Corvus BVA 1700 з продуманим, привабливим дизайном є лідером серед верстатів для шліфування протяжок. Він є результатом багаторічної співпраці з виробниками протяжного інструменту з усього світу. Шліфування протяжного інструменту з ЧПК можливе за один затискач: шліфування жолобків, спіральних жолобків, профілю, спірального профілю, кута зазору, фасок, циліндричне шліфування або шліфування поверхні, і все це з високою точністю. Повна обробка зовнішніх та торцевих поверхонь, довжина різку до 2800 мм, діаметр до 400 мм, максимальна довжина заготовки, що затискається 3500 мм. Завдяки столу з T-подібними пазами верстат може приймати стійкі упори, задні бабки та магнітні патрони.

Ймовірно, наступні протяжні інструменти та протяжні голки в усьому світі заточуються на верстаті Corvus ВВА(рис.4.4,таблиця 4.1).

Інструмент для внутрішньої протяжки: Профільний протяжний інструмент, круглий, багатокутний, прямокутний, шестикутний, шпонковий паз, паз під перо.

Інструмент для зовнішнього протягування:

- Плоский протяжний інструмент, увігнутий інструмент;
- Інструмент для жорсткої протяжки;
- Великий інструмент;
- Турбінний інструмент;
- Інструмент для спірального рифлення;
- Протяжна голка для спірального протягування;
- Протяжна голка для жорсткого протягування;
- Протяжні голки для зубчастих рейок;
- Нестандартні інструменти для протягування;

Завдяки моменту, що крутить, по осі А до 1250 Нм можна виготовляти або перешліфувати інструменти вагою до 1500 кг. Виробники трансмісій цінують універсальність цього верстата при перешліфуванні зуборізних інструментів, таких як зубчасті колеса та фрези-формувачі.

Приладдя для індивідуального розширення спектру застосування та підвищення продуктивності:

- Вимірювальна система по всіх осях;
- Лінійні двигуни по всіх осях;
- Двигун із прямим приводом для завдань круглого шліфування з крутним моментом до 1250 Нм;
- Пристрій редагування для редагування профілів;
- Ручна або гідравлічна задня бабка.

ХАРАКТЕРИСТИКИ CORVUS BBA 1700:

Тип управління – ЧПК;

Інші характеристики – 6 осей;

Швидкість обертання шпинделя –min: 1 000 rpm (6 283 rad.min-1)

max: 18 000 rpm (113 097 rad.min-1)

Потужність –14 kW, 18 kW (19,03 hp)

Хід X1700 мм (49 in);

Хід Y300 мм (16 in);

Габаритні розміри: 3900мм×2950мм×2600мм.



Рисунок 4.4– Характеристика верстата Corvus BBA 1700

Таблиця 4.1 – Характеристика верстата Corvus

CORVUSgds, bba, bpp, c360, c500						
Оси						
Поздовжнє переміщення X	gds	мм	650	1100	1700	3000
	bba, bpp, c360, c500	мм	-	1100	1700	3000
Поперечне переміщення Y	gds	мм	300	300		
	bba, bpp, c360, c500	мм	-	300		
Вертикальне переміщення Z	gds	мм	300	300		
	bba, bpp, c360, c500	мм	-	300		
Вертикальне кочення W	gds, bba, c360, c500	мм	-	-	-	-
	bpp	мм	-	100		

Кінець таблиці 4.1

Обертання деталі А	gds, bba, bpp, c360	гра д.	вільний	вільний		
Обертання шпинделя С	gds, bpp, c360, c500	гра д.	240	240		
	bba		-	325		
Поворот шпинделя В	bba	гра д.	-	220		
Бабка верстата						
Посадковий конус	gds, bba, bpp, c360		ISO 50			
Шпиндель						
Потужність приводу	gds	кВт.	15. 26*			
	bba, bpp	кВт.	-	14		
	c360	кВт.	-	26		
	c500	кВт.	-	40		
Подвійний шпиндель	gds		HSK 50, 80	HSK 50, 80		
	bba, bpp		-	HSK 50		
	c360		-	HSK 80		
	c500		-	HSK 100		
Кількість обертів	gds, bpp, c360	1/ХВ ..	10000	10000		
	bba	1/ХВ ..	-	18000		
	c500	1/ХВ ..	-	6000		
Діаметр шліфувального кола	gds, bba	мм	50-250	50-250		
	bpp	мм	-	50-200		
	c360	мм	-	до 360		
	c500	мм	-	до 500		
Вага	gds	кг.	11000	1250 0	1650 0	1950 0
	bba, bpp, c360, c500	кг.	-	1400 0	1800 0	2100 0

4.3 Вибір інструменту другого порядку

Для обробки зубців ялинкової кінцевої протяжки на верстаті Corvus BVA 1700, необхідно підібрати інструмент, щоб обробити матеріал швидкорізальної сталі P18

У якості різального інструменту для виготовлення зубів ріжучої частини обираємо, шліфувальні круги компанії Нортон (Norton) яка займає передові місця у галузі виробництва абразивних матеріалів, пропонуючи конструктивно складні абразивні рішення, що додають цінність.

Абразивні круги NORTON (таблиця 4.2) забезпечують швидке та холодне різання, не забивають абразив, що збільшує термін служби продукту та дає перевагу над аналогічними продуктами над другими брендами, що є у продажу.

Переваги абразивних кругів:

- швидка ріжуча здатність;
- краще продуктивність;
- зносостійкий матеріал;
- висока стійкість до забивання абразиву;

Розміри кола: 100x30x20

Тип круга: TYPE 01 – прямий профіль

Абразивний матеріал: IPX120E13VCF5 – якісний напівкрихкий оксид алюмінію високої якості.

Тип оброблюваного матеріалу: призначений для прецизійного шліфування сталі, особливо твердих сталей і сталей чутливих до прижогів, наприклад, швидкорізальна сталь. Це зерно використовувалося протягом тривалого часу для шліфування та заточування інструментів з швидкорізальної сталі.

Особливості: тендітне абразивне зерно, що має високу здатність до самозаточування, максимальна швидкість 45 m/s

Правлячі профільні ролики Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge GmbH (таблиця 4.2) мають профіль, ідентичний профілю оброблюваної деталі, і відтворюють його на робочій поверхні шліфувального кола методом врізування.

Оскільки точність профілю деталі та якість обробленої поверхні залежать головним чином від застосовуваного ролика, дуже важливо підібрати правильний тип алмазу, розмір зерен та характер їх розміщення на поверхні. У другу чергу враховують вплив на якість обробленої поверхні таких факторів як швидкість ролика, напрямок обертання та поперечна подача.

Таблиця 4.2–Технологічне оснащення для виготовлення деталі

Перехід	Оснащення	
<p data-bbox="300 862 451 898">Операція</p> <p data-bbox="253 936 497 972">Нарізання зуба</p>  		
	<p data-bbox="539 1413 1066 1496">Абразивний шліфувальний круг правлячий круг</p> <p data-bbox="539 1534 1007 1617">1.100*30*20IPX120E13VCF5 R0,15W20-20-12</p> <p data-bbox="539 1659 1007 1742">Виробництво «NORTON» Виробництво «DR. KAISER»</p>	<p data-bbox="1278 1413 1449 1449">Алмазний</p> <p data-bbox="1278 1534 1453 1570">NC21-125-</p>

5 РОЗРОБКА І ОПТИМІЗАЦІЯ КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

У рамках завдання до виконаної магістерської роботи було обов'язковим створення керуючих програм для верстатів з ЧПК шліфувальної групи. Програмування верстат здійснювалось за допомогою програмного забезпечення Quinto Action Manager Schneeberge (Швейцарія).

Керуюча програма для верстатів з ЧПК Corvus ВВА1700 (рис5.1) - невід'ємна складова верстатного обладнання з числовим програмним керуванням. Вона служить контролю над верстатом і забезпечує автономний чи напів автономний процес обробки заготовок. Завдяки їй існує можливість з високою точністю робити якісні деталі складної форми без технологічних помилок. Для розробки програм, що управляють, потрібні спеціальні навички.

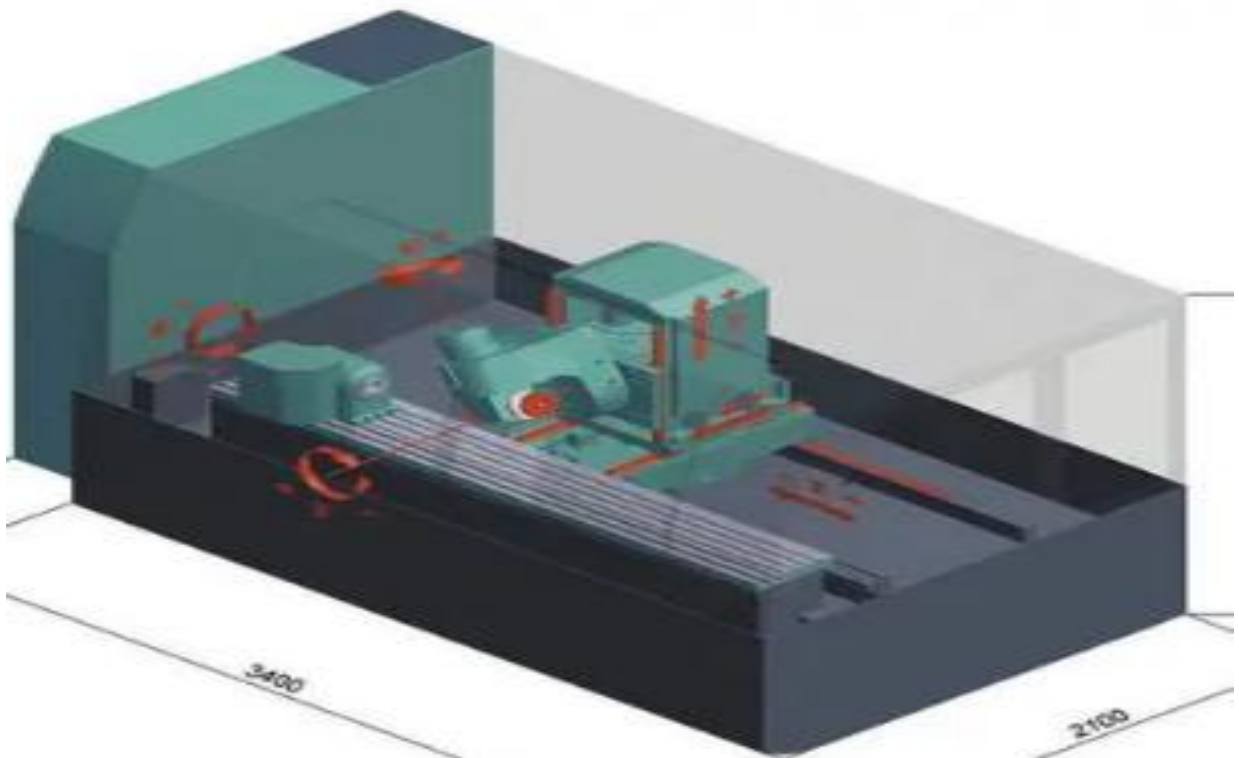


Рисунок5.1 – Верстат з ЧПК Corvus ВВА170

1)

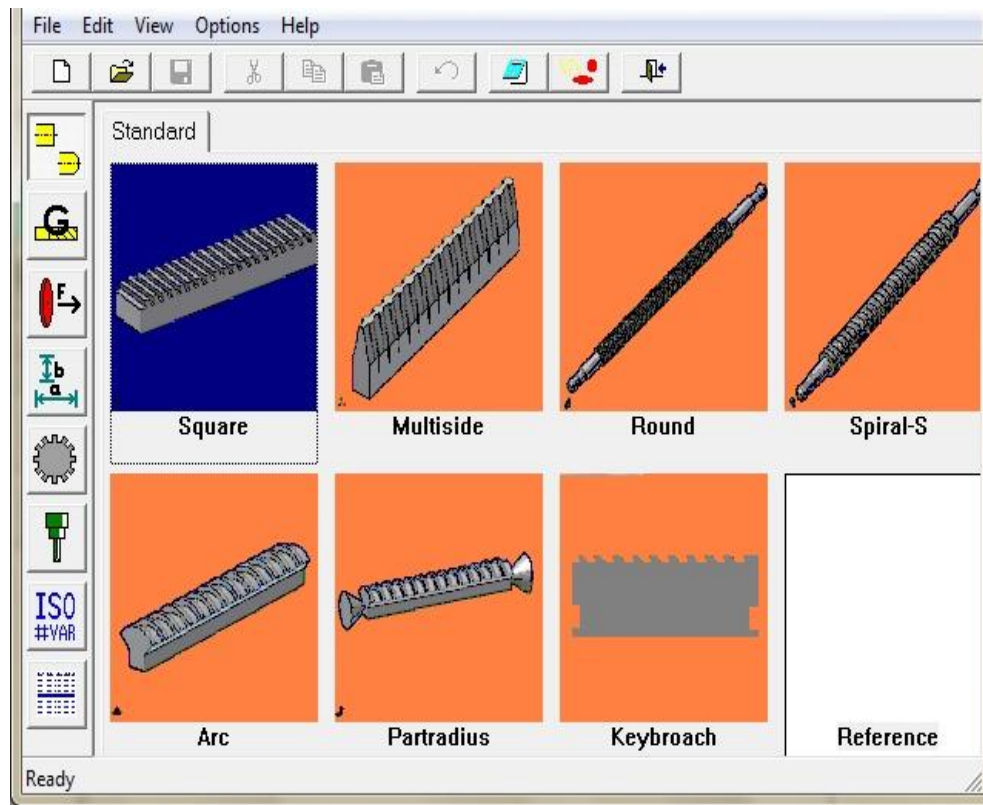


Рисунок 5.2 - Меню програми

Меню програми, вибираємо обробку ялинкової протяжки (Multiside)

2)

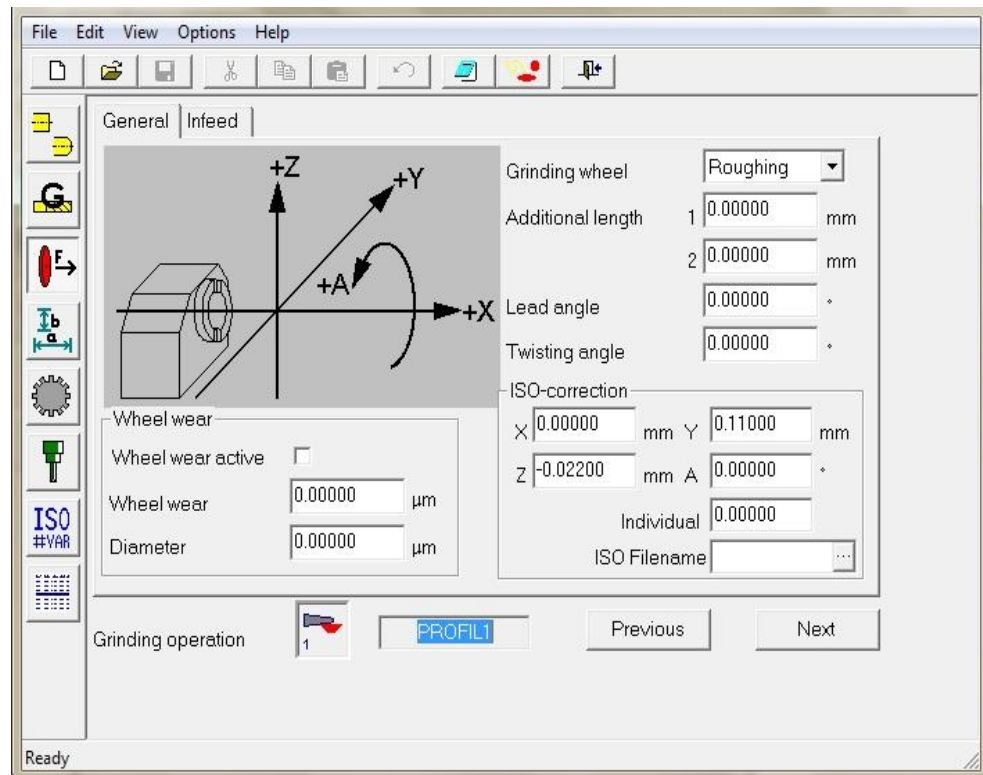


Рисунок 5.3 -Шліфувальний процес

Шліфувальний процес зміщується на задану величину осі X,Y,Z і

Поворотний осі А. Значення може бути як позитивним, і негативним.

3)

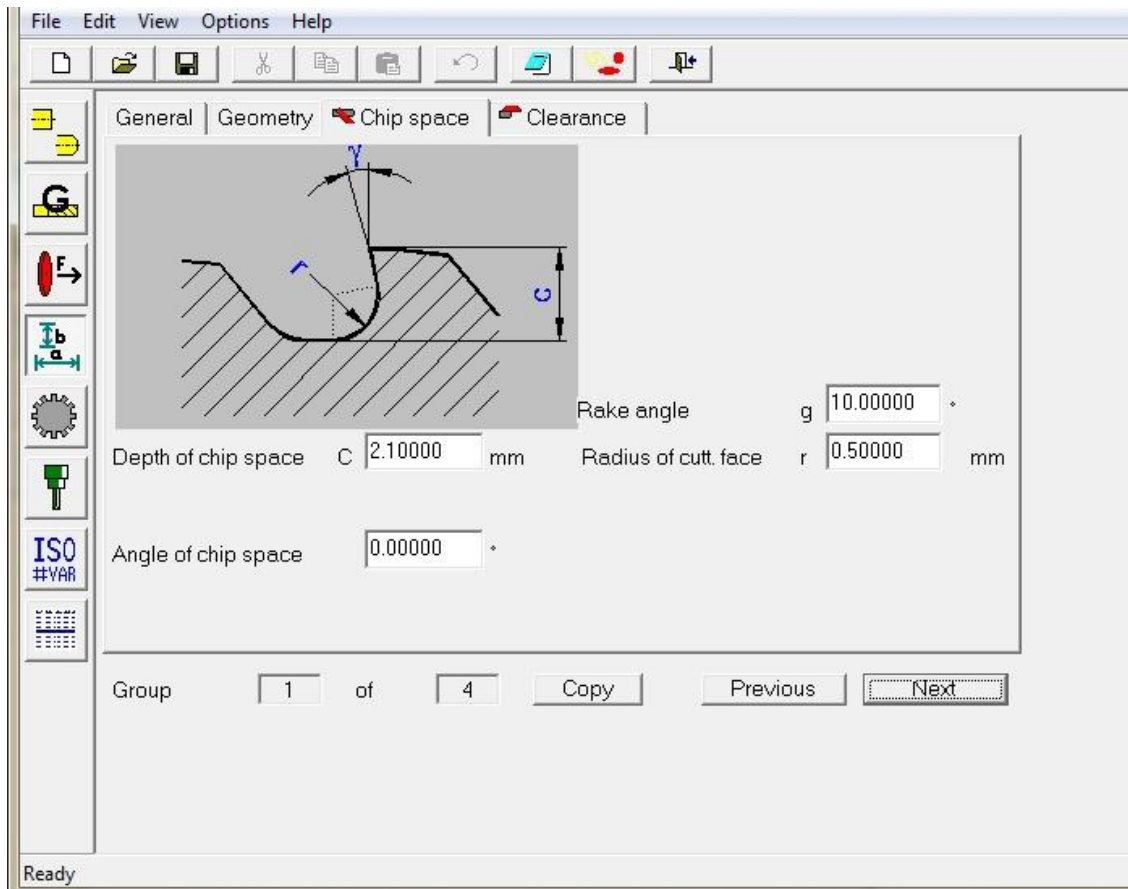


Рисунок 5.4 – Параметр

За допомогою цього параметра Rakeangle (Передній кут) визначаємо радіальний кут Y на ріжучій кромці.

За допомогою цього параметра Depthofchipspace (Глибина стружкової канавки) визначаємо відстань C від периферії до основи стружкової канавки.

За допомогою параметра Radiusofcutface (Радіус передньої поверхні), визначаємо радіус r у стружковій канавці. Шліфувальний круг повинен мати точно той радіус, який ми хочем тут прошліфувати. Записане значення служить виключно для того, щоб при обмацуванні можна було розрахувати відстань від ріжучої кромки до основи стружкової канавки.

4)

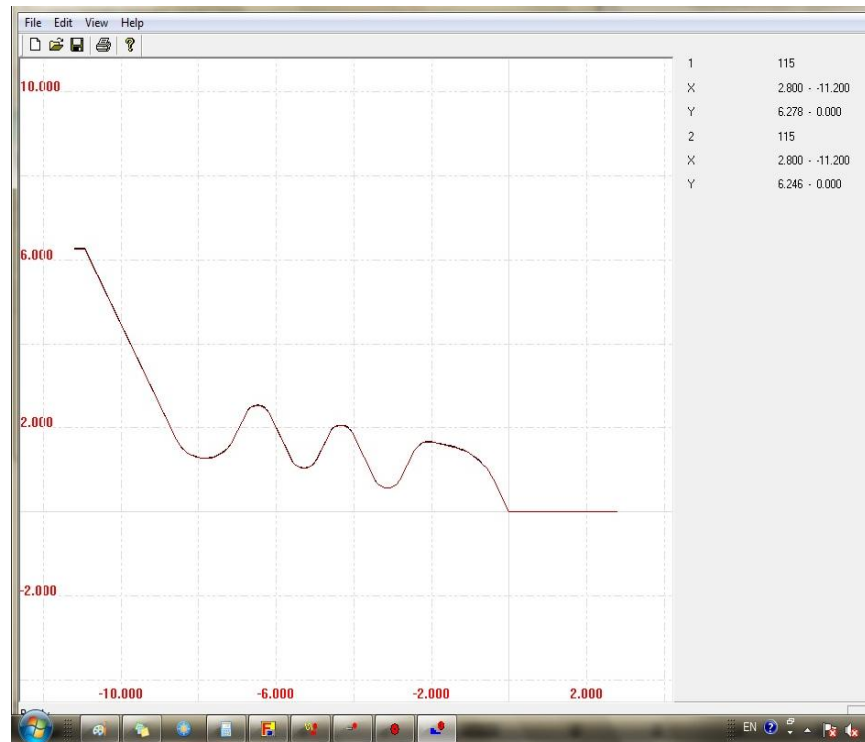


Рисунок 5.4 - Профіль

Задати профіль на деталі

5)

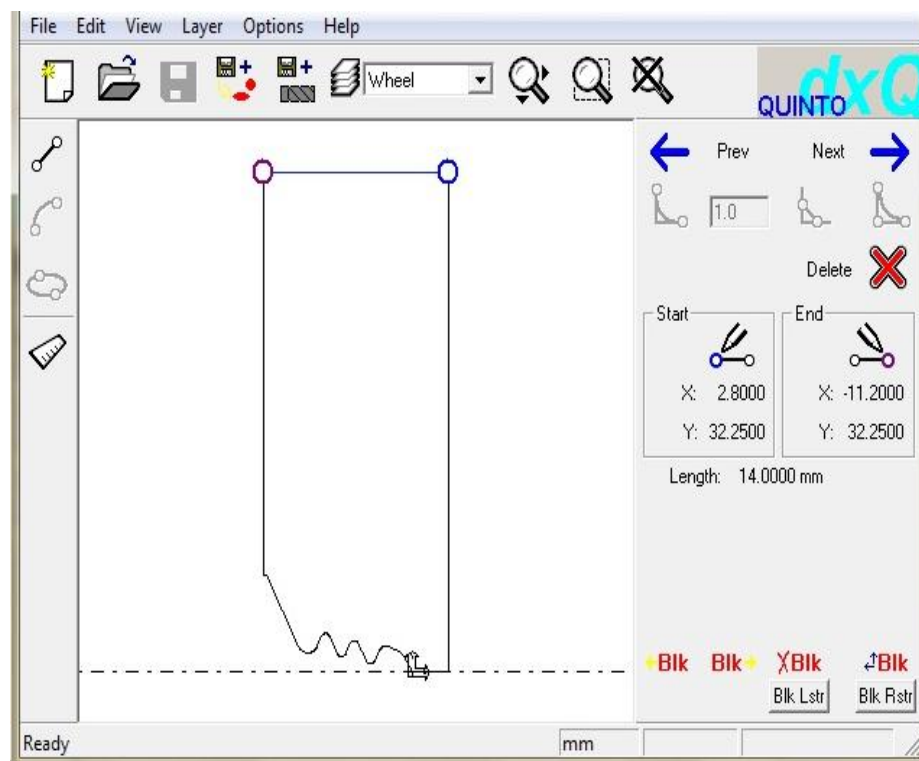


Рисунок 5.5 – Нарізання

Нарізання шліфувальним кругом зуба на протяжці.

ВИСНОВОК

У процесі виконання дипломної роботи магістра були розглянуті наступні питання: проаналізовано можливі способи обробки замка лопатки в диску ротора турбіни авіаційного двигуна А1450, висвітлено особливості процесу протягування, наведені основні складові частини протяжок та їх конструкції, розглянуті схеми протягування та геометрія протяжок.

У якості металорізального інструменту для обробки замка лопатки в диску ротора турбіни авіаційного двигуна А1450 було спроектовано кінцеву ялинкову протяжку. Дана протяжка працює в комплекті з трьома протяжками для попередньої обробки ялинкового пазу та використовується на етапі кінцевої обробки замка лопатки.

Для виконання шліфувальної операції, яка входить в технологічний процес виготовлення спроектованого інструменту, у якості металорізального верстату було обрано шліфувальний 6-осьовий верстат з ЧПК Corvus ВВА 1700, підібраний шліфувальний круг з оптимальними параметрами для забезпечення необхідної якості обробки та алмазний правлячий круг.

За допомогою програмного забезпечення Quinto Action Manager Schneeberge (Швейцарія) було написано код керуючої програми, для шліфувальної операції, а також візуалізацію процесу обробки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грановський Г.І. Розрахунок і конструювання протяжок. - М.: МВТУ, 1947.
2. Довідник інструментальника / І.А. Ордінарцев, Г.В. Філіппов, О.М. Шевченка та ін; За заг. ред. І.А. Ордінарцева. - Л.: Машинобудування. Ленінградське відділення, 1987. - 863с
3. Довідник конструктора - інструментальника / За заг. ред. В.А. Гречишнікова і С.В. Кірсанова. 2-ге вид., перероб. і дод.-М.: Машинобудування, 2006. - 542с.
4. Горецька З.Д. Дослідження та розрахунок протяжок з великими підйомами на зуб: Дис. ... канд. техн. наук. - М., 1962.
5. Горецька З.Д. Протягування з великими подачами. - М.: Машгіз, 1960. - 204с.
6. Грановський Г.І. Про методику вимірювання критерію зносу ріжучих інструментів. // Вісник машинобудування. - 1963. - №9. - С.51-55.
5. Грановський Г.І., Грановський В.Г. Різання металів. - М.: Вищ. шк., 1985. - 304с.
8. Грановський Г.І. Обробка результатів експериментальних досліджень різання металів. - М: Машинобудування, 1982. - 112с.
9. Єдині нормативні матеріали з розрахунку режимів різання та конструктивних елементів різних типів протяжного інструменту. ВНДІТЕМР, 1986. - 92с.
10. Кацев П.Г. - М.: Машинобудування, 1985. - 225с.
11. Крутякова М.В. Підвищення ефективності протягування на основі оптимізації конструкції Інструменту шляхом математичного моделювання: Дис. . канд. техн. наук. - М., 2004.
12. Маргуліс Д.К. Протяжки змінного різання. - Москва-Свердловськ: Машгіз, 1962. - 269с.

13. Маргуліс Д.К. Високопродуктивне протягування. - М: Машгіз, 1965. – 348с.
14. Загальномашинобудівні нормативи різання, зносу та витрати круглих протяжок. Масове одиничне виробництво. - М: НДІмаш, 1982. -48с.
15. Загальномашинобудівні нормативи режимів різання: Довідник: У 2т. Т.2/А.Д. Локтєв, І.Ф. Гушин, Б.М. Балашов та ін. - М.: Машинобудування, 1991. – 285с.
- 16.Протяжки для обробки отворів/Д.К.Маргуліс, М.М.Тверський, В.М. Ашихмін та ін - М.: Машинобудування, 1986. -232с.
17. Семенченко І.І., Матюшин В.М., Сахаров Г.М. Проектування металорізальних інструментів. - М: Машгіз, 1962. - 952с.
18. Довідник технолога – машинобудівника. У 2-х т. Т.1/За ред. А.Г.Косилової та Р.К.Мещерякова. - М: Машинобудування, 1985. - 748с.
- 19.Щеголев В.А. Конструювання протяжок. - М: Машгіз, 1960. - 352с.

Код керуючої програми

O8501 (INITIALISIERUNG)

(VERSION 4.03)

#100 = 8510 (HAUPTPROGRAMM SCHLEIFEN)

#104 = 0 (NEXT HEADER)

#561 = 1 (PROCESS INFO)

#105 = 8000

#106 = 8000

#123 = 0 (TEILUNGSART)

#124 = 0.000 (KORREKTUR X)

#125 = 0.000 (KORREKTUR A)

#126 = 0 (PRG-OFFSET)

#131 = 2500.000 (FAST SPEED)

#142 = 0.000 (Z-SICHERHEIT)

#514 = 0.000 (DURCHMESSER)

#516 = 0.000 (STEIGUNG)

#518 = 0.000 (KONUS)

#513 = 0.000 (ZERO-A-POSITION)

#519 = 228.792 (EINSPANNLAENGE)

(X -120.6580 - 1608.3420)

(Y -39.5410 - 262.4590)

(Z -9.6310 - 287.3690)

(A -99999.0000 - 99999.0000)

(B -125.1700 - 97.8300)

(C -134.9430 - 135.0570)

(START - MAC - FILE)

(END - MAC - FILE)

M99

O8515 (TEILUNG STD R)
(VERSION 4.20 HR)
#126=100
IF[#122EQ0]GOTO6
IF[#122EQ1]GOTO1
IF[#122EQ2]GOTO2
IF[#122EQ#121]GOTO3
GOTO4
N1
IF[#1NE0]GOTO6
#126=0
GOTO6
N2
#126=0
IF[#1EQ0]GOTO6
#2=FIX[#121/2]
IF[#1EQ#2]GOTO6
#126=100
GOTO6
N3
#126=0
GOTO6
N4
#2=0
N5
#3=#2/#122*#121
#3=ROUND[#3-0.001]
IF[#1EQ#3]THEN#126=0
#2=#2+1
IF[#2LT#122]THENGOTO5

N6

#18=#1/#121*360.0

IF[#123EQ0]GOTO7

#18=#[150+#1]

N7

M99

O8000 (HEADER SCHLEIFEN)

#117 = 1 (FIRST TIME FLAG)

#121 = 1 (SCHNEIDENZAHL)

#122 = 1 (ZENTRUMSSCHNEIDEN)

#127 = 0 (SPINDEL WARTEZEIT)

#128 = 1 (GRUPPENWECHSEL)

#129 = 1 (OPERATIONSZAEHLER)

#132 = 2500.000 (GRIND SPEED)

#133 = 6935 (DREHZAHL)

#134 = 4 (DREHRICHTUNG)

#135 = 1 (SPINDEL)

#136 = 81 (KUEHLUNG 1)

#137 = 59 (KUEHLUNG 2)

#139 = 1 (SCHLEIFZAEHLER)

#572 = 1015 (OPERNUMBER)

#143 = 0 (DATA SERVER)

#109 = 0 (PACKAGE NEW)

#107 = 0 (FIRST TOOTH)

#108 = 0 (LAST TOOTH)

M99

#130 = 12

#129 = 11

O9000 (Y6175-8012-BK1-1)

(VORSPANN ANFANG)

#31 = 8650 (VORSPANN ALLGEMEIN)
 #19 = 1 (OPERATION UMFANG)
 #21 = 2500.000 (ARBEITSVORSCHUB)
 #22 = 2500.000 (REDUZIERTER VORSCHUB)
 #23 = 2500.000 (WEGFAHR VORSCHUB)
 #24 = 1250.000 (VORSCHUB IM RADIUS)
 #25 = 2500.000 (VORSCHUB WEITERE FACETTEN)
 #27 = 2500.000 (VORSCHUB IM RADIUS FUER WEITERE
 FACETTEN)
 #26 = 2500.000 (C-SCHWENKUNG G02/G03 AUSSERHALB DES
 PROFILS)
 #28 = 2500.000
 #29 = 2500.000
 (VORSPANN ENDE)
 G18 (DEFAULT PLANE)
 #1=285.093
 #2=208.671
 #3=97.740
 #4=0.000
 #5=0.000
 #6=0.000
 M98 P#31
 G00 X285.093 Y208.671 Z97.740 A0.000 B0.000 C0.000
 #149 = 0.900 (RESTZUSTELLUNG)
 #21 = 2000.000 (FEED)
 (OFFSET H = 0.009)
 (TOOTH-1 -0.210 0.000)
 X503.668 Z92.727 C0.000
 G01 Z87.727 C0.000 F#22
 X496.678 Z87.360 C0.000 F#21

Z92.360 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.757 C0.000
G01 Z87.757 C0.000 F#22
X476.585 Z87.390 C0.000 F#21
Z92.390 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.787 C0.000
G01 Z87.787 C0.000 F#22
X456.622 Z87.420 C0.000 F#21
Z92.420 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)
G00 X443.671 Z92.817 C0.000
G01 Z87.817 C0.000 F#22
X436.681 Z87.450 C0.000 F#21
Z92.450 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.847 C0.000
G01 Z87.847 C0.000 F#22
X416.599 Z87.480 C0.000 F#21
Z92.480 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.877 C0.000
G01 Z87.877 C0.000 F#22
X396.676 Z87.510 C0.000 F#21

Z92.510 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.907 C0.000
G01 Z87.907 C0.000 F#22
X376.682 Z87.540 C0.000 F#21
Z92.540 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.937 C0.000
G01 Z87.937 C0.000 F#22
X356.672 Z87.570 C0.000 F#21
Z92.570 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)
G00 X343.360 Z92.937 C0.000
G01 Z87.937 C0.000 F#22
X336.370 Z87.570 C0.000 F#21
Z92.570 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.937 C0.000
G01 Z87.937 C0.000 F#22
X316.839 Z87.570 C0.000 F#21
Z92.570 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.937 C0.000
G01 Z87.937 C0.000 F#22
X296.641 Z87.570 C0.000 F#21

Z92.570 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.937 C0.000
G01 Z87.937 C0.000 F#22
X276.675 Z87.570 C0.000 F#21
Z92.570 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.800 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.008)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.726 C0.000
G01 Z87.726 C0.000 F#22
X496.678 Z87.359 C0.000 F#21
Z92.359 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.756 C0.000
G01 Z87.756 C0.000 F#22
X476.585 Z87.389 C0.000 F#21
Z92.389 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.786 C0.000
G01 Z87.786 C0.000 F#22
X456.622 Z87.419 C0.000 F#21
Z92.419 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)

G00 X443.671 Z92.816 C0.000
G01 Z87.816 C0.000 F#22
X436.681 Z87.449 C0.000 F#21
Z92.449 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.846 C0.000
G01 Z87.846 C0.000 F#22
X416.599 Z87.479 C0.000 F#21
Z92.479 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.876 C0.000
G01 Z87.876 C0.000 F#22
X396.676 Z87.509 C0.000 F#21
Z92.509 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.906 C0.000
G01 Z87.906 C0.000 F#22
X376.682 Z87.539 C0.000 F#21
Z92.539 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.936 C0.000
G01 Z87.936 C0.000 F#22
X356.672 Z87.569 C0.000 F#21
Z92.569 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)

G00 X343.360 Z92.936 C0.000
G01 Z87.936 C0.000 F#22
X336.370 Z87.569 C0.000 F#21
Z92.569 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.936 C0.000
G01 Z87.936 C0.000 F#22
X316.839 Z87.569 C0.000 F#21
Z92.569 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.936 C0.000
G01 Z87.936 C0.000 F#22
X296.641 Z87.569 C0.000 F#21
Z92.569 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.936 C0.000
G01 Z87.936 C0.000 F#22
X276.675 Z87.569 C0.000 F#21
Z92.569 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.700 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.007)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.725 C0.000
G01 Z87.725 C0.000 F#22
X496.678 Z87.358 C0.000 F#21

Z92.358 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.755 C0.000
G01 Z87.755 C0.000 F#22
X476.585 Z87.388 C0.000 F#21
Z92.388 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.785 C0.000
G01 Z87.785 C0.000 F#22
X456.622 Z87.418 C0.000 F#21
Z92.418 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)
G00 X443.671 Z92.815 C0.000
G01 Z87.815 C0.000 F#22
X436.681 Z87.448 C0.000 F#21
Z92.448 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.845 C0.000
G01 Z87.845 C0.000 F#22
X416.599 Z87.478 C0.000 F#21
Z92.478 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.875 C0.000
G01 Z87.875 C0.000 F#22
X396.676 Z87.508 C0.000 F#21

Z92.508 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.905 C0.000
G01 Z87.905 C0.000 F#22
X376.682 Z87.538 C0.000 F#21
Z92.538 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.935 C0.000
G01 Z87.935 C0.000 F#22
X356.672 Z87.568 C0.000 F#21
Z92.568 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)
G00 X343.360 Z92.935 C0.000
G01 Z87.935 C0.000 F#22
X336.370 Z87.568 C0.000 F#21
Z92.568 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.935 C0.000
G01 Z87.935 C0.000 F#22
X316.839 Z87.568 C0.000 F#21
Z92.568 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.935 C0.000
G01 Z87.935 C0.000 F#22
X296.641 Z87.568 C0.000 F#21

Z92.568 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.935 C0.000
G01 Z87.935 C0.000 F#22
X276.675 Z87.568 C0.000 F#21
Z92.568 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.600 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.006)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.724 C0.000
G01 Z87.724 C0.000 F#22
X496.678 Z87.357 C0.000 F#21
Z92.357 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.754 C0.000
G01 Z87.754 C0.000 F#22
X476.585 Z87.387 C0.000 F#21
Z92.387 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.784 C0.000
G01 Z87.784 C0.000 F#22
X456.622 Z87.417 C0.000 F#21
Z92.417 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)

G00 X443.671 Z92.814 C0.000
G01 Z87.814 C0.000 F#22
X436.681 Z87.447 C0.000 F#21
Z92.447 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.844 C0.000
G01 Z87.844 C0.000 F#22
X416.599 Z87.477 C0.000 F#21
Z92.477 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.874 C0.000
G01 Z87.874 C0.000 F#22
X396.676 Z87.507 C0.000 F#21
Z92.507 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.904 C0.000
G01 Z87.904 C0.000 F#22
X376.682 Z87.537 C0.000 F#21
Z92.537 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.934 C0.000
G01 Z87.934 C0.000 F#22
X356.672 Z87.567 C0.000 F#21
Z92.567 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)

G00 X343.360 Z92.934 C0.000
G01 Z87.934 C0.000 F#22
X336.370 Z87.567 C0.000 F#21
Z92.567 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.934 C0.000
G01 Z87.934 C0.000 F#22
X316.839 Z87.567 C0.000 F#21
Z92.567 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.934 C0.000
G01 Z87.934 C0.000 F#22
X296.641 Z87.567 C0.000 F#21
Z92.567 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.934 C0.000
G01 Z87.934 C0.000 F#22
X276.675 Z87.567 C0.000 F#21
Z92.567 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.500 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.005)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.723 C0.000
G01 Z87.723 C0.000 F#22
X496.678 Z87.356 C0.000 F#21

Z92.356 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.753 C0.000
G01 Z87.753 C0.000 F#22
X476.585 Z87.386 C0.000 F#21
Z92.386 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.783 C0.000
G01 Z87.783 C0.000 F#22
X456.622 Z87.416 C0.000 F#21
Z92.416 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)
G00 X443.671 Z92.813 C0.000
G01 Z87.813 C0.000 F#22
X436.681 Z87.446 C0.000 F#21
Z92.446 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.843 C0.000
G01 Z87.843 C0.000 F#22
X416.599 Z87.476 C0.000 F#21
Z92.476 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.873 C0.000
G01 Z87.873 C0.000 F#22
X396.676 Z87.506 C0.000 F#21

Z92.506 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.903 C0.000
G01 Z87.903 C0.000 F#22
X376.682 Z87.536 C0.000 F#21
Z92.536 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.933 C0.000
G01 Z87.933 C0.000 F#22
X356.672 Z87.566 C0.000 F#21
Z92.566 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)
G00 X343.360 Z92.933 C0.000
G01 Z87.933 C0.000 F#22
X336.370 Z87.566 C0.000 F#21
Z92.566 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.933 C0.000
G01 Z87.933 C0.000 F#22
X316.839 Z87.566 C0.000 F#21
Z92.566 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.933 C0.000
G01 Z87.933 C0.000 F#22
X296.641 Z87.566 C0.000 F#21

Z92.566 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.933 C0.000
G01 Z87.933 C0.000 F#22
X276.675 Z87.566 C0.000 F#21
Z92.566 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.400 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.004)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.722 C0.000
G01 Z87.722 C0.000 F#22
X496.678 Z87.355 C0.000 F#21
Z92.355 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.752 C0.000
G01 Z87.752 C0.000 F#22
X476.585 Z87.385 C0.000 F#21
Z92.385 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.782 C0.000
G01 Z87.782 C0.000 F#22
X456.622 Z87.415 C0.000 F#21
Z92.415 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)

G00 X443.671 Z92.812 C0.000
G01 Z87.812 C0.000 F#22
X436.681 Z87.445 C0.000 F#21
Z92.445 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.842 C0.000
G01 Z87.842 C0.000 F#22
X416.599 Z87.475 C0.000 F#21
Z92.475 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.872 C0.000
G01 Z87.872 C0.000 F#22
X396.676 Z87.505 C0.000 F#21
Z92.505 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.902 C0.000
G01 Z87.902 C0.000 F#22
X376.682 Z87.535 C0.000 F#21
Z92.535 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.932 C0.000
G01 Z87.932 C0.000 F#22
X356.672 Z87.565 C0.000 F#21
Z92.565 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)

G00 X343.360 Z92.932 C0.000
G01 Z87.932 C0.000 F#22
X336.370 Z87.565 C0.000 F#21
Z92.565 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.932 C0.000
G01 Z87.932 C0.000 F#22
X316.839 Z87.565 C0.000 F#21
Z92.565 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.932 C0.000
G01 Z87.932 C0.000 F#22
X296.641 Z87.565 C0.000 F#21
Z92.565 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.932 C0.000
G01 Z87.932 C0.000 F#22
X276.675 Z87.565 C0.000 F#21
Z92.565 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.300 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.003)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.721 C0.000
G01 Z87.721 C0.000 F#22
X496.678 Z87.354 C0.000 F#21

Z92.354 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.751 C0.000
G01 Z87.751 C0.000 F#22
X476.585 Z87.384 C0.000 F#21
Z92.384 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.781 C0.000
G01 Z87.781 C0.000 F#22
X456.622 Z87.414 C0.000 F#21
Z92.414 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)
G00 X443.671 Z92.811 C0.000
G01 Z87.811 C0.000 F#22
X436.681 Z87.444 C0.000 F#21
Z92.444 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.841 C0.000
G01 Z87.841 C0.000 F#22
X416.599 Z87.474 C0.000 F#21
Z92.474 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.871 C0.000
G01 Z87.871 C0.000 F#22
X396.676 Z87.504 C0.000 F#21

Z92.504 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.901 C0.000
G01 Z87.901 C0.000 F#22
X376.682 Z87.534 C0.000 F#21
Z92.534 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.931 C0.000
G01 Z87.931 C0.000 F#22
X356.672 Z87.564 C0.000 F#21
Z92.564 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)
G00 X343.360 Z92.931 C0.000
G01 Z87.931 C0.000 F#22
X336.370 Z87.564 C0.000 F#21
Z92.564 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.931 C0.000
G01 Z87.931 C0.000 F#22
X316.839 Z87.564 C0.000 F#21
Z92.564 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.931 C0.000
G01 Z87.931 C0.000 F#22
X296.641 Z87.564 C0.000 F#21

Z92.564 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.931 C0.000
G01 Z87.931 C0.000 F#22
X276.675 Z87.564 C0.000 F#21
Z92.564 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.200 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.002)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.720 C0.000
G01 Z87.720 C0.000 F#22
X496.678 Z87.353 C0.000 F#21
Z92.353 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.750 C0.000
G01 Z87.750 C0.000 F#22
X476.585 Z87.383 C0.000 F#21
Z92.383 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.780 C0.000
G01 Z87.780 C0.000 F#22
X456.622 Z87.413 C0.000 F#21
Z92.413 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)

G00 X443.671 Z92.810 C0.000
G01 Z87.810 C0.000 F#22
X436.681 Z87.443 C0.000 F#21
Z92.443 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.840 C0.000
G01 Z87.840 C0.000 F#22
X416.599 Z87.473 C0.000 F#21
Z92.473 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.870 C0.000
G01 Z87.870 C0.000 F#22
X396.676 Z87.503 C0.000 F#21
Z92.503 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.900 C0.000
G01 Z87.900 C0.000 F#22
X376.682 Z87.533 C0.000 F#21
Z92.533 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.930 C0.000
G01 Z87.930 C0.000 F#22
X356.672 Z87.563 C0.000 F#21
Z92.563 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)

G00 X343.360 Z92.930 C0.000
G01 Z87.930 C0.000 F#22
X336.370 Z87.563 C0.000 F#21
Z92.563 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.930 C0.000
G01 Z87.930 C0.000 F#22
X316.839 Z87.563 C0.000 F#21
Z92.563 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.930 C0.000
G01 Z87.930 C0.000 F#22
X296.641 Z87.563 C0.000 F#21
Z92.563 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.930 C0.000
G01 Z87.930 C0.000 F#22
X276.675 Z87.563 C0.000 F#21
Z92.563 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.100 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.001)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.719 C0.000
G01 Z87.719 C0.000 F#22
X496.678 Z87.352 C0.000 F#21

Z92.352 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.749 C0.000
G01 Z87.749 C0.000 F#22
X476.585 Z87.382 C0.000 F#21
Z92.382 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.779 C0.000
G01 Z87.779 C0.000 F#22
X456.622 Z87.412 C0.000 F#21
Z92.412 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)
G00 X443.671 Z92.809 C0.000
G01 Z87.809 C0.000 F#22
X436.681 Z87.442 C0.000 F#21
Z92.442 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.839 C0.000
G01 Z87.839 C0.000 F#22
X416.599 Z87.472 C0.000 F#21
Z92.472 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.869 C0.000
G01 Z87.869 C0.000 F#22
X396.676 Z87.502 C0.000 F#21

Z92.502 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.899 C0.000
G01 Z87.899 C0.000 F#22
X376.682 Z87.532 C0.000 F#21
Z92.532 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.929 C0.000
G01 Z87.929 C0.000 F#22
X356.672 Z87.562 C0.000 F#21
Z92.562 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)
G00 X343.360 Z92.929 C0.000
G01 Z87.929 C0.000 F#22
X336.370 Z87.562 C0.000 F#21
Z92.562 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.929 C0.000
G01 Z87.929 C0.000 F#22
X316.839 Z87.562 C0.000 F#21
Z92.562 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.929 C0.000
G01 Z87.929 C0.000 F#22
X296.641 Z87.562 C0.000 F#21

```
Z92.562 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.929 C0.000
G01 Z87.929 C0.000 F#22
X276.675 Z87.562 C0.000 F#21
Z92.562 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
#149 = 0.000 (RESTZUSTELLUNG)
#21 = 2000.000 (FEED)
(OFFSET H = 0.000)
(TOOTH-1 -0.210 0.000)
G00 X503.668 Z92.718 C0.000
G01 Z87.718 C0.000 F#22
X496.678 Z87.351 C0.000 F#21
Z92.351 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-2 -0.180 0.000)
G00 X483.575 Z92.748 C0.000
G01 Z87.748 C0.000 F#22
X476.585 Z87.381 C0.000 F#21
Z92.381 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-3 -0.150 0.000)
G00 X463.612 Z92.778 C0.000
G01 Z87.778 C0.000 F#22
X456.622 Z87.411 C0.000 F#21
Z92.411 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-4 -0.120 0.000)
```

G00 X443.671 Z92.808 C0.000
G01 Z87.808 C0.000 F#22
X436.681 Z87.441 C0.000 F#21
Z92.441 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-5 -0.090 0.000)
G00 X423.589 Z92.838 C0.000
G01 Z87.838 C0.000 F#22
X416.599 Z87.471 C0.000 F#21
Z92.471 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-6 -0.060 0.000)
G00 X403.666 Z92.868 C0.000
G01 Z87.868 C0.000 F#22
X396.676 Z87.501 C0.000 F#21
Z92.501 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-7 -0.030 0.000)
G00 X383.672 Z92.898 C0.000
G01 Z87.898 C0.000 F#22
X376.682 Z87.531 C0.000 F#21
Z92.531 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-8 0.000 0.000)
G00 X363.662 Z92.928 C0.000
G01 Z87.928 C0.000 F#22
X356.672 Z87.561 C0.000 F#21
Z92.561 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-9 0.000 0.000)

```
G00 X343.360 Z92.928 C0.000
G01 Z87.928 C0.000 F#22
X336.370 Z87.561 C0.000 F#21
Z92.561 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-10 0.000 0.000)
G00 X323.829 Z92.928 C0.000
G01 Z87.928 C0.000 F#22
X316.839 Z87.561 C0.000 F#21
Z92.561 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-11 0.000 0.000)
G00 X303.631 Z92.928 C0.000
G01 Z87.928 C0.000 F#22
X296.641 Z87.561 C0.000 F#21
Z92.561 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
(TOOTH-12 0.000 0.000)
G00 X283.665 Z92.928 C0.000
G01 Z87.928 C0.000 F#22
X276.675 Z87.561 C0.000 F#21
Z92.561 C0.000 F#23
IF [#1003 EQ 1] THEN GOTO 999
N999
C0.000 F#23
C0.000
M99
O8511 (END-PROGRAM)
M99
```