

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”*

*Інститут механічної інженерії та транспорту
Кафедра ПМАІ*

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

**“Розроблення установки шліфування фаски на
кремнієвих пластинах”**

Виконав студент
групи МБ-41:

_____ Михайло ГРИНЬ

Керівник:

_____ к.т.н., доц. Ігор БУТРИНСЬКИЙ

Консультанти:

_____ к.т.н., доц. Леся СТРУТИНСЬКА

_____ к.т.н., доц. Ростислав ЯЦЮК

Завідувач кафед-
рою:

_____ д.т.н., проф. Василь ДМИТРІВ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Інститут механічної інженерії та транспорту Кафедра ПМАІ

спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Зав. кафедрою:

_____ д.т.н., проф. Василь ДМИТРІВ

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

студент групи МБ-41: Гриню Михайлові Віталійовичу

**1. Тема: “Розроблення установки шліфування фаски на кремнієвих
пластинах”**

Затверджена наказом по університету № 1399-4-08 від 17.04. 2025р.

2. Термін задачі студентом закінчені роботи 15.06.25 р.

3. Вхідні дані:

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

4.1	Титульний аркуш. Завдання. Розширена анотація. Зміст. Вступ
4.2	Технологічна частина
4.3	Конструкторська частина
4.4	Додатки (економічна частина, охорона праці, специфікації)
4.5	Перелік використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу:

Загальний вид напівавтомата	1 арк. ф – А1
Супорт. Робочі креслення двох деталей	1 арк. ф – А1
Шпиндель	1 арк. ф – А1
Кінематична та пневматична схеми	1 арк. ф – А1

6. Консультанти проекту із зазначенням розділів:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економічна частина	к.т.н., доц. Леся СТРУТИНСЬКА		
Охорона праці	к.т.н., доц. Ростислав ЯЦЮК		

7. Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 2025 р.

Керівник _____ к.т.н., доц. Ігор БУТРИНСЬКИЙ

Завдання прийняв до виконання _____ Михайло ГРИНЬ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання	Примітка
1.	Технологічна частина	15.04.25	
2.	Конструкторська частина	25.05.25	
3.	Графічна частина	29.05.25	
4.	Економічна частина	05.06.25	
5.	Охорона праці	8.06.25	
6.	Оформлення роботи	10.06.25	

Керівник _____ к.т.н., доц. Ігор БУТРИНСЬКИЙ

Завдання прийняв до виконання _____ Михайло ГРИНЬ

Гринь М.В., Бутринський І.З. (керівник), “Розроблення установки шліфування фаски на кремнієвих пластинах”. Бакалаврська кваліфікаційна робота. - Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

Розширена анотація.

Робота містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка складається зі вступу, технологічної, конструкторської частин, додатків з: економічною частиною, охороною праці та специфікаціями до графічної частини.

У технологічній частині проаналізований технологічний процес виготовлення напівпровідникових пластин [1].

В технологічному маршруті виготовлення пластин передбачені такі операції як калібрування (кругле шліфування) злитку по діаметру, кристалографічне орієнтування і виготовлення базового зрізу, зняття фаски по діаметру та фінішне багатоступінчасте очищення пластин.

Проведений аналіз обладнання для механічної обробки пластин.

Представлена схема зняття фаски на напівпровідниковій пластині. Фаски знімають для: усунення сколів, які виникли при відрізання пластин зі злитка та запобігання їх появи при подальших технологічних операціях; усунення можливості наростання “корони” на краях пластини при проведенні хіміко-технологічних операцій.

Розміри фаски залежать від товщини напівпровідникової пластини. Зняття фаски на напівпровідниковій пластині здійснюється фрезою певного профілю з алмазним покриттям ріжучої поверхні при високій лінійній швидкості ($v = 1600 \dots 1700$ м/хв.).

У конструкторській частині приведено опис конструкції та принципу дії установки зняття фаски на напівпровідникових пластинах.

Машина для шліфування фасок має такі основні робочі органи: шпиндель з робочим столиком для утримання пластини і надання їй головного робочого руху - обертання відносно вертикальної осі в процесі обробки; супорт, який

призначений для закріплення інструменту і подачі його у зону обробки пласти-ни; позиціонер для юстування заготовки відносно копіра; привід головного ру-ху – обертання шпинделя; привід подачі – поворот супорта відносно вертикаль-ної осі; привід позиціонера.

Проведений розрахунок кінематичної та пневматичної схем машини, роз-рахунок потужності приводу шпинделя та інструменту, розраховані вакуумний столик для закріплення пластини діаметром $d_{пз} = 100$ мм, проектний розраху-нок поршневого пневмоциліндра відведення супорту [2,3].

В графічній частині проекту приведені кінематична та пневматичні схеми машини, загальний вид машини, шпиндель, супорт, робочі креслення двох де-талей, специфікації до складального креслення.

В економічній частині визначена економічність машини для у виготов-ленні та експлуатації, визначена доцільність його розробки.

В розділі «Охорона праці» розроблені заходи по покращенню роботи ус-тановки шліфування фаски на кремнієвих пластинах з точки зору техніки без-пеки.

Ключові слова – напівпровідник, кремній, пластина, фаска, установка, привід, розрахунок, економіка, безпека.

Перелік використаних літературних джерел:

1. Павлов, С. М. П12 Технологія мікроелектронних засобів : навчальний посібник. / С. М. Павлов, О. В. Войцеховська. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 169 с
2. Кодра Ю.В., Стоцько З.А. Технологічні машини. Розрахунок і конст-руювання: Навч. посібник / За ред. З.А. Стоцька. Видання друге, доповнене. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2004. – 466 с.
3. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

Grin M.V., Butrinsky I.Z. (head), "A chamfer grinding machine for silicon wafers". Bachelor's qualification work. - National University "Lviv Polytechnic", Lviv, 2025.

Extended abstract.

The bachelor's qualification work includes a graphic part and an explanatory note.

The explanatory note of the bachelor's qualification work consists of an introduction, technological, design and economic parts, a section on labor protection. Literature and specifications for the drawings of assembly units are given.

The technological part analyzes the technological process of manufacturing semiconductor wafers [1].

The technological route for manufacturing wafers provides for such operations as calibration (circular grinding) of the ingot by diameter, crystallographic orientation and manufacturing of the base cut, chamfering by diameter and final multi-stage cleaning of the wafers.

The analysis of equipment for mechanical processing of wafers is carried out.

The scheme of chamfering on a semiconductor wafer is presented. Chamfers are removed to: eliminate chips that occurred when cutting wafers from an ingot and prevent their appearance during subsequent technological operations; eliminate the possibility of a "crown" growing on the edges of the wafer when performing chemical and technological operations.

The dimensions of the chamfer depend on the thickness of the semiconductor wafer. Chamfering on a semiconductor wafer is carried out by a milling cutter of a certain profile with a diamond coating of the cutting surface at a high linear speed ($v = 1600 \dots 1700 \text{ m/min.}$).

The design part describes the design and principle of operation of the chamfering installation on semiconductor wafers.

The chamfering machine has the following main working parts: a spindle with a work table for holding the wafer and giving it the main working movement -

rotation relative to the vertical axis during processing; a support, which is designed to fix the tool and feed it into the plate processing zone; a positioner for adjusting the workpiece relative to the copier; the main motion drive - spindle rotation; the feed drive - support rotation relative to the vertical axis; the positioner drive.

The calculation of the kinematic and pneumatic schemes of the machine was carried out, the calculation of the power of the spindle and tool drive was calculated, a vacuum table for fixing the plate with a diameter of $d_{\text{п3}} = 100$ mm was calculated, and a design calculation of the piston pneumatic cylinder of the support withdrawal [2,3] was made.

The graphic part of the project shows the kinematic and pneumatic schemes of the machine, the general view of the machine, the spindle, the support, working drawings of two parts, specifications for the assembly drawing.

In the economic part, the economy of the machine for manufacturing and operation is determined, and the feasibility of its development is determined.

In the section "Occupational Safety" measures have been developed to improve the operation of the chamfer grinding unit on silicon wafers from the point of view of safety technology.

Keywords - semiconductor, silicon, wafer, chamfer, unit, drive, calculation, economics, safety.

List of used literature sources:

1. Pavlov, S. M. P12 Technology of microelectronic devices: a tutorial. / S. M. Pavlov, O. V. Voitsekhovska. - Vinnytsia: VNTU, 2017. - 169 p.

2. Kodra Yu.V., Stotsko Z.A. Technological machines. Calculation and design: Tutorial / Ed. Z.A. Stotsko. Second edition, supplemented. - Lviv: Publishing house "Beskyd Bit", 2004. - 466 p.

3. Pavlyshche V.T. Fundamentals of design and calculation of machine parts. – Kyiv: Higher School, 1993. – 556 p.

ЗМІСТ

	Стор.
В с т у п	9
Розділ 1. Технологічна частина	11
1.1. Технологічний процес виготовлення напівпровідникових пластин	11
1.2. Аналіз обладнання для механічної обробки пластин . . .	15
Розділ 2. Конструкторська частина	24
2.1. Опис конструкції машини для шліфування фасок	24
2.2. Опис конструкції шпиндельного вузла	25
2.3. Опис конструкції супорта	25
2.4. Визначення продуктивності машини	26
2.5. Кінематична схема машини	28
2.6. Розрахунок кінематичної схеми машини	30
2.7. Пневматична схема	31
2.8. Розрахунок потужності привода шпинделя	32
2.9. Розрахунок потужності приводу інструмента (алмазної фрези)	34
2.10. Перевірочний розрахунок вакуумного столика	36
2.11. Розрахунок копіра і ролика на контактну міцність і осі ролика на згин	39
2.12. Вибір радіально-упорних підшипників інструментальної голівки	41
2.13. Технічні дані машини	44
Висновки до роботи	45
Перелік використаної літератури	46

Додатки

Додаток А.	Економічна частина	47
Додаток Б.	Охорона праці	58
Додаток В.	Специфікації до складальних одиниць	65

ВСТУП

Сучасне напівпровідникове виробництво – комплекс складних операцій від вхідного контролю вхідних матеріалів до остаточного складання готового приладу, його випробувань та упаковки. При виготовленні напівпровідникових приладів необхідно виконати десятки і сотні технологічних та контрольних-вимірних операцій, що потребують застосування спеціального обладнання. Так для виготовлення дифузійного кремнієвого діода необхідно застосувати більш як 80 одиниць технологічного обладнання, не враховуючи універсального та типового.

Високі вимоги до технології та обладнання визначаються специфічними особливостями напівпровідникового приладу як виробу. Найважливіша з них полягає в тому, що весь процес виготовлення приладу проводиться на одному кристалі і всередині його об'єму, в якому створюються шари з особливими фізичними властивостями. Саме ці особливості перш за все диктують виключно високі вимоги до загального технічного рівня виробництва: чистоти вхідних матеріалів, стабільності та відтворюваності параметрів технологічних процесів, до організації виробництва і як результат – до обладнання, на якому виготовляють напівпровідникові прилади.

Такі ж високі вимоги ставляться до чистоти та стабільності складу середовища мікроклімату, в якому виготовляють напівпровідникові прилади. Наприклад, вміст пилу в газах не повинен перевищувати дві пилинки на літр, в той час коли запиленість звичайного повітря складає приблизно 20000 пилинок / літр. При виготовленні напівпровідникових приладів використовують більше 10 видів енергоносіїв.

Виключно висока складність технології напівпровідникового виробництва, необхідність виконання згаданих вимог визначили необхідність створення принципово нових методів і засобів, розробки і впровадження великої кількості типів спеціального обладнання, часто унікального, яке не має аналогів в інших галузях промисловості. Так, середня точність виготовлення напівпровідниково-

го обладнання на 2-3 класи вища, ніж в загальному машинобудуванні, і в ряді випадків перевищує точність обладнання, яке використовується, наприклад, при виробництві годинників. Мікроскопічно малі розміри елементів напівпровідникових приладів потребують застосування спеціальних оптичних пристроїв. Складні завдання вирішені при створенні обладнання для виконання численних технохімічних процесів, пов'язаних з застосуванням особливо активних реагентів, а також з застосуванням різних газів і їх сумішей.

Високі вимоги висуваються до рівня автоматизації, надійності напівпровідникового обладнання (перш за все до відтворюваності технологічних параметрів) та стабільності його роботи. Ці вимоги суттєво підвищуються в зв'язку з завданнями комплексної механізації та автоматизації виробництва масових типів напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Технологічний процес виготовлення напівпровідникових пластин

Від якості напівпровідникової пластини (кристалу) залежать основні електричні властивості приладу. Тому важливим завданням технології є отримання таких підкладок, які по структурі, хімічній чистоті та вмісту дефектів були б якомога ближчі до вихідних монокристалів. В якості вихідного матеріалу використовується монокристалічний злиток, вирощений по методу Чохральського або зонною плавкою. Такий злиток містить мінімальну кількість домішок, яка оцінюється в $10^{-9} - 10^{-10} \%$. Злиток являє собою стержень діаметром від 8 до 150 мм і довжиною від 40 до 500 мм. З такого злитка виготовляють пластини відповідних діаметрів і товщиною від) 0,04 до 1,0 мм.

В залежності від типу приладу та технологічної схеми виготовлення кристали розрізняють по розмірам, вимогам точності, якості поверхні. Найбільш жорсткі технічні вимоги ставляться до пластин, що йдуть на виготовлення планарних приладів і особливо інтегральних мікросхем (ІМ), великих інтегральних мікросхем (БІС). Наприклад кремнієва пластина діаметром 75 мм повинна відповідати таким вимогам:

Неплоскостність по всій поверхні, мкм	- $\leq 0,5$
Шорсткість, мкм	- $\leq 0,05$
Відхилення поверхні пластини від заданої кристалографічної площини	- $\leq 1^0$
Допуск на товщину, мкм:	
для ІМ з діелектричною ізоляцією елементів	- ≤ 3
для ІМ зі скритими шарами	- ≤ 25

Існує три технологічні схеми (рис.1.1) виготовлення напівпровідникових пластин, які застосовуються при виготовленні відповідно трьох груп напівпровідникових приладів. Пластини виготовлені по першій схемі, мають однаково

оброблені травлені поверхні, які забезпечують найкращі умови змочування електродних матеріалів при вплавленні їх в кристал. Пластини виготовлені по другій схемі, мають одну поверхню поліровану, а другу шліфовану. Пластини виготовлені по третій схемі, поліровані абразивною пастою з обох сторін, і одна з них додатково оброблена для зняття структурних порушень, викликаних абразивним поліруванням. Застосування фінішного хіміко-механічного полірування дозволяє отримати пластини з мінімальними поверхневими дефектами і найкращою площинністю робочої поверхні пластини.

До напівпровідникових пластин для планарних приладів ставиться ряд додаткових вимог для забезпечення високоефективного проведення наступних операцій фотолітографії та розділення пластин на кристали. В тому числі, необхідна підвищена точність пластин по діаметру ($\pm 0,2$ мм), наявність на пластині базового зрізу або міток, які вказують кристалографічний напрям, висока чистота поверхні пластин. Для виконання цих вимог в технологічному маршруті виготовлення пластин передбачені операції: калібрування (кругле шліфування) злитку по діаметру, кристалографічне орієнтування і виготовлення базового зрізу, зняття фаски по діаметру, фінішна багатоступінчаста очистка пластин.

Крім вищевказаних операцій, в технологічний процес входить ряд допоміжних операцій: міжопераційне очищення, відмивання, сушіння, контроль, різка злитка на заготовки, пакування.

До обробки злитка проводиться контроль електрофізичних параметрів: питомого опору, типу провідності, дифузійної довжини і часу життя неосновних носіїв заряду. Операції механічної обробки – калібровка, різка, шліфування, полірування – особливо важливі для якості готової пластини. При їх виконанні кристал деформується з утворенням біля поверхні, що обробляється шару матеріалу, структура якого відрізняється від ідеальної структури в об'ємі. Цей шар називається порушеним. В порушеному шарі виділяють чотири зони з типовими дефектами: рельєфну, тріщинувату, дислокаційну і напружену.

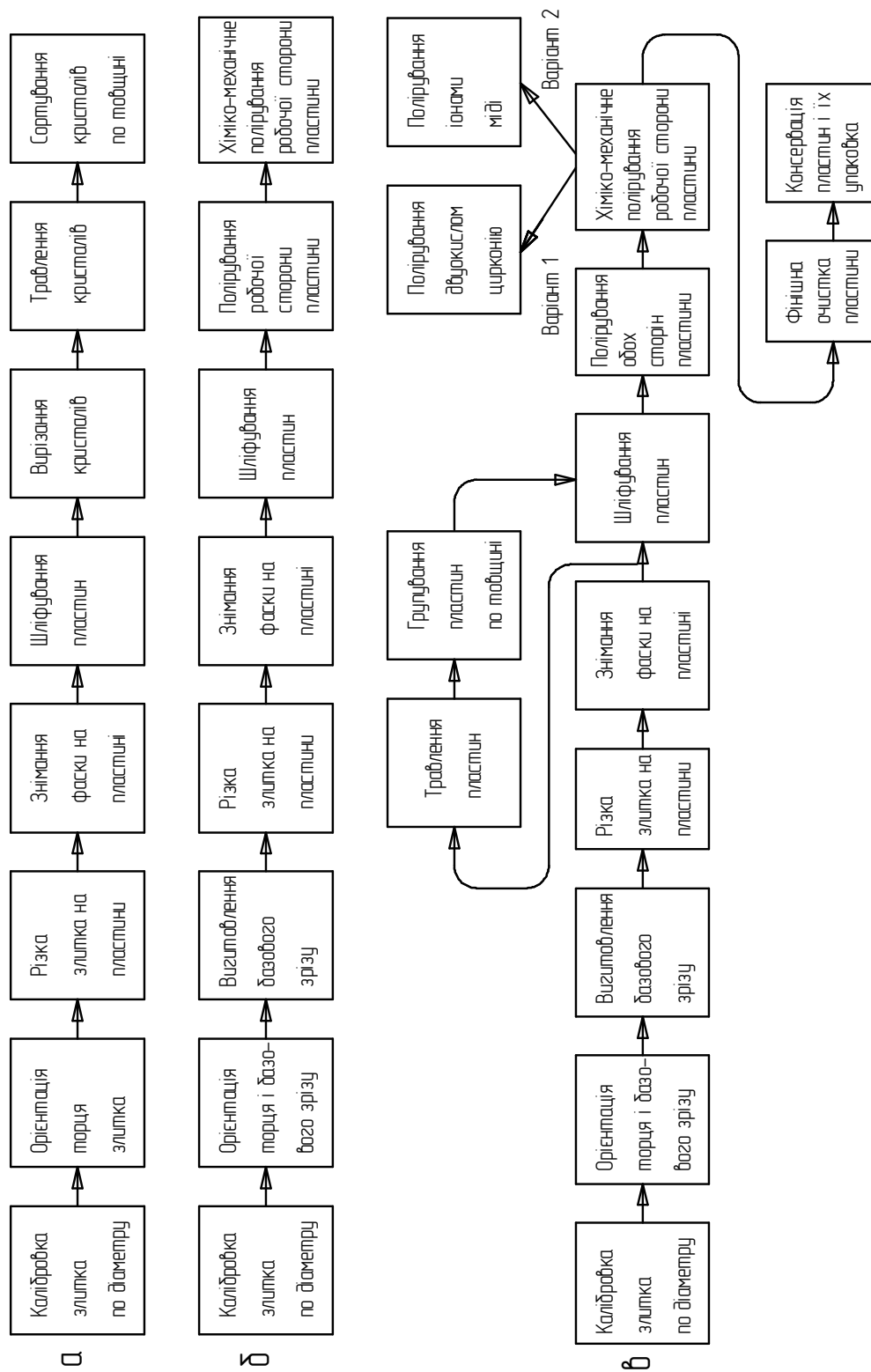


Рис. 1.1. Технологічні схеми виробництва напівпровідникових пластин
 а – для сплавних і точкових приладів; б – для мезапланарних приладів;

в – для ІМ і БІС приладів – сплавних, мезапланарних та планарних.

Чим більші дефекти, тим більший вплив вони спричиняють на параметри приладів. Тому головним завданням технологічного процесу виготовлення напівпровідникових пластин є гарантоване видалення відповідних дефектів, що виникають при механічній обробці. В залежності від глибини порушеного шару призначаються відповідні між операційні припуски, які і забезпечують видалення дефектів. Глибина порушеного шару не постійна навіть для одного і того ж верстата і технологічного процесу. Незначні зміни в технологічному процесі: степінь зносу інструмента, зернистість і концентрація мікропорошку – приводять до зміни глибини порушеного шару. Тому припуск повинен призначатися по найбільшому значенні, отриманому при дослідженні конкретного технологічного процесу.

Таким чином для виготовлення напівпровідникових пластин необхідним є найрізноманітніше по характеру обладнання – електрофізичне, механічне і технімічне. Широко застосовуються верстати загального призначення: круглошліфувальні (для калібрування злитків), плоскошліфувальні (для виготовлення базового зрізу), ультразвукове (для вирізання круглих кристалів), відрізні (для різки злитків на заготовки і виготовлення базового зрізу). Але для виконання основних технологічних операцій застосовується спеціальне обладнання.

1.2 Аналіз обладнання для механічної обробки пластин

Пошук заданої кристалографічної площини, визначення кута розорієнтації поверхні торця злитка відносно неї і виведення поверхні пластин, що відрізаються від злитка в задану площину з точністю 1^0 проводиться на спеціальному обладнанні оптичним або рентгенівським методами.

Оптичний метод полягає в орієнтації монокристалів по світловим фігурах і використовує специфіку поверхні, отриманої при хімічному травленні монокристалу в селективних травильниках. Протравлена поверхня відбиває світлові

промені в строго визначеному напрямі. При цьому відбиваюча поверхня завжди співпадає з кристалографічною площинною.

Орієнтування кристалів рентгенівським методом проводиться на рентгенівських дифрактометрах загального призначення типів УРС-50ИМ, ДРОН – 2,0. Рентгенівські промені, що виходять з рентгенівської трубки, попадають на досліджуваний зразок, відбиваються від поверхні злитка і попадають в лічильник Гейзера. По інтенсивності відбитого рентгенівського пучка визначають кристалографічну площину.

Розрізання злитків на пластини проводиться методом алмазної різки. Інструментом для алмазної різки є круг кільцеподібної форми, на внутрішню кромку якого нанесені алмазні зерна зернистістю від 40 до 60 мкм. По способу розташування і подачі алмазного круга всі існуючі моделі верстатів різки можна розділити на три типи: верстати з горизонтально розташованим нерухомим шпинделем; верстати з вертикально розташованим нерухомим шпинделем; верстати з коливним горизонтально розташованим шпинделем.

Недоліком верстатів першого типу є знос направляючих супорта, що означає втрату точності. Крім цього, існує обмеження по довжині злитка, що розрізається (90 мм). В верстатах другого типу вал шпинделя пустотілий. Діаметр вибирається таким, щоб через нього вільно проходив злиток. Це дозволяє розрізати злитки будь-якої довжини. Такий вал потребує застосування прецизійних підшипників великих розмірів, що пов'язане з збільшенням лінійної швидкості і з посиленням зносом підшипників. Крім цього присутній знос направляючих супорта, як і у верстатів першого типу. З точки зору експлуатаційних властивостей найкращою є конструкція верстатів третього типу. Замість направляючих поперечної подачі в них застосований поворотний важіль. На ньому закріплений весь шпиндельний вузол з відрізним кругом. До верстатів побудованих по першій схемі, відносяться моделі 2405, “Алмаз -4”, TS –21, TS – 23; по другій схемі - ASM-10, DS-350; по третій схемі – моделі 3,5 X 18 та 4,0 x 24, “Алмаз – 6М”.

На верстатах третього типу, наприклад, в моделей 3,5 X 18 та 4,0 x 24 привод і барабан з відрізним кругом кріпляться на поворотному важелі і коливаються на роликівих підшипниках з нульовим зазором. Коливання шпиндельного вузла з здійсненням поперечної подачі здійснюється гідравлічним приводом. Поздовжня подача злитка на крок здійснюється за допомогою точного ходового гвинта і крокового двигуна. Всі ці конструктивні особливості верстата дозволяють отримати високу точність при високій продуктивності. Найбільше відхилення товщини пластин, що відрізаються на верстаті моделі 4,0 x 24 складає $\pm 0,007$ мм. Верстат дозволяє розрізати злитки діаметром до 101,6 мм, довжиною до 609,6 мм. Частота обертання алмазного круга від 2000 до 5000 об/хв. Верстат має вакуумну присоску для утримання і відведення відрізаної пластини. Автоматичне знімання пластин та автоматична зупинка верстата при відрізанні заданої кількості пластин дозволяє одному робітнику одночасно обслуговувати до п'яти верстатів.

Сучасні верстати для шліфування пластин діляться на дві групи: верстати для шліфування вільним абразивом – абразивною суспензією та верстати для шліфування зв'язаним абразивом – абразивними кругами. Верстати для шліфування вільним абразивом в свою чергу діляться на два типи: для односторонньої та двосторонньої обробки. При односторонній обробці пластини обробляються з обох сторін по чергово, при двосторонній – шліфуються та поліруються одночасно обидві сторони пластин. По способу кріплення пластин розрізняють верстати з наклейкою, вакуумним кріпленням та вільною укладкою в спеціальні плоскі касети – сепаратори.

Верстат одностороннього шліфування одночасно може служити і для полірування пластин. Верстати моделей СХМП-1, Ю1 МЗ.105.004, Speed FAM32, Speed FAM 20B5L, SOMOS MDF750 дозволяють обробляти одночасно 20 пластин діаметром до 100 мм. Для суперфінішної обробки використовуються верстати МЕСАРОЛ 660.

Для отримання пластин точної геометрії застосовують верстати двосторонньої обробки СДШ-100, СДП-100, Speed FAM 16B5P та AL-2F. Головною конструктивною особливістю цих верстатів є планетарний механізм, який забезпечує планетарний рух пластин між двома шліфувальниками, що і забезпечує високі плоскопаралельність та площинність пластин, що обробляються. Пластини, що обробляються, закладаються в отвори зубчастих сепараторів, які знаходяться в зачепленні з центральною шестернею та периферійним зубчастим колесом. Зубчасте колесо і центральна шестерня обертаються від одного привода в одну й ту ж сторону, але з різними швидкостями. За рахунок цього сепаратори рухаються по шліфувальнику і одночасно обертаються навколо своєї осі. Закладка пластин проводиться при піднятому верхньому шліфувальнику. В зону шліфування подається абразивна суспензія. Верстати для одночасного двостороннього шліфування використовуються також і для полірування пластин. Для цього на шліфувальники натягують замшу. Для подачі абразивної суспензії в зону полірування, в замші і в верхньому шліфувальнику є отвори.

Верстати для шліфування зв'язаним абразивом розділяють по схемі шліфування на верстати, що працюють по схемі плоского (торцевого) шліфування і по схемі врізного шліфування. По схемі врізного шліфування працюють верстати моделей САШ-420М, САШ-100, САШ-150. По схемі плоского (торцевого) шліфування працюють верстати моделей СПШ-1, МШ-259, СПШП-1, МРС-R600.

Верстати типу САШ-3 і САШ-420М призначені для шліфування пластин діаметром до 60 мм, САШ-150 – до 150 мм. Принципово всі ці моделі верстатів побудовані по одній схемі: три шпинделя з частотою обертання 9000 –

14000 об/хв; стіл з вакуумними присосками, який обертається з частотою 0,5 – 5 об/хв. Механізм вертикальної подачі шпинделів являє собою пару гвинт – гайка. Для створення вакууму в присосках каруселі служить вакуумний агрегат, в який входять два насоса типу ВНЗ. Для вловлювання води передбачена ловушка у вигляді герметичного бака.

Для шліфування на верстаті САШ-420М застосовуються алмазні круги чашечного типу зернистістю АСМ 80/60, АСМ28/20, АСМ 14/10. Застосування дрібнозернистого круга АСМ 14/10 гарантує отримання 11 –12 класів шорсткості поверхні.

Верстат типу СПШ-1 має два незалежних один від одного шпинделя, частота обертання яких 2400 об/хв. Шліфувальні столики обертаються з частотою 350 об/хв. На одному шпинделі проводиться попереднє шліфування: алмазним кругом АС 12 для кремнію або АС 6 для германію, а на другому – чистове шліфування АСМ 40 для кремнію або АСМ 28 для германію. Пластини наклеюються на столики. Круг опускається під дією ваги шпинделя.

Верстати, які працюють по схемі врізного шліфування, знайшли широке застосування для зішліфовування товстих (до 700 мкм) полікристалічних шарів при виробництві інтегральних мікросхем з діелектричною ізоляцією. За один оберт столу трьома кругами різної зернистості знімається шар кремнію товщиною 50-90 мкм. Весь припуск зішліфовується в залежності від товщини пластини за 6-12 обертів столу.

Установки травлення застосовуються при виконанні операції травлення злитків і пластин, які проводяться з метою видалення порушеного шару, що виникає при механічній обробці. Стравлювання порушеного шару на пластинах дозволяє позбутися прогину пластин (ефект Тваймена), скоротити припуск і зменшити брак на наступній операції шліфування.

Забруднення видаляють по черзі: механічні частинки – промивкою в ультразвуковій ванні, щітками і пензликами; органічні з'єднання – обробкою в киплячих розчинниках типу трихлоретилен, ацетон, бензин; солі і метали –

кип'ятінням в окиснювально-відновлювальних розчинах. На проміжних стадіях виготовлення пластин очистку їх поверхні проводять частково, переслідуючи одну з нижче перелічених цілей:

- видалення забруднень, які можуть вплинути на точність контролю пластини;
- видалення механічних частинок, більших по розміру, ніж абразив, що застосовується на наступній операції;
- підготовка поверхні пластин для можливості проведення таких чутливих до забруднення операцій, як хімічне травлення та хіміко-механічне полірування.

Очистка в повному об'ємі проводиться лише після остаточної механічної операції. Ціллю фінішної очистки є зниження рівня забруднень на поверхні пластини до рівня домішок в вихідному монокристалі. За звичай концентрація домішок в вихідному монокристалі германію і кремнію не перевищує 0,0001 %. Ця вимога є найважливішою для всього комплексу технологічного обладнання.

Для травлення кремнієвих і германієвих пластин використовується ряд установок, основними вузлами яких є ванна травлення, ванна промивки, блок сушки пластин, стіл і скафандр з витяжкою. Пластини вкладаються в спеціальні касети з фторопласта. Травлення і попередня промивка проводяться автоматично по заданій програмі. Степінь відмивки пластин контролюється автоматично по різниці опору деіонізованої води на вході і виході ванни. Завантаження пластин в фторопластову касету і перевантаження їх в транспортну тару після травлення здійснюється як вручну так і автоматично з допомогою спеціальних блоків вивантаження та завантаження пластин.

В залежності від типу забруднення поверхні пластин застосовують ті чи інші методи і відповідне обладнання для очистки пластин. Пластини після алмазної різки злитків, а також після шліфування вільними мікропорошками очищаються від шламу та абразивних частинок на установках ультразвукової очистки в проточній деіонізованій воді. Пластини, поліровані алмазними пастами, очищають від пасти і шламу на установці відмивки в миючому розчині. Після фінішної хіміко-механічної поліровки пластини очищають послідовно на

установках відмивки в миючих розчинах, в перекисних розчинах та на установці гідромеханічної очистки пластин.

Комплектування установок в лінії очистки проводиться в залежності від конкретного призначення і технологічного процесу. Ще більші можливості в комплектуванні ліній і дільниць очистки відкриваються при блочній побудові установок на базі пилезахищеного боксу. Окремі блоки відмивки взаємозамінні і можуть бути підібрані в одному й тому ж скафандрі (боксі) в будь якій комбінації. Гідромеханічне очищення пластин здійснюється на установці SVG.

Після фінішної очистки пластини контролюють на відповідність технічним умовам. Частина параметрів: діаметр пластин, орієнтація поверхні по заданій кристалографічній площині, відсутність порушеного шару, довжина і орієнтація базового зрізу – гарантується технологічним процесом. Решта параметрів перевіряють на фінішному контролі. При цьому контролюють товщину пластин, неплоскостність, непаралельність, прогин, степінь очистки поверхні, шорсткість поверхонь, наявність і довжину рисок, тріщин, плям, сколів.

Контроль товщини, неплоскостності, непаралельності, прогину пластин проводять при допомозі індикаторів годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм. Більш точні заміри товщини проводять на оптичному довжиномірі ИЗВ-2, який дозволяє заміряти товщину з точністю $\pm 0,0005$ мм а також на інструментальному мікроскопі МИИ-4.

В останній час широко застосовуються прилади безконтактного контролю геометричних параметрів пластин. Ці прилади дозволяють проводити виміри швидко з високою точністю, не пошкоджуючи і не забруднюючи робочу поверхню пластини. Їх принцип дії оснований на зміні перепаду тиску повітря, що витікає з сопла або зміні ємності системи електрод – столик при введенні в неї пластин різної товщини. Наприклад, в безконтактному приладі для виміру товщини моделі 6033 фірми ADE Corp (США) використовується ємнісний датчик: ціна поділки 0,0001 мм; межі вимірювань 0 – 1 мм.

Якість очистки поверхні, риси плями і сколи контролюють на установках візуального контролю пластин моделі СА-710, СА-720. На всіх установках візуальний контроль проводиться оператором з допомогою оптичного мікроскопа. Застосовують мікроскопи моделей МБС-2, МБС-9, МБИ-11.

В якості транспортера часто використовується так звана повітряна подушка. Пластини направляються в касету повітряним струменем, не торкаючись транспортера, що виключає їх пошкодження і забруднення матеріалом транспортера.

Замість оптичного мікроскопа в установках контролю часто застосовують проектори, які значно знижують втомлюваність оператора.

Оцінку кількості мікрозабруднень на поверхні пластини проводять на приладі типу ИЧ-2. Робота приладу основана на залежності коефіцієнта тертя спокою між двома поверхнями від кількості забруднень. Прилад працює в діапазоні забруднень $10^{-6} - 10^{-9}$ г/см².

Деякі дефекти поверхні (прогин, не площинність, тріщини, ямки та ін.) контролюють при допомозі лазерних інтерферометрів – установок контролю полірованих пластин типів УКП-1, УКП-2. Про якість поверхні судять по інтерференційній картині, яка складається з чорно-білих ліній та смуг. Продуктивність такого контролю 60 – 100 пластин/год.

Схема зняття фаски на напівпровідниковій пластині приведена на рис. 1.2. Фаска має фігурну форму, контур якої складається з прямої з нахилом до площини пластини у 20° і дуги певного радіуса.

Фаски на напівпровідниковій пластині методом шліфування знімають для:

- усунення сколів, які виникли при відрізання пластин зі злитка;
- запобігання появи сколів подальших технологічних операціях і транспортуванні;

- усунення можливості наростання “корони” на краях пластини при проведенні хіміко-технологічних операцій (дифузійні процеси, фотолітографія тощо).

Розміри фаски залежать від товщини напівпровідникової пластини.

Фаски характеризуються номером, який визначає її розміри. Номер фаски визначають за формулою:

$$N = \frac{h}{25,4},$$

h - товщина напівпровідникової пластини в мкм;

25,4 мм – значення одного дюйма в мм.

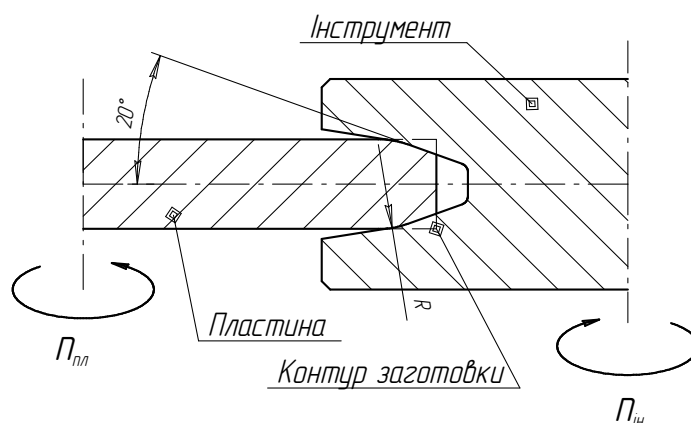


Рис. 1.2. Схема зняття фаски на пластині

Зняття фаски на напівпровідниковій пластині здійснюється фрезою певного профілю з алмазним покриттям ріжучої поверхні при високій лінійній швидкості ($v = 1600 \dots 1700$ м/хв.).

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1. Опис конструкції машини для шліфування фасок

Машина для шліфування фасок являє собою напівавтоматичну установку. Вона має такі основні робочі органи:

1. Шпиндель з робочим столиком для утримання пластини і надання їй головного робочого руху - обертання відносно вертикальної осі в процесі обробки.

2. Супорт, який призначений для закріплення інструменту (алмазного круга) і подачі його у зону обробки пластини.

3. Позиціонер – пристрій для юстування заготовки відносно копіра.

4. Механізм подачі інструментальної головки.

5. Пристрій вертикального переміщення інструментальної головки для виставлення інструменту відносно заготовки при наладці.

6. Привід головного руху – обертання шпинделя.

7. Привід подачі – поворот супорта відносно вертикальної осі.

8. Привід позиціонера – поступальне переміщення фіксатора до контакту з копіром.

Корпус машини (УШФ-2М.00.00.00СК) складається з каркасу нижнього 9, каркасу проміжного 8 і боксу 6. У боксі 6 на основній плиті 29 розміщено такі основні вузли: шпиндель 1, супорт 2, позиціонер 3, упор 4.

У каркасі 8 під основною плитою розміщено електронний блок, привод шпинделя, привід позиціонера, шляховий датчик 7 положення шпинделя і привід супорта 5.

З тилу каркаса 9 розміщені елементи пневмосистеми: блок 13 підготовки повітря та блок пневматичний 14.

Там же розміщені ежекторний вакуумний пневмонасос 11, сильфонний датчик вакууму 10, вхідний водяний вентиль 19 і зливний штуцер 12 води.

2.2. Опис конструкції шпindelного вузла

Складальне креслення шпindelного вузла показано на аркуші УШФ-2М.01.00.00 СК. Він складається з вакуумного столика 19 для закріплення кремнієвої пластини, вакуумної муфти (7,8), електродвигуна 61, роз'ємної муфти (4,5).

Вакуумний столик кріпиться до фланця вала 13 трьома парами гвинтів 32, три із яких працює на розпирання. Цим забезпечується виставлення столика у горизонтальне положення. Герметичність між нижньою площиною вакуумного столика і фланцем вала 13 забезпечується ущільнювачем 63.

Вал 13 шпindelного вузла змонтований у підшипниковому вузлі, корпус 15 якого закріплюється до основної плити гвинтами 35.

Для подачі вакууму до робочого столика служить канал у валу 13 і вакуумна муфта (7,8), яка забезпечує сполучення штуцера 10 з каналом вала 13. Штифт 9 служить для фіксації корпусу вакуумної муфти відносно корпусу 15 підшипникового вузла (запобігання від провороту).

До вала 13 установочним гвинтом 40 закріплена фланцева втулка 6, до якої гвинтами 39 кріпляться змінні копії 20 і якір 2 з постійним магнітом 22 шляхового давача.

Вибір зазорів у шарикопідшипниках здійснюється гайками 14.

Двигун-редуктор 61 кріпиться соосно до вала 13 на плиті 1, яка на трьох стояках 3 закріплена до основної плити.

Напівмуфта 5 встановлена на втулці 4 з можливістю переміщення по шпонці 55 і закріплена гвинтом 37. Така конструкція забезпечує можливість оперативної заміни копії.

2.3. Опис конструкції супорта

Складальне креслення супорта показано на аркуші УШФ-2М.02.00.00 СК. Він складається з інструментальної головки 01, механізму повороту, механізму подачі і пристрою копіювання. Інструментальна голо-

вка 01 закріплена на важелі 18, який у свою чергу закріплений до корпусу 6 механізму повороту. Механізм повороту змонтовано на осі 1, яка фланцем закріплена до основної плити. На осі 1 установлена з можливістю поступального руху втулка 4, в якій розміщено сухар 15 і гвинт 20 з лімбовою головкою 11. На втулці 4 на підшипниках 52 установлено з можливістю повороту корпус 6. При обертанні головки 11 втулка 4 разом з корпусом 6, важелем 18 і інструментальною головкою 01 переміщається у вертикальному напрямі, чим забезпечується виставлення інструменту відносно об'єкта обробки. Фіксація втулки 4 відносно осі здійснюється гвинтом 34. На корпусі 6 закріплено важіль 04, який тросовою передачею зв'язаний з шальками механізму подачі інструменту.

Пристрій копіювання змонтовано на корпусі 3, який у підшипниках 53 має можливість повертатися відносно осі 1. До корпусу 3 закріплено два важелі 16 і 19. На важелі 16 розміщено ролик 02, який в процесі роботи контактує з копіром. Постійний контакт ролика і копіра здійснюється пружиною 17. На важелі 19 розміщено гвинт 22, який контактує з важелем 04. Поворотом цього гвинта забезпечується регулювання глибини різання.

2.4. Визначення продуктивності машини

Вхідними даними для визначення продуктивності машини є тривалість обробки (шліфування фасок), тривалість робочих і холостих ходів робочих органів, час завантаження і розвантаження робочої позиції.

1. Для позиціонера:

- $t_{1p} = 0,5$ с – час робочого ходу позиціонера від неробочої позиції до контакту фіксатора з копіром;

- $t_{1x} = 0,3$ с – час холостого ходу – відведення позиціонера.

2. Для позиції завантаження:

- $t_{2p} = 5$ с – тривалість установки і позиціонування заготовки на робочому столику;

- $t_{2x} = 5$ с – тривалість розвантаження – знімання обробленої пластини з робочого столика.

3. Для пристрою закріплення заготовки на вакуумному робочому столику:

- $t_{3p} = 0,5$ с – тривалість закріплення заготовки на робочому столику – час відкачування порожнини столика до досягнення під заготовкою необхідного вакууму ($0,5$ кгс/см²).

- $t_{3x} = 0,2$ с – тривалість розкріплення обробленої пластини – час натікання повітря у порожнину столика до досягнення під пластиною атмосферного тиску.

4. Для шпинделя – час роботи (обертання) залежить від тривалості процесу обробки.

5. Для інструментальної головки – час роботи (обертання) залежить від тривалості процесу обробки.

6. Для супорта:

- $t_{6p} = 1$ с – час підведення інструментальної головки до робочого столика (до контакту інструмента з заготовкою);

- $t_{6x} = 0,5$ с – час відведення інструментальної головки від робочого столика.

Час обробки пластини залежить від її типорозміру і припуску на обробку і знаходиться у межах $t_{6po} = 25...30$ с.

Тривалість робочого циклу:

$$T = t_{1p} + t_{2p} + t_{3p} + t_{1x} + t_{6p} + t_{6p0} + t_{6x} + t_{3x} + t_{2x} .$$

Визначаємо тривалість робочого циклу:

$$T = 0,5 + 5,0 + 0,5 + 0,3 + 1,0 + 30 + 0,5 + 0,2 + 5,0 = 43,0 \text{ с} .$$

Циклова продуктивність машини:

$$Q_{ц} = \frac{3600}{T} = \frac{3600}{43} = 83,73 \text{ шт/год.}$$

Визначаємо фактичну продуктивність машини:

$$Q_{ф} = Q_{ц} \cdot \eta_{в} = 83,73 \cdot 0,8 = 67 \text{ шт/год,}$$

де $\eta_v = 0,8$ – коефіцієнт використання машини.

Визначаємо потребу у кількості k машин для виробництва виходячи із заданої річної програми випуску виробів і змінністю роботи машини. Тоді

$$k = \frac{\Pi}{Q_{\phi} \cdot \Phi \cdot Z} = \frac{100000}{67 \cdot 2000 \cdot 1} = 0,75,$$

де $\Pi = 100000$ шт – річна програма випуску виробів;

$\Phi = 2000$ год – річний фонд робочого часу при однозмінній роботі;

$Z = 1$ – число змін роботи машини;

$Q_{\phi} = 67$ шт/год – фактична продуктивність машини.

Тобто для виконання заданої річної програми виробництву достатньо одної машини.

2.5. Кінематична схема машини

Кінематична схема машини зображена на аркуші графічної частини проекту (УШФ2М-00.00.00 К3).

Вона містить у собі такі основні вузли:

- шпиндель (поз.10...15);
- супорт (поз.23...28);
- механізм подачі (поз.32...42);
- позиціонер (поз.1...9).

Шпиндель призначений для надання об'єкту обробки робочого руху – обертання кремнієвої пластини. Шпиндель містить вал III, який встановлено у безлюфтовому підшипниковому вузлі, привод (двигун-редуктор 22 типу РД9 і муфта 8) і вакуумну муфту 13. На валу III закріплені жорстко планшайба 12 і маточина 14. До планшайби 12 закріплюють змінні вакуумні робочі столики 10. До маточини 14 закріплюють змінні копії 15. У верхній частині вала III виконано центральний канал для підведення вакууму до робочого столика. Конструкція муфти забезпечує зручність заміни копіїв 15. Для зупинки шпинделю

у певному положенні служить герконовий датчик 18, магніт 19 якого закріплений до маточини 14.

Супорт призначений для надання обертового руху інструменту, підведення інструменту до об'єкта обробки і копіювання контуру пластини. Він містить два підшипникові вузли, які змонтовані у корпусах 25 і 28, і встановлені на осі 27. Вісь 27 жорстко закріплена до станини 43. До корпусу 25 закріплено важіль 24, на якому розміщена головка інструменту (абразивного круга 17), який закріплено на валу II. До корпусу 28 закріплено важіль 21, на якому розміщено ролик 20, який контактує з копіром 15. Постійний контакт ролики з копіром забезпечується пружиною 39. У порожнині верхньої частини осі 27 змонтовано механізм вертикального переміщення головки з інструментом. Він складається з гвинтової пари 31, гайка якої з'єднана з втулкою 26, а гвинт – з лімбовою головою 29. Гвинт 44 служить для фіксації (після настройки) втулки 26 з віссю 27. Для привода інструменту служить двигун 35 (типу 4АА М50В2У3) і дві пасові передачі (34 - 30) і (23 - 16).

Механізм подачі інструменту 17 до об'єкта обробки (пластини 11) складається з важеля 32, жорстко з'єданого з корпусом 25, а відповідно і з головою інструмента, важеля 33, жорстко з'єданого з корпусом 28, а відповідно і з роликом 20, гвинта 38 і шальок 42, підвішених на тросику і через систему блоків з'єднаних з важелем 32. Сила різання підбирається відношенням і вагою шальок 42. Для відведення інструменту служить пневмоциліндр 40.

Позиціонер служить для юстування об'єкта обробки 11 відносно копіра 15. Він складається з фіксатора 7 і плоского фланцевого позиціонера 9, який закріплено на мікрометричному гвинті 3.

Фіксатор 7 і мікрометричний гвинт 3 з позиціонером 9 закріплено на вертикальному стояку 5, який жорстко через важіль з'єднано з корпусом підшипникового вузла 4. Таким чином, фіксатор 7 і мікрометричний гвинт 3 з позиціонером 9 мають можливість здійснювати коливальний рух відносно вертикальної осі підшипникового вузла 4.

Робочий хід фіксатора здійснюється пневмоциліндром 1, зворотній хід – пружиною 6. Датчик 2 призначений для відслідковування крайнього лівого положення фіксатора.

2.6. Розрахунок кінематичної схеми машини

Вхідними даними для розрахунку кінематичної схеми є швидкість різання (лінійна швидкість руху робочої кромки інструменту – алмазного круга $v = 1650$ м/хв (27,5 м/с) і діаметр інструменту $D_{кр} = 53$ мм.

Швидкість різання [4]:

$$v = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000},$$

де $n_{кр}$ - частота обертання інструменту.

Визначаємо частоту обертання інструменту

$$n_{\dot{\delta}} = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot D_{\dot{\delta}}} = \frac{1650 \cdot 1000}{3.14 \cdot 53} = 9910 \text{ хв}^{-1}.$$

Задаємося попередньо частотою обертання двигуна $n_{дв} = 2700$ хв⁻¹.

Визначаємо загальне передавальне відношення кінематичного ланцюга

$$i_o = n_{кр}/n_{дв} = 9910/2700 = 3,67.$$

Застосовуємо дві пасові передачі. Тоді

$$i_o = i_{п1} \cdot i_{п2}$$

де $i_{п1}$ - передавальне відношення першої пасової передачі;

$i_{п2}$ - передавальне відношення другої пасової передачі.

Приймаємо передавальне відношення другої пасової передачі $i_{п2} = 2$.

Тоді передавальне відношення першої пасової передачі

$$i_{п1} = i_o / i_{п2} = 3,67 / 2 = 1,835.$$

Виходячи із конструктивних міркувань, враховуючи розміри інструменту приймаємо діаметр шківів на інструментальній головці

$D_4 = 28$ мм, тоді

$$D_3 = D_4 \cdot i_{n2} = 28 \cdot 2 = 56 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр шківів на валу двигуна $D_1 = 76$ мм, тоді діаметр шківів на проміжному валу

$$D_2 = D_1 / i_{n1} = 76 / 1,835 = 41,41 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр шківів на проміжному валу $D_2 = 42$ мм.

Складаємо рівняння кінематичного балансу і визначаємо уточнене значення частоти обертання вала інструмента.

$$n_{кр} = n_{дв} \cdot u_0 = n_{дв} \cdot i_{n1} \cdot i_{n2} = n_{дв} \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{D_3}{D_4} = 2700 \frac{76}{42} \cdot \frac{56}{28} = 9771 \text{ хв}^{-1}.$$

Визначаємо уточнене значення швидкості різання

$$v = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 53 \cdot 9771}{1000} = 1627 \frac{\text{м}}{\text{хв}} = 27,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відхилення уточненого значення швидкості різання від заданого у процентах складає

$$\Delta v = \frac{(27,5 - 27,1) \cdot 100}{27,5} = 1,45\%,$$

що є допустимим при кінематичних розрахунках.

2.7. Пневматична схема машини

Пневматичну схему показано на аркуші УШФ-2М.00.00.00 ПЗ. Вона містить блок підготовки повітря А1 і три пневмолінії, перша із яких (КР1-Р1) служить для живлення пневмоциліндрів Ц1, приводу фіксатора з позиціонером і Ц2 приводу упора. Друга пневмолінія (Р3-Др5) служить для живлення пневмоциліндра Ц3 відведення інструментальної головки. Третя (КР2-Р2) - для живлення вакуумного ежекційного пневмонасоса А2, який створює вакуум у робочому столику під об'єктом обробки. Сильфонний вакуумний датчик А4 служить для контролю якості роботи вакуумного ежекційного пневмонасоса.

Блок підготовки повітря А1 складається з вхідного штуцера, вхідного вентиля, манометра для контролю тиску повітря на вході блока, фільтра-

вологовідділювача, редукційного клапана, запобіжного клапана і манометра для контролю тиску повітря на виході блока.

2.8. Розрахунок потужності привода шпинделя

Розрахункова схема для визначення потужності привода шпинделя показана на рис. 2.1. В процесі роботи на валу шпинделя виникають такі моменти опору:

- M_p – момент сили різання;
- M_ϕ – момент сили, що діє на копір від ролика;
- M_y – момент сили тертя ущільнювачів вакуумної муфти;
- M_c – момент сили у сальниковому ущільненні.

Задані параметри:

- $P_p = 40$ Н – сила різання;
- $P_\phi = 50$ Н – сила, що діє на копір від ролика;
- $\Delta p = 0,6$ кгс/см² – різниця атмосферного тиску і тиску розрідження;
- $d_n = 100$ мм – максимальний діаметр пластини, що обробляється.

Визначаємо момент сили різання

$$M_p = P_p \cdot \frac{d_n}{2} = 40 \cdot \frac{0,1}{2} = 2 \text{ Нм},$$

Момент сили, що діє на копір від ролика

$$M_{\phi_0} = P_{\phi_0} \cdot \frac{d_k}{2} = P_\phi \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{d_k}{2},$$

де $d_k = d_n = 100$ мм – діаметр копіра, що дорівнює діаметру пластини;

α – половина центрального кута лиски на пластині.

Визначаємо кут α :

$$\sin \alpha = \frac{H/2}{d_n/2} = \frac{33,5/2}{100/2} = 0,34 ; \alpha = 20^\circ.$$

Визначаємо момент сили, що діє на копір від ролика

$$M_{\phi_0} = 50 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ \cdot \frac{0,1}{2} = 50 \cdot 0,36 \cdot \frac{0,1}{2} = 0,9 \text{ Нм}.$$

Визначаємо силу тертя ущільнювачів вакуумної муфти:

$$P_{ув} = N \cdot f = \pi \cdot d_{ув} \cdot b \cdot \Delta p \cdot f \cdot k = 3,14 \cdot 1,4 \cdot 0,2 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 2 = 6 \text{ Н},$$

де $d_{ув} = 14 \text{ мм}$ – діаметр вала, який ущільнюється;

$b = 2 \text{ мм}$ – ширина контактної зони ущільнювача;

$\Delta p = 0,6 \text{ кгс/см}^2$ - різниця атмосферного тиску і тиску розрідження;

$f = 0,5$ коефіцієнт тертя гуми по сталі;

$k = 2$ – число манжет у муфті.

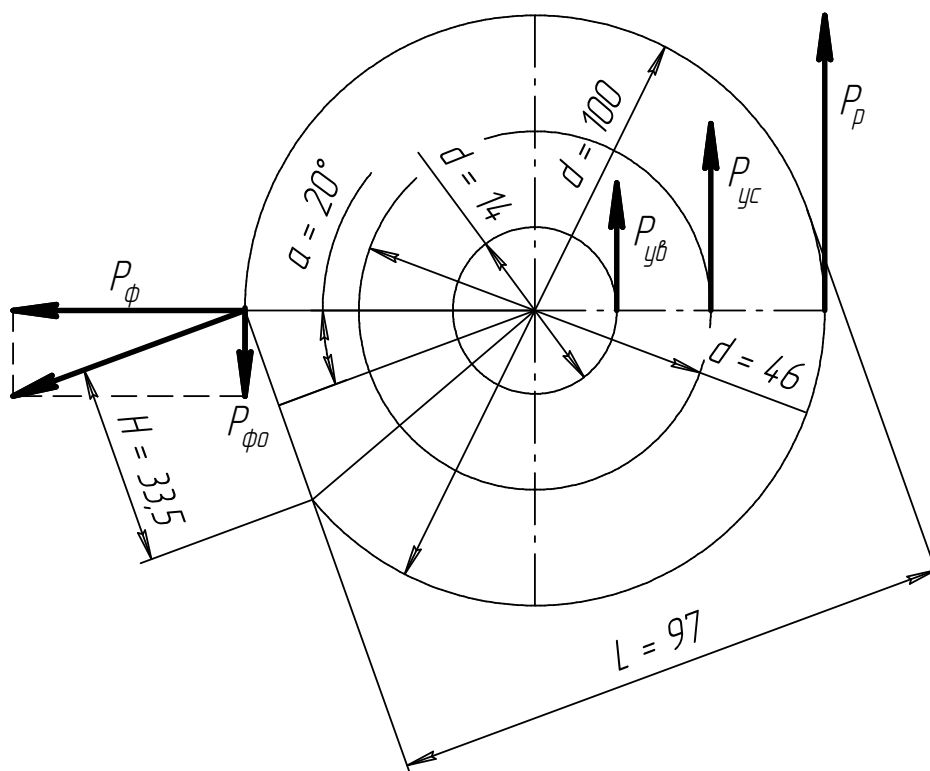


Рис. 2.1. Розрахункова схема для визначення потужності привода шпинделя.

Визначаємо момент сили тертя ущільнювачів вакуумної муфти

$$M_{ув} = P_{ув} \cdot \frac{d_{ув}}{2} = 6 \cdot \frac{0,014}{2} = 0,04 \text{ Нм}.$$

Приймаємо момент сили тертя у войлочному сальниковому ущільненні по аналогії із існуючими конструкціями $M_{yc} = 0,5 \text{ Нм}$.

Таким чином сумарний момент опору на валу шпинделя

$$\Sigma M_{\text{ун}} = \frac{M_p + M_\phi + M_y + M_c}{\eta_{\text{ун}}^2 \cdot \eta_m} = \frac{2 + 0,9 + 0,04 + 0,5}{0,99^2 \cdot 0,98} = 3,44 \text{ Нм.}$$

де $\eta_{\text{шп}} = 0,99$ – к.к.д. шарикопідшипника;

$\eta_m = 0,99$ – к.к.д. муфти.

Визначаємо потужність привода шпинделя:

$$N_{\text{ун}} = \Sigma M_{\text{ун}} \cdot \omega \cdot \eta_n^2 \cdot \eta_m = \Sigma M_{\text{ун}} \cdot 2\pi \cdot \frac{n_{\text{ун}}}{60} = 3,44 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{8,7}{60} = 3,13 \text{ Вт}$$

Із каталогу вибираємо електродвигун з найближчою більшою потужністю – асинхронний, з короткозамкненим ротором, вмонтованим у редуктор, типу РД-09 з такими технічними даними [2]:

- $N_{\text{д.ном}} = 8,7 \text{ хв}^{-1}$ – частота обертання вала;

- $N_{\text{д.ном}} = 8 \text{ Вт}$ – номінальна потужність двигуна.

2.9. Розрахунок потужності привода інструмента

(алмазної фрези)

Вхідними даними для розрахунку потужності привода інструмента є:

- $P_p = 40 \text{ Н}$ – сила різання;

- $n_i = 9910 \text{ хв}^{-1}$;

- $d_i = 53 \text{ мм}$.

Визначаємо момент сили різання на валу інструмента при шліфуванні

$$M_{\text{pi}} = P_p \cdot \frac{d_i}{2} = 40 \cdot \frac{0,053}{2} = 0,11 \text{ Нм}$$

Визначаємо потужність, необхідну для привода інструмента

$$N_{\text{pi}} = M_{\text{pi}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{n_i}{60} = 0,11 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{9910}{60} = 114 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність привода інструмента, приведену до валу двигуна [2].

$$N_{\text{pi-д}} = \frac{N_{\text{pi}}}{\eta_o} = \frac{114}{0,86} = 132,5 \text{ Вт}$$

де η_o – загальний к.к.д. механізмів кінематичного ланцюга від двигуна до вала інструменту.

$$\eta_o = \eta_{\text{п}}^2 \cdot \eta_{\text{шп}}^4 = 0,95^2 \cdot 0,99^4 = 0,86 ,$$

де $\eta_{\text{п}} = 0,96$ – к.к.д. пасової передачі;

$\eta_{\text{шп}} = 0,99$ – к.к.д. підшипника кочення.

З каталогу вибираємо двигун з найближчою більшою потужністю – трьохфазний, асинхронний, короткозамкнений, серії 4А (ДСТУ 19523-74), типу 4АН280S2У3 [2] з такими технічними даними:

$N_{\text{д.ном}} = 0,16$ кВт – номінальна потужність двигуна;

$n_c = 3000$ хв⁻¹ – синхронна частота обертання;

Номінальну частоту обертання ротора визначаємо з таблиці.

$n_{\text{д.ном}} = 2700$ хв⁻¹ – частота обертання ротора;

$$K_{\text{пм}} = \left[\frac{M_{\text{д.пус}}}{M_{\text{д.ном}}} \right] = 1,2 \text{ – кратність пускового моменту.}$$

Перевіряємо вибраний електродвигун на пусковий момент.

Визначаємо пусковий момент вибраного двигуна.

$$M_{\text{д.пус}} = K_{\text{пм}} \cdot \frac{N_{\text{д.ном}}}{\omega_{\text{д.ном}}} = 2 \cdot \frac{160 \cdot 30}{3,14 \cdot 2700} = 1,1 \text{ Н·м}$$

Визначаємо момент сил опору при зрушенні з місця, приведений до вала двигуна.

$$M_{\text{оп}} = \frac{M_{\text{pi}}}{i_o} \cdot \frac{f_o}{f} = \frac{0,11 \cdot 3,67}{1} \cdot 2,5 = 1,01 \text{ Н·м}$$

де $M_{\text{pi}} = 0,11$ Н·м – максимальний сумарний момент опору механізму;

$i_o = 1/3,67$ – загальне передавальне число кінематичного ланцюга;

$\frac{f_o}{f} = 2,5$ – відношення коефіцієнтів тертя спокою і тертя руху.

Порівнюємо отриманий пусковий момент $M_{д.пус}$ двигуна з моментом $M_{оп}$ сил опору механізму машини.

Оскільки $M_{д.пус} = 1,1 > 1,01 = M_{оп}$, то вибраний двигун придатний для виконання функцій машини.

2.10. Перевірочний розрахунок вакуумного столика

Вхідними даними для перевірочного розрахунку вакуумного столика є:

- $d_{c1} = 35$ мм; $d_{c2} = 58$ мм; $d_{c3} = 80$ мм – діаметри робочих вакуумних столиків;
- $\Delta p = 0,4$ кгс/см² – мінімальне значення різниці атмосферного тиску і тиску розрідження, при якому може виконуватися шліфування;
- масою пластини нехтуємо.

Проводимо розрахунок вакуумного столика найбільшого діаметра для закріплення пластини діаметром $d_{п3} = 100$ мм.

Визначаємо силу присмоктування пластини до робочого столика

$$P_{в3} = \frac{\pi \cdot d_{c3}^2}{4} \cdot \Delta p = \frac{3,14 \cdot 7,7^2}{4} \cdot 0,4 = 46,6 \text{ кгс} = 466 \text{ Н}.$$

Визначаємо силу тертя між пластиною і робочим столиком

$$T_3 = P_{в3} \cdot f = 466 \cdot 0,5 = 233 \text{ Н}$$

де $f = 0,5$ – коефіцієнт тертя кремнієвої пластини і дюралевого столика.

Визначаємо момент сили, який здатний повернути пластину на столику

$$M_{т3} = T_3 \cdot \frac{d_{c3}}{2} = 233 \cdot \frac{0,077}{2} = 8,97 \text{ Нм}.$$

Порівнюємо отримане значення моменту з моментом різання.

Оскільки $M_{т3} = 8,97 > 2 = M_p$, то робимо висновок, що пластина надійно закріплюється на столику і сила різання не здатна її змістити.

Проводимо розрахунок вакуумного столика для закріплення пластини діаметром $d_{п2} = 76$ мм.

Визначаємо силу присмоктування пластини до робочого столика

$$P_{в2} = \frac{\pi \cdot d_{c2}^2}{4} \cdot \Delta p = \frac{3,14 \cdot 5,8^2}{4} \cdot 0,4 = 26,4 \text{ кгс} = 264 \text{ Н}.$$

Визначаємо силу тертя між пластиною і робочим столиком

$$T_2 = P_{в2} \cdot f = 264 \cdot 0,5 = 132 \text{ Н}$$

де $f = 0,5$ – коефіцієнт тертя кремнієвої пластини і дюралевого столика.

Визначаємо момент сили, який здатний повернути пластину на столику

$$M_{т2} = T_2 \cdot \frac{d_{c2}}{2} = 132 \cdot \frac{0,058}{2} = 3,8 \text{ Нм}.$$

Визначаємо момент сили різання при обробці пластини діаметра $d_{п2} = 75 \text{ мм}$.

$$M_{р2} = P_p \cdot \frac{d_{п2}}{2} = 40 \cdot \frac{0,075}{2} = 1,5 \text{ Нм}.$$

Порівнюємо отримане значення моменту з моментом різання.

Оскільки $M_{т2} = 3,8 > 1,5 = M_{р2}$, то робимо висновок, що пластина надійно закріплюється на столику і сила різання не здатна її змістити.

Проводимо розрахунок найменшого вакуумного столика при обробці пластини діаметром $d_{п1} = 50 \text{ мм}$.

Визначаємо силу присмоктування пластини до робочого столика

$$P_{в1} = \frac{\pi \cdot d_{c1}^2}{4} \cdot \Delta p = \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} \cdot 0,4 = 3,85 \text{ кгс} = 38,5 \text{ Н}$$

Визначаємо силу тертя між пластиною і робочим столиком

$$T_1 = P_{в1} \cdot f = 38,5 \cdot 0,5 = 19,25 \text{ Н}$$

де $f = 0,5$ – коефіцієнт тертя кремнієвої пластини і дюралевого столика.

Визначаємо момент (критичний) сили, який здатний повернути пластину на столику

$$M_{т1} = T_1 \cdot \frac{d_{c1}}{2} = 19,25 \cdot \frac{0,035}{2} = 0,34 \text{ Нм}.$$

Визначаємо момент сили різання при обробці пластини найменшого діаметра $d_{п1} = 50 \text{ мм}$.

$$M_{p1} = P_p \cdot \frac{d_{n1}}{2} = 40 \cdot \frac{0,05}{2} = 1 \text{ Нм.}$$

Порівнюємо отримане значення моменту M_{T1} з моментом різання M_{p1} .

Оскільки $M_{T1} = 0,34 < 1 = M_{p1}$, то робимо висновок, що пластина ненадійно закріплюється на столику і сила різання здатна її змістити.

Для надійного закріплення пластини необхідно або збільшити діаметр робочого столика, або (і) величину вакууму, або зменшити силу різання.

Виходячи із конструктивних міркувань, збільшити діаметр робочого столика неможливо. Збільшити величину вакууму при використанні ежекторного вакуумного пневмонасоса також неможливо. Тому залишається тільки один вихід – зменшити силу різання.

Визначаємо силу різання, яка при вибраних параметрах столика і величини вакууму, не змістить пластину в процесі обробки.

Для цього прирівнюємо значення моменту M_{T1} і моментом різання M_{p1} .

$$M_{T1} = M_{p1}; \quad M_{T1} = P_p \cdot \frac{d_{n1}}{2},$$

звідки знаходимо силу різання для пластини найменшого діаметра

$$d_{n1} = 50 \text{ мм}$$

$$P_{p1} = \frac{2 \cdot M_{T1}}{d_{n1}} = \frac{2 \cdot 0,34}{0,05} = 13,6 \text{ Н.}$$

Результати розрахунків зводимо у табл. 2.4.

Таблица 2.4

№ столика	Діаметр пластини	Діаметр столика	Сила різання, P_p		Момент сили різання	Сила присмоктування	Момент сили присмоктування
			Задана	Розрахована			
	d_n , мм	d_c , мм	P_p , Н		M_p , Нм	P_v , Н	M_T , Нм
1	50	35	-	13,6	1,0	38,5	0,34
2	76	58	40	-	1,5	264	3,80
3	100	80	40	-	2,0	466	8,97

2.11. Розрахунок копіра і ролика на контактну міцність і осі ролика на згин

Схема розрахунку копіра і ролика на контактну міцність і осі ролика на згин показана на рис. 2.2.

Контактні напруження в парі копір-ролик визначається за формулою [1]:

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{N_{\max} \cdot E}{b} \cdot \left(\frac{1}{r_p} + \frac{1}{\rho_y} \right)},$$

де $N_{\max} = 100$ Н – сила притискання ролика до копіра;

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності для якісних сталей;

$b = 10$ мм – довжина контакту ролика з робочою поверхнею копіра;

$r_p = d_p / 2 = 51,5 / 2 = 25,75$ мм - радіус кривизни ролика;

$\rho_y = d_k / 2 = 50 / 2 = 25$ мм – радіус кривизни профілю копіра; приймаємо мінімальне його значення.

Приймаємо матеріал ролика і копіра – сталь 20Х. Робочі поверхні ролика і копіра після цементації і гартування мають твердість HRC 58...62.

Тоді допустиме контактне напруження

$$[\sigma_k] = 280 \cdot (\text{HRC}) = 280 \cdot 60 = 16800 \text{ кгс/см}^2 = 1680 \text{ Н/мм}^2.$$

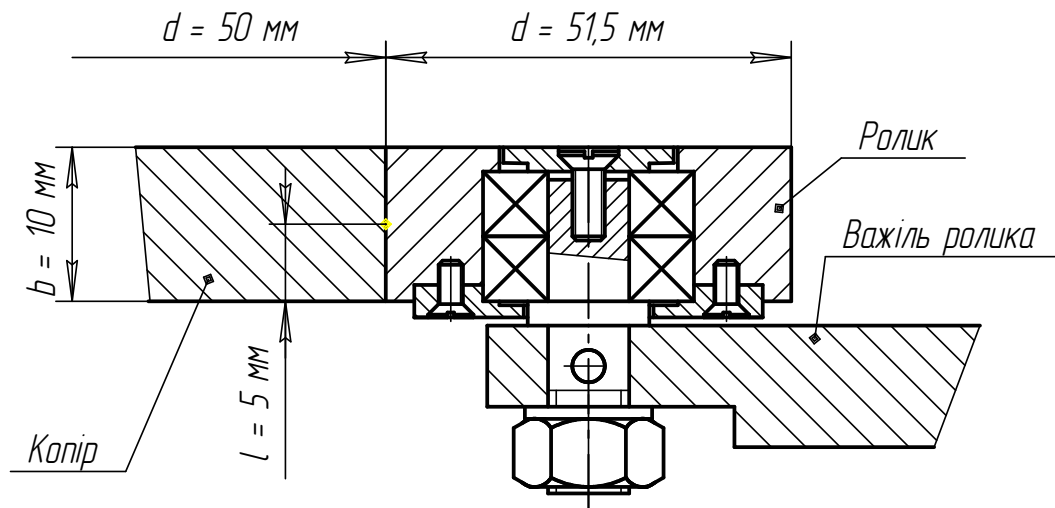


Рис. 2.2. Розрахункова схема копіра і ролика на контактну міцність і осі ролика на згин.

Визначаємо контактні напруження в парі копір-ролик

$$\sigma_k = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{100}{10} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{1}{25,75} + \frac{1}{25} \right)} \approx 1676 \text{ Н/мм}^2.$$

Оскільки $\sigma_k = 1676 < [\sigma_k] = 1680$, то прийняті матеріали і розміри деталей відповідають вимогам міцності.

Перевіряємо вісь ролика на міцність при згині

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W} = \frac{500}{98} = 5,1 \text{ Н/мм}^2,$$

де M_u – момент згину.

$$M_u = N_{\max} \cdot l = N_{\max} \cdot \frac{b}{2} = 100 \cdot \frac{10}{2} = 500 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Тут $l = b/2$ – плече прикладання сили;

$b = 10$ мм – висота ролика.

$$W = \frac{\pi \cdot d_0^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 10^3}{32} = 98 \text{ мм}^3.$$

Тут $d_0 = 10$ мм - діаметр осі ролика, прийнятий із конструктивних міркувань.

Вісь ролика виконана із сталі ШХ 15, в якій допустиме напруження на згин $[\sigma_k] = 400$ Н/мм².

Оскільки $\sigma_u < [\sigma_u]$, то вибрані розміри і матеріал осі ролика відповідають умовам міцності.

2.12. Вибір радіально-упорних підшипників інструментальної головки

Вал з інструментом в корпусі інструментальної головки встановлено у радіально-упорних підшипниках за схемою, показаною на рис. 2.3.

Вхідними даними для розрахунку є:

- $P_p = 40$ Н – сила різання, що прикладена до одного кінця вала;
- $n = 9110$ хв⁻¹ – частота обертання вала;
- $A = 25$ Н – осьова сила;
- $h = 2000$ год - довговічність підшипника;
- $d_b = 10$ мм – діаметр валу.

Вектор навантаження переміщується відносно внутрішнього кільця. Робоча температура підшипників не більше 60° С.

Згідно з розрахунковою схемою [1] для визначення сил R_1 і R_2 , що діють на підшипники необхідно знати силу P_n паса.

Силу P_n визначаємо із рівняння крутного моменту

$$M_p = P_p \cdot D_2/2 = P_n \cdot D_1/2,$$

звідки

$$P_n = \frac{P_p \cdot \frac{D_2}{2}}{\frac{D_1}{2}} = \frac{40 \cdot \frac{53}{2}}{\frac{27}{2}} = 78 \text{ Н} .$$

Складаємо систему рівнянь сум моментів відносно точок А і Б:

$$\sum M_A = R_1 \cdot L_3 + P_n \cdot (L_1 + L_2 + L_3) - R_2 \cdot (L_2 + L_3) = 0$$

$$\sum M_B = R_2 \cdot L_1 + P_p \cdot (L_1 + L_2 + L_3) - R_1 \cdot (L_1 + L_2) = 0.$$

Сила, що діє на правий підшипник

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot (L_2 + L_3) - P_n \cdot L}{L_3},$$

де $L = L_1 + L_2 + L_3 = 15 + 16 + 13 = 44$ мм.

Підставляємо значення сили R_1 у друге рівняння системи:

$$R_2 \cdot L_1 + P_n \cdot L - \frac{R_2 \cdot (L_2 + L_3) - P_n \cdot L}{L_3} \cdot (L_1 + L_2) = 0$$

і визначаємо:

$$R_2 = -\frac{P_n \cdot L \cdot (L_1 + L_2) + P_p \cdot L \cdot L_3}{L_1 \cdot L_3 - (L_2 + L_3) \cdot (L_1 + L_2)} = -\frac{78 \cdot 44 \cdot 31 + 40 \cdot 44 \cdot 13}{15 \cdot 13 - 29 \cdot 31} = 182,8 \text{ Н}$$

Визначаємо силу, що діє на лівий підшипник

$$R_1 = \frac{182,8 \cdot 29 - 78 \cdot 44}{13} = 144,8 \text{ Н}.$$

Перевіряємо правильність розрахунків:

$$P_n + R_1 = P_p + R_2 = 78 + 144,8 = 40 + 182,8.$$

$$222,8 \text{ Н} = 222,8 \text{ Н},$$

тобто розрахунок виконано правильно.

В даному випадку $R_1 < R_2$; $A > 0$, тому для визначення умовних навантажень приймаємо варіант 15 табл. 21 [1]. Тоді, умовне навантаження для підшипника 2 визначається за формулою:

$$Q_2 = \{R_2 \cdot K_k + m [A + (S_2 - S_1)]\} \cdot K_6 \cdot K_T,$$

де $m = 0,7$ – коефіцієнт для підшипників з кутом контакту 26° , рекомендований табл. 19 [1];

S_1 і S_2 – осьові складові сили від радіального навантаження;

K_k - коефіцієнт, що враховує, яке кільце обертається відносно вектора наван-

таження;

K_6 - коефіцієнт, який залежить від характеру навантаження на підшипник;

K_T - коефіцієнт, який залежить від робочої температури підшипника.

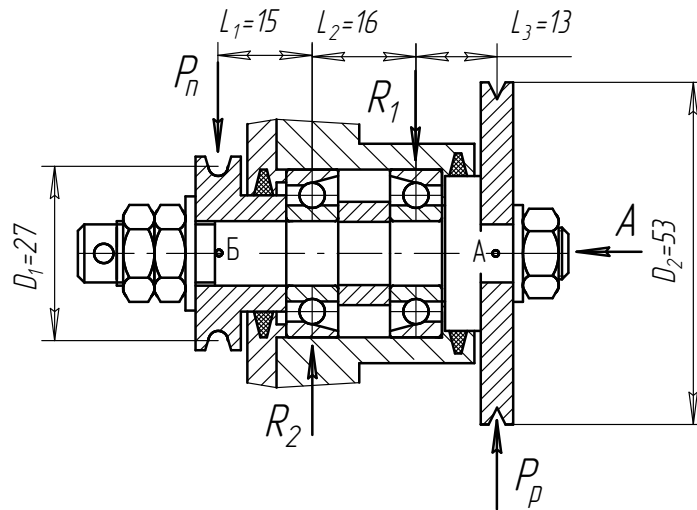


Рис. 2.3. Розрахункова схема для вибору радіально-упорних підшипників інструментальної головки.

Визначаємо осьові складові сили від радіального навантаження:

$$S_1 = 1,3 \cdot R_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1 = 1,3 \cdot 144,8 \cdot 0,487 = 91,7 \text{ Н};$$

$$S_2 = 1,3 \cdot R_2 \cdot \operatorname{tg} \beta_2 = 1,3 \cdot 182,2 \cdot 0,487 = 115,35 \text{ Н},$$

де $\beta_1 = \beta_2 = 26^\circ$.

Виходячи із заданих умов, для обох підшипників приймаємо [1]:

- із табл. 16 $K_6 = 1$ (навантаження спокійне, легкі товчки);

- із табл. 17 $K_T = 1,05$ (робоча температура до 125°C);

- із табл. 18 $K_k = 1,4$ (обертається зовнішнє кільце підшипника).

Визначаємо умовне навантаження підшипника 2:

$$Q_2 = \{182,2 \cdot 1,4 + 0,7 [25 + (115,35 - 91,7)]\} \cdot 1 \cdot 1,05 = 303,6 \text{ Н} = 30,36 \text{ кгс}.$$

Коефіцієнт роботоzдатності підшипника 2 повинен бути

$$C_2 = Q_2 \cdot (n \cdot h)^{0,3} = 30,36 \cdot (9110 \cdot 2000)^{0,3} = 4576.$$

Цьому коефіцієнту роботоzдатності при діаметрі вала 10 мм відповідає радіально-упорний підшипник 46100 з розмірами 10 x 26 x 8.

Для підшипника 1 :

$$Q_1 = R_1 \cdot K_k \cdot K_6 \cdot K_T = 144,8 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1,05 = 202,7 \text{ Н} = 20,27 \text{ кгс.}$$

Коефіцієнт робоздатності підшипника 1 повинен бути

$$C_1 = Q_1 \cdot (n \cdot h)^{0,3} = 20,27 \cdot (9110 \cdot 2000)^{0,3} = 4575.$$

Цьому коефіцієнту робоздатності відповідає такий же радіально-упорний підшипник 46100.

2.13. Технічні дані машини

Число типорозмірів виробів		3
Габаритні розміри виробів, що підлягають обробці	– діаметр	50; 76; 100 мм
	– товщина	0,5...1,0 мм
Частота обертання шпинделю		8,7 хв ⁻¹
Частота обертання інструменту		9910 хв ⁻¹
Енергетичні джерела:	– мережа електрична	3-х фазн. 380 В
	– мережа пневматична	0,5...1,0 МПа
	– мережа водяна	0,2 МПа
Установочна потужність, електродвигуна приводу напівавтомата, Вт		160
Частота обертання двигуна приводу, об / хв.		2700
Споживана потужність, електрична		200 Вт
Габаритні розміри	– висота	1510 мм
	– довжина	940 мм
	– ширина	500 мм
М а с а, не більше		150 кг

ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

В бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблений привід установки шліфування фаски на кремнієвих пластинах. Робота складається з графічної частини та пояснювальної записки.

У технологічній частині бакалаврської кваліфікаційної роботи проведений аналіз технологічного процесу виготовлення кремнієвих напівпровідникових пластин. Проведений аналіз обладнання для механічної обробки напівпровідникових пластин.

Представлена схема зняття фаски на напівпровідниковій кремнієвій пластині.

У конструкторській частині визначений склад установки, приведено опис конструкції та принципу дії установки зняття фаски на напівпровідникових пластинах різного діаметру.

Розроблена конструкція шпинделя для надання головного робочого руху пластині (обертання відносно вертикальної осі в процесі обробки) та робочого столика для утримання пластини і супорта, який призначений для закріплення інструменту і подачі його у зону обробки пластини.

Проведений розрахунок кінематичної та пневматичної схем машини, розрахунок потужності приводу шпинделя та інструменту, розраховані вакуумний столик для закріплення пластини діаметром $d_{пз} = 100$ мм, проектний розрахунок поршневого пневмоциліндра відведення супорту.

В графічній частині проекту приведені кінематична та пневматичні схеми машини, загальний вид машини, шпиндель, супорт, робочі креслення двох деталей.

В додатках проведений розрахунок економічності установки для при виготовленні та її експлуатації, проведена оцінка доцільності проведення даної розробки, розроблені необхідні заходи по покращенню роботи установки з

огляду на техніку безпеки та пожежна профілактика, а також приведені специфікації до складальних креслень.