

УДК 621.914

В.Г. Панчук, к.т.н., доц.

Івано-Франківський університет нафти і газу

Р.П. Родін, к.т.н., с.н.с.

Національний технічний університет України "КПІ"

Н.О. Нощенко, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

ГЕОМЕТРИЯ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ВІДРІЗНИХ ФРЕЗ ЗІ СТРУЖКОВИМИ КАНАВКАМИ ЗМІННОЇ ВИСОТИ

Досліджена конструкція дискової відрізної фрези зі стружковими канавками змінної висоти. Графічно вирішена задача та виведені аналітичні залежності для визначення кута в плані дискових відрізних фрез зі стружковими канавками змінної висоти при різних значеннях переднього та заднього кутів, кута нахилу стружкової канавки та кутів кроку зубців. Досліджено вплив геометричних та конструктивних параметрів на величину головного кута в плані фрези.

Вступ. З метою підвищення працездатності різальна частина відрізних дискових фрез часто проектується таким чином, щоб розділити переріз зрізу по ширині. Відомі різноманітні конструкції різальної частини таких фрез [2]. Проте їх конструкції часто виявляються складними, що призводить до підвищення трудомісткості технологічного процесу виготовлення та переточувань інструмента в процесі експлуатації. Тому в даній статті досліджується конструкція фрези, в якій розділення перерізу зрізу по ширині виконується за рахунок виготовлення стружкових канавок змінної висоти [3]. Така конструкція є порівняно простою у виготовленні.

Особливості конструкції фрез зі стружковими канавками змінної висоти. На рисунку 1 наведена схема різальної частини фрези зі стружковими канавками змінної висоти з переднім кутом $\gamma = 0$. Фреза проектується з рівномірним кроком. Передня і задня поверхні мають плоску форму. При передньому куті $\gamma = 0$ передня площина у всіх зубців проходить через вісь фрези. Кут між суміжними передніми площинами сусідніх зубів ε залежить від кількості зубів фрези. Всі зуби фрези поділено на групи, що містять по три зуби, в яких змінюється величина кута η нахилу стружкової канавки. У першого зуба в групі кут η нахилу канавки приймається рівним нулю. Задня поверхня буде площиною, паралельною осі фрези, перетином з передньою площиною створюється різальна кромка з головним кутом в плані $\varphi = 90^\circ$. У другого та третього зубів в групі задні поверхні є площинами загального положення з різними за знаком кутами η . В результаті перетину передніх і задніх площин різного положення створюються похилі різальні кромки з кутами в плані φ різного знаку.

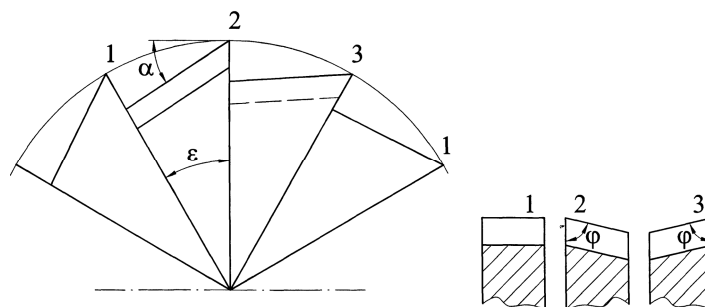


Рис. 1. Схема різальної частини фрези з $\gamma = 0$

Визначення головного кута в плані φ . Визначення кута в плані φ для випадку $\gamma = 0$ наведено в роботі [3]. Для фрез з переднім кутом зубів $\gamma \neq 0$ методика визначення φ відсутня. Проте відрізні фрези здебільшого мають передній кут $\gamma \neq 0$. Тому в роботі вирішується задача визначення кута в плані φ для випадку, коли $\gamma \neq 0$.

У дискових відрізних фрез зі змінною висотою стружкової канавки другий та третій зуби підрізають матеріал заготовки, а перший виконує основну роботу різання. При цьому розмір радіуса кола, на якому розміщений зуб 1, зменшується на величину Δ , в порівнянні з радіусами другого і третього зубів.

При вибраному куті нахилу стружкової канавки ε , заданому задньому куті α , вимірюваному на вершинах зубів для випадку $\gamma = 0$ відповідно до роботи [3], залежність для визначення кута φ буде:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{ctg} \eta \cdot \cos \alpha}{\cos(\alpha - \varepsilon)}. \quad (1)$$

Визначимо кут в плані зубів фрези φ для випадку $\gamma \neq 0$ при відомих кутах η , α та ε (рис. 2), для чого введемо наступні площини проєкцій. Площина Π_1 перпендикулярна осі фрези. Площина Π_2 паралельна передній площині зуба фрези, що розглядається. Площина Π_3 розташована паралельно передній площині суміжного зуба. Зазначені передні площини проходять паралельно осі фрези та перпендикулярно площині проєкцій Π_1 .

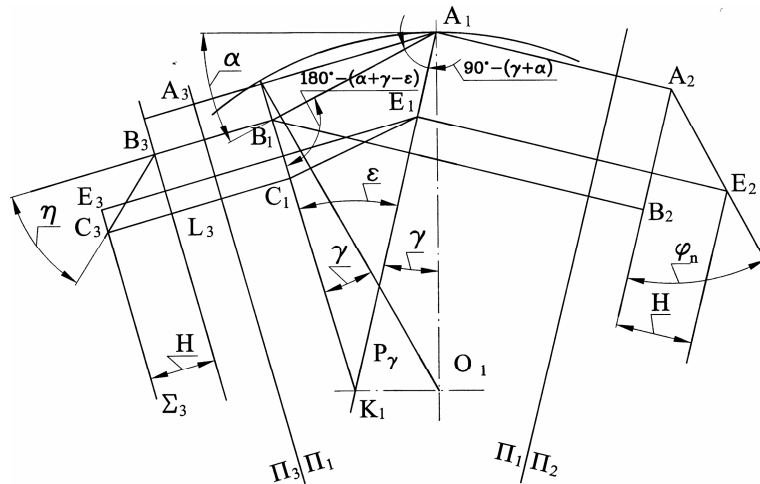


Рис. 2. Визначення кута φ_n

Положення задньої площини зуба, що розглядається, визначається двома прямими АВ і ВС. Пряма АВ лежить в торцевій площині фрези, паралельній площині Π_1 , а її положення залежить від значення заднього кута α . Пряма ВС лежить в передній площині суміжного зуба, її положення визначається значеннями кута η . Розглянемо площину Σ_3 – це торцева площина другого боку фрези. Пряма ВС перетинається з площиною Σ_3 в точці С. Через точку С проведемо пряму СЕ, паралельну прямій АВ, яка знаходиться на задній площині досліджуваного зуба.

Пряма СЕ перетинається з передньою площиною досліджуваного зуба в точці Е. Лінія АЕ є шуканою різальною кромкою, проєкцією якої на передню площину є лінія A_1E_1 , тобто дана проєкція лежить на сліді передньої площини P_γ . Дійсне положення різальної кромки в передній площині визначається її проєкцією A_2E_2 на площину Π_2 . Пряма A_2E_2 складає кут в плані φ_n з площиною Π_1 , визначений в передній площині [4].

Аналізуючи наведене графічне рішення, отримуємо:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{H}{A_1E_1}. \quad (2)$$

З подібності трикутників $\Delta A_1B_1K_1$ і $\Delta E_1C_1K_1$ випливає умова:

$$\frac{A_1E_1}{B_1C_1} = \frac{A_1K_1}{B_1K_1}. \quad (3)$$

Тоді:

$$A_1E_1 = \frac{B_1C_1 \cdot A_1K_1}{B_1K_1}, \quad (4)$$

де

$$A_1K_1 = \frac{R}{\sin \gamma}, \quad (5)$$

$$B_1C_1 = H \cdot \operatorname{tg} \eta. \quad (6)$$

За теоремою синусів:

$$\frac{A_1K_1}{\sin[180 - (\alpha + \gamma - \varepsilon)]} = \frac{B_1K_1}{\sin[90 - (\alpha + \gamma)]}. \quad (7)$$

Звідки:

$$B_1K_1 = \frac{R \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{\sin \gamma \cdot \cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)}. \quad (8)$$

Підставляючи в формулу (4) значення A_1K_1 , B_1C_1 та B_1K_1 (формули 5, 6, 8), одержимо:

$$A_1E_1 = \frac{H \cdot \operatorname{tg} \eta \cdot \cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)}{\cos(\alpha + \gamma)}. \quad (9)$$

Підставляючи в формулу (2) значення A_1E_1 , одержимо:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{\operatorname{ctg} \eta \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{\cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)}. \quad (10)$$

Знаючи φ_n , знайдемо інструментальний кут в плані φ .

Відповідно до ДСТУ 2249-93 [1], інструментальний кут в плані – це кут в інструментальній основній площині між інструментальною площиною різання та робочою площиною. Інструментальною основною площиною є основна площина інструментальної системи координат [5]. Інструментальна система координат – це система з початком на вершині леза (точка А), що орієнтована відносно геометричних елементів інструмента, прийнятих за базу. В зазначеному випадку інструментальна основна площина P_{vi} проходить через вісь та перпендикулярна швидкості \bar{V} (рис. 3).

Введемо систему площин проєкцій Π_1/Π_2 , в якій розглянемо різальну частину одного зуба фрези. Площина Π_1 перпендикулярна осі фрези та площині P_{vi} , а площина Π_2 – паралельна передній площині P_γ , положення якої визначається інструментальним переднім кутом γ . Пряма АВ є різальною кромкою, що визначена на рисунку 3 своїми проєкціями (A_1B_1 та A_2B_2) та головним кутом в плані φ в передній площині.

Введемо систему площин проєкцій Π_1/Π_3 . Площину Π_3 проведемо паралельно інструментальній основній площині P_{vi} , тому в проєкції на площину Π_3 інструментальний кут в плані φ зображається в дійсну величину [6]. Інструментальна площина різання P_{ni} перпендикулярна площині Π_3 . За правилами зміни площин проєкцій знайдемо проєкцію A_3B_3 різальної кромки на площину Π_3 , яка визначає положення інструментальної площини різання P_{ni} . Робоча площина P_s в даному випадку співпадає з торцем фрези. За визначенням, кут в інструментальній основній площині P_{vi} між робочою площиною P_s та площиною різання P_{ni} буде інструментальним кутом в плані φ в точці А різальної кромки.

Аналізуючи наведене графічне рішення, одержимо:

$$\operatorname{tg} j = \frac{\operatorname{tg} j_n}{\cos \gamma}. \quad (11)$$

Підставляючи замість $\operatorname{tg} \varphi_n$ залежність для його визначення (10), отримаємо:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{ctg} \eta \cdot \cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma \cdot \cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)}. \quad (12)$$

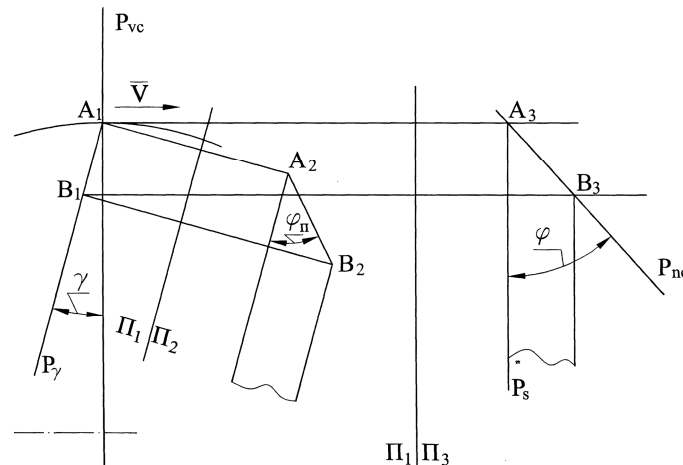


Рис. 3. Визначення інструментального головного кута в плані φ

Знак кута φ визначається знаком кута η , тобто запропонована конструкція забезпечує виготовлення фрез з підрізаючими кромками. При куті $\eta = 0$ вираз $\operatorname{tg} \varphi_n$ дорівнює нескінченності й кут φ буде дорівнювати 90° .

При проектуванні зазначених фрез можна задаватись кутом в плані φ та визначати кут η за залежністю:

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \gamma \cdot \cos(\alpha + \gamma - \varepsilon)}. \quad (13)$$

У таких конструкцій відрізних фрез часто найбільш завантаженим буде зуб з кутом в плані $\varphi = 90^\circ$. Інтенсивність його зносу визначає стійкість інструмента. Для того, щоб створити більш рівномірне завантаження різних зубів фрези, можна зуби з $\varphi = 90^\circ$ чергувати не через два, а через один. З точки зору спрощення технології, доцільно відрізну фрезу проектувати тільки з підрізаючими зубами із $\varphi \neq 90^\circ$, виключаючи зуби з кутом $\varphi = 90^\circ$.

Зважаючи на те, що значення кута φ залежить від кутів α , γ та ε , а також від кута нахилу стружкової канавки η , для того, щоб проектувати фрези, які забезпечують найбільш раціональну геометрію різальної частини, необхідно дослідити взаємозв'язок цих параметрів.

Вплив геометричних та конструктивних параметрів на значення кута φ . Для оцінки впливу геометричних та конструктивних параметрів дискових відрізних фрез зі стружковими канавками різної висоти на значення інструментального кута в плані φ було розраховано кут φ для різних значень кутів α , γ , ε та η . Результати цих розрахунків наведені в таблицях 1–5.

В таблиці 1 наведено розрахунок кута в плані φ для різних значень γ , α та ε при $\eta = 10^\circ$. Взаємозв'язок цих параметрів графічно показано на графіку (рис. 4). Як видно, кут в плані має мінімальне значення при передніх кутах 0 та 5° . При збільшенні або зменшенні γ кут в плані зростає. При цьому найбільшим значенням φ відповідає кутовий крок зубів 2,25 ($z = 160$), а найменшим – 4,5 ($z = 80$), тобто чим крупніший зуб, тим менше кут в плані. При збільшенні заднього кута від 15 до 20° величина кута в плані зменшується. Проте вплив всіх зазначених факторів є незначним, оскільки коливання кута в плані відносно невеликі і не перевищують 0,66 %.

Таблиця 1

$\alpha,^\circ$	$\varepsilon,^\circ$	$\gamma,^\circ$					
		-5	0	5	10	15	20
15	2,25	79,97724	79,90451	79,90536	79,97965	80,12669	80,34525
	2,8125	79,9646	79,88302	79,87477	79,93971	80,07717	80,2859
	4,5	79,93235	79,82431	79,78877	79,82567	79,93434	80,1135
20	2,25	79,94214	79,8676	79,86617	79,93759	80,08101	80,29495
	2,8125	79,92073	79,8369	79,8258	79,88716	80,0201	80,22306
	4,5	79,86223	79,75059	79,71052	79,74171	79,84317	80,01312

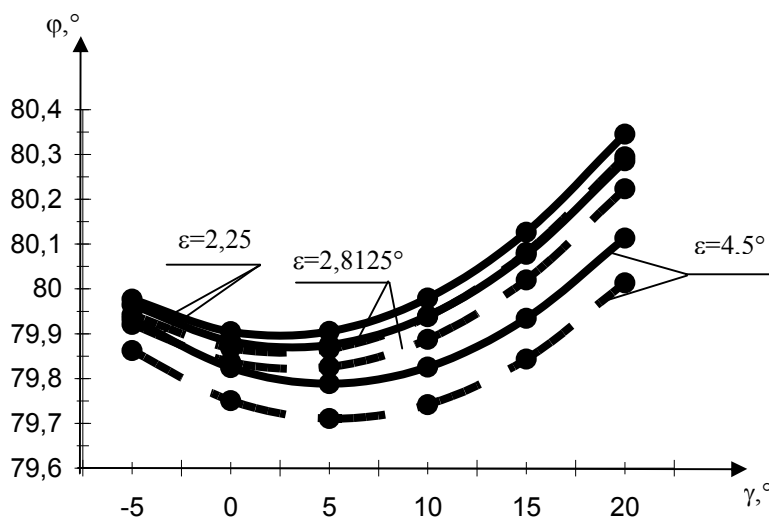


Рис. 4. Графік залежності $\varphi = f(\gamma, \varepsilon)$ при $\eta = 10^\circ$:

— $\alpha = 15^\circ$
 - - $\alpha = 20^\circ$

В таблиці 2 наведено розрахунок кута в плані для різних значень α та ε при $\gamma = 5^\circ$, $\eta = 10^\circ$. Дана ситуація графічно представлена графіком на рисунку 5. При збільшенні α кут в плані дещо зменшується. Збільшення кутового кроку зубів також викликає деяке зменшення φ . Аналізуючи даний графік, можна зробити висновок, що задній кут та кутовий крок несуттєво впливають на величину кута в плані, оскільки при цьому φ змінюється не більше ніж на 0,4 %.

Таблиця 2

$\varepsilon,^\circ$	$\alpha,^\circ$			
	10	15	20	25
2,25	79,94214	79,90536	79,86617	79,82366
2,8125	79,92073	79,87477	79,8258	79,77268
4,5	79,86223	79,78877	79,71052	79,62566

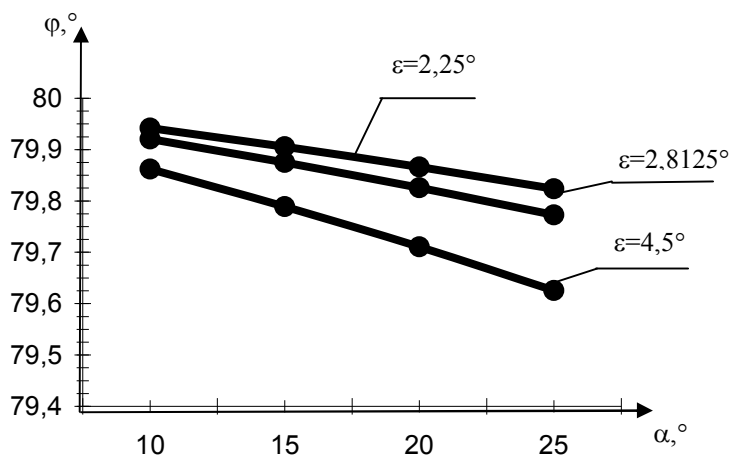


Рис. 5. Графік залежності $\varphi = f(\alpha, \varepsilon)$ при $\gamma = 5^\circ$ та $\eta = 10^\circ$

Таблиця 3 містить результати розрахунку кута в плані для різних значень γ та η при $\alpha = 15$ і 20° , $\varepsilon = 4,5^\circ$. Графічно дана залежність представлена на рисунку 6. Як видно з графіка, кут нахилу стружкової канавки фрези сильно впливає на величину головного кута в плані φ . При цьому зміна величини кута φ досягає 42 %. В цей же час, вплив переднього кута є несуттєвим (на графіку дванадцять кривих злилися в одну).

Таблиця 3

$\alpha,^\circ$	$\eta,^\circ$	$\gamma,^\circ$					
		-5	0	5	10	15	20
15	5	84,96565	84,91077	84,89271	84,91145	84,966666	85,05761
	10	79,93235	79,82431	79,78877	79,82567	79,93434	80,1135
	20	69,87294	69,67033	69,60377	69,67287	69,87666	70,21352
	30	59,82897	59,5569	59,46769	59,5603	59,83398	60,28812
20	5	84,93003	84,8733	84,85293	84,86878	84,92035	85,00666
	10	79,86223	79,75059	79,71052	79,74171	79,84317	80,01312
	20	69,74139	69,53231	69,45736	69,51569	69,70567	70,02467
	30	59,65223	59,37202	59,27178	59,34978	59,60429	60,03324

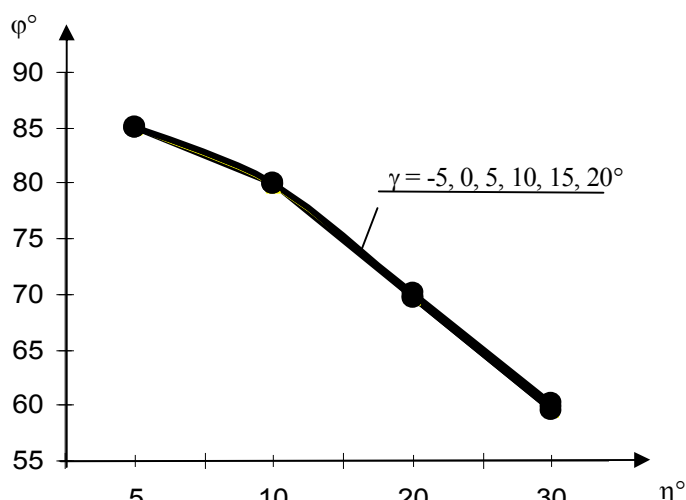


Рис. 6. Графік залежності $\varphi = f(\eta, \gamma)$ при $\varepsilon = 4,5^\circ$:
 $\alpha = 15^\circ$;
 $\alpha = 20^\circ$

В таблиці 4 наведено розрахунки φ для різних значень α і η . Графік даної залежності зображено на рисунку 7. З графіка видно, що в основному впливає на величину кута в плані кут нахилу стружкової канавки. При цьому вплив заднього кута можна вважати несуттєвим (на графіку чотири криві злилися в одну).

Таблиця 4

$\eta,^\circ$	$\alpha,^\circ$			
	10	15	20	25
5	84,93003	84,89271	84,85293	84,80978
10	79,78877	79,78877	79,71052	79,62566
20	69,74139	69,60377	69,45736	69,29882
30	59,65223	59,46769	59,27178	59,0601

Таблиця 5 містить дані розрахунку кута в плані для різних значень ε і η при $\gamma = 10^\circ$ та $\alpha = 20^\circ$. Відповідна графічна залежність наведена на рисунку 8. Графік показує, що, як і в попередніх випадках, в основному впливає на величину кута в плані кут η , при цьому вплив ε є несуттєвим. Отже, величина кута φ практично не залежить від кількості зубів фрези.

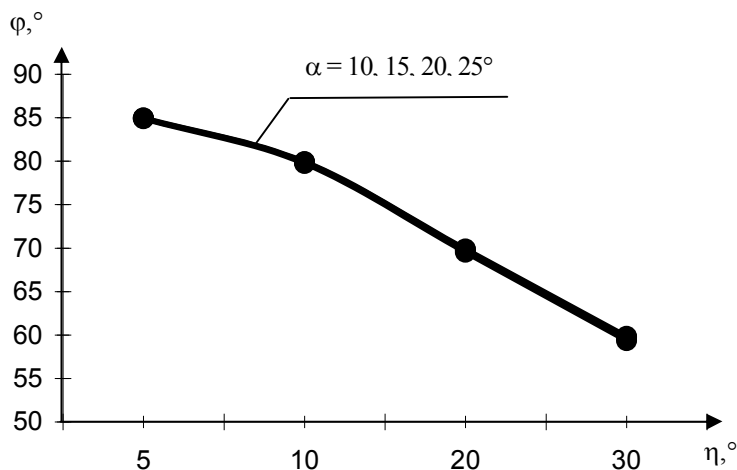


Рис. 7. Графік залежності $\varphi = f(\eta, \alpha)$ при $\varepsilon = 4,5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$

Таблиця 5

$\varepsilon,^\circ$	$\eta,^\circ$			
	5	10	20	30
4,5	84,86878	79,74171	69,51569	59,34978
2,8125	84,9427	79,88716	69,78814	59,71501
2,25	84,96831	79,93759	69,88277	59,84219

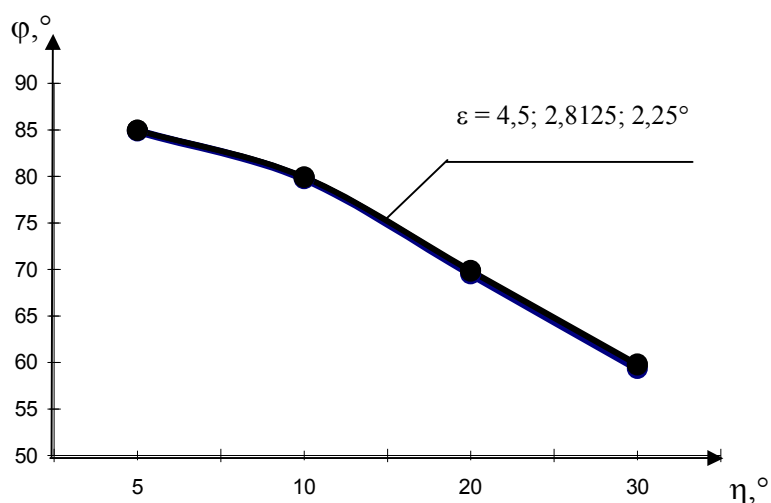


Рис. 8. Графік залежності $\varphi = f(\eta, \alpha)$ при $\varepsilon = 4,5^\circ$, $\gamma = 5^\circ$

Висновки. Досліджена конструкція дискової відрізної фрези зі стружковими канавками змінної висоти. Графічно вирішена задача та виведена аналітична залежність для визначення кута в плані дискових відрізних фрез зі стружковими канавками змінної висоти при різних значеннях переднього і заднього кутів, кута нахилу стружкової канавки та кутового кроку зубців. Досліджено вплив геометричних та конструктивних параметрів на величину головного кута в плані фрези. Встановлено, що основним фактором, який найсуттєвіше впливає на величину кута в плані, є кут нахилу стружкової канавки фрези.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ДСТУ 2249-93. Обробка різанням. Терміни, визначення і позначення загальних понять.
2. *Иноземцев Г.Г.* Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машиностроение, 1984. – 230 с.
3. *Мамлюк О.В., Родін П.Р.* Фрезы отрезные с подрезающими кромками // Вестник машиностроения – Выпуск 43. – Киев: НТУУ “КПИ”, 2002. – С. 176–182.
4. *Равська Н.С., Родін П.Р., Мельничук П.П.* Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 332 с.
5. *Родін П.Р.* Основи теорії проектування режущих інструментів. – К.: Машгиз, 1960. – 160 с.
6. *Родін П.Р.* Основи формообрання поверхності резанием. – К.: Вища школа, 1977. – 190 с.

ПАНЧУК Віктор Григорович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Івано-Франківського університету нафти і газу.

Наукові інтереси:

– теорія проектування металорізального дискового інструменту.

РОДІН Родіон Петрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри інструментального виробництва Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Наукові інтереси:

– теорія проектування інструменту;
– технологія інструментального виробництва.

НОЩЕНКО Наталія Олександрівна – аспірант кафедри технології машинобудування та конструювання технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

– теорія проектування дискових фрез;
– процеси фрезерування.

Подано 10.02.2006

Панчук В.Г., Родін Р.П., Нощенко Н.О. Геометрія різальної частини відрізних фрез зі стружковими канавками змінної висоти.

Панчук В.Г., Родін Р.П., Нощенко Н.А. Геометрия режущей части отрезных фрез со стружечными канавками переменной высоты.

Panchuk V.G., Rodin R.P., Nochenko N.A. Geometry of cutting part of cut-off milling cutters with chip flutes of variable depth.

УДК 621.914.2

Геометрия режущей части отрезных фрез со стружечными канавками переменной высоты / В.Г. Панчук, Р.П. Родин, Н.А. Нощенко

Исследована конструкция дисковой отрезной фрезы со стружечными канавками переменной высоты. Графически решена задача и выведены аналитические зависимости для определения угла в плане дисковых отрезных фрез со стружечными канавками переменной высоты при различных значениях переднего и заднего углов, угла наклона стружечной канавки и углового шага зубьев.

УДК 621.914.2

Geometry of cutting part of cut-off milling cutters with chip flutes of variable depth / V.G. Panchuk, R.P. Rodin, N.A. Nochenko

The design of disk cut-off milling cutter with chip flutes of changeable depth is examined. The problem for calculation of lead angle of disk cut-off milling cutter with chip flutes of changeable depth at different values of rake face and back face angles, inclination angle of chip flutes and angular tooth spacing was solved graphically and relevant analytical dependencies were developed. The influence of geometrical and design parameters on values of lead angle of the milling cutter are investigated.