

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичного заняття за темою «Проектування дискових зуборізних фрез» з
дисципліни «Різальний інструмент»

((для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 Прикладна механіка;

133 Галузеве машинобудування)

(Електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
машинобудування та
прикладної механіки
Протокол №9 від 14.05.2025 р.

Київ 2025

Методичні вказівки до практичного заняття за темою «Проектування дискових зуборізних фрез» з дисципліни «Різальний інструмент» (для здобувачів вищої освіти спеціальності 131 прикладна механіка; 133 галузеве машинобудування). Електронне видання / укладачі О.В. Романченко, П.В. Боровік, В.Г. Созонтов, Г.Л. Мелконов, Т.О. Шумакова, А.П. Ніколаєнко, О.М. Логунов, О.В. Сергієнко, О.В. Шевченко, С.М. Святошенко, А.Г. Івченко. – Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2025. – 44 с.

Містить відомості про методику та алгоритми проектування дискових зуборізних фрез, призначених для нарізування циліндричних зубчастих коліс методом копіювання. Використано основні аналітичні співвідношення для визначення основних параметрів вихідного перетину відповідно до розмірів і форми некоригованого зубчастого колеса. Наведено методику побудови параметричних моделей евольвентного профілю, перехідної кривої і затилування зуба дискові зуборізні фрези.

Укладачі:

О.В. Романченко, к.т.н., доц.,
П.В. Боровік, д.т.н., проф.,
В.Г. Созонтов, д.т.н., доц.,
Г.Л. Мелконов, к.т.н., доц.,
Т.О. Шумакова, к.т.н., доц.,
А.П. Ніколаєнко, к.т.н., доц.,
О.М. Логунов, к.т.н., доц.,
О.В. Сергієнко, к.т.н., доц.,
О.В. Шевченко, к.т.н., доц.,
С.М. Святошенко,
А.Г. Івченко.

Рецензент:

Е.С. Руднев, д.т.н., проф.

Зміст

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАВДАНЬ	4
3. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКІВ І ПРОФІЛЮВАННЯ ДИСКОВИХ ЗУБОРІЗНИХ ФРЕЗ	5
4. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ПРОФІЛЮ ДИСКОВИХ МОДУЛЬНИХ ФРЕЗ.....	7
5. РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ	14
6. ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ В СИСТЕМІ PTC CREO PARAMETRICS	20
6.1. Загальні положення-----	20
6.2. Послідовність створенням параметричної моделі	21
7. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОБОЧОГО КРЕСЛЕННЯ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ	34
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	37
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:	41

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дискові зуборізні модульні фрези (рис. 1) відносяться до інструментів спеціального призначення. По конструкції й способам проектування аналогічні фасонним фрезам із зубами, що затиловані в радіальному напрямку, із прямими або з підфрезованими з боків стружковими канавками.

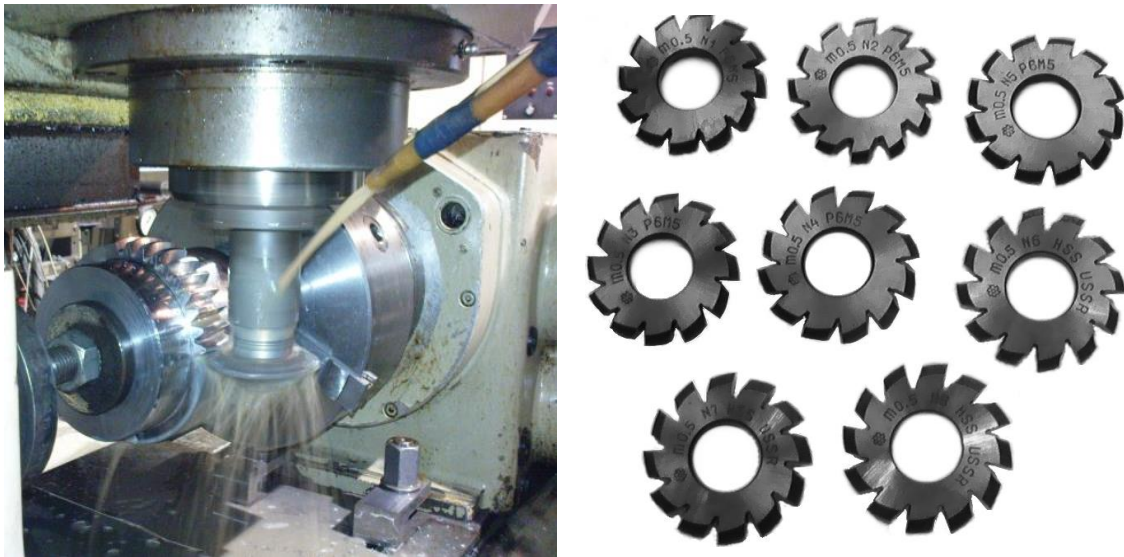


Рис. 1. Обробка зубчастих коліс дисковими фрезами на вертикально-фрезерному верстаті

Дискові зуборізні фрези застосовують в основному в індивідуальному або дрібносерійному виробництві для чорнового й чистового нарізування прямозубих циліндричних коліс, чорнового нарізування зубів косозубих коліс, чорнового, а іноді й чистового нарізування конічних коліс, зубчастих рейок, шліцьових валів методом копіювання на універсально-фрезерних верстатах з використанням ділильної головки. Кінематика різання включає обертання фрези (головний рух) і рух подачі заготовки, закріпленої в шпинделі ділильної головки, уздовж оброблюваної западини зубів. Після обробки однієї западини заготовку повертають на один зуб і нарізають наступну западину і т.д. При нарізуванні косозубих коліс заготовці додатково повідомляють кругову передачу шляхом повороту шпинделя ділильної головки, забезпечуючи сумарно гвинтову подачу.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ДО ЗАВДАНЬ

Завдання: розрахувати і спроектувати дискову модульну фрезу, за вихідними даними, наведеними в табл. 1.

Таблиця 1

Варіанти завдань для проектування дискових модульних фрез

№ варіанту	Исходные данные проектируемого колеса					Ширина вінця, b, мм	Характеристика матеріалу		
	m, мм	z	α°	h_a^*	ξ		Марка	σ_B , МПа	НВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4	25	20°	0,8	0,54	60	Сталь 40	590-713	212
2	2,25	38	20°	1	0,62	35	Сталь 20	520	152
3	9	20	20°	0,8	0,47	80	Сталь 30	509-606	175
4	5	44	20°	1	0,9	55	Сталь 15Г	430-530	159
5	4,25	52	20°	1	0,69	65	Сталь 45Г	678-791	236
6	4,5	32	20°	0,8	0,45	50	Сталь 45Г2	792-900	239
7	3,75	53	20°	1	0,72	60	Сталь 50Г2	812-930	242
8	4,5	26	20°	0,8	0,63	50	Сталь 10	352	134
9	5,5	56	20°	0,8	0,86	40	Сталь 30Г	569-668	212
10	10	39	20°	1	0,58	90	Сталь 55	695-816	249
11	2,25	50	20°	1	0,82	35	Сталь 40	590-713	212
12	4,25	18	20°	0,8	0,7	65	СЧ-20	196	166-236
13	5	45	20°	0,8	0,9	60	СЧ-10	98	140-224
14	2,5	33	20°	1	0,81	35	Сталь 30	509-609	175
15	4,5	54	20°	1	0,69	55	Сталь 30Г	660	212
16	3,75	55	20°	0,8	0,76	50	СЧ-15	147	220
17	5,5	27	20°	1	0,73	40	Сталь 15Г	530	159
18	2,75	40	20°	0,8	0,67	40	Сталь 20	520	152
19	8	21	20°	1	0,52	75	СЧ-18	176	224
20	3,5	49	20°	1	0,49	45	Сталь 45Г	791	236
21	3	61	20°	0,8	0,67	35	Сталь 40	590-713	212
22	9	35	20°	1	0,76	85	Сталь 20	520	152
23	5,5	63	20°	0,8	0,84	55	Сталь 30	509-606	175
24	3,25	28	20°	1	0,55	50	Сталь 15Г	430-530	159
25	2,75	22	20°	1	0,58	45	Сталь 45Г	678-791	236

3. ПОРЯДОК РОЗРАХУНКІВ І ПРОФІЛЮВАННЯ ДИСКОВИХ ЗУБОРІЗНИХ ФРЕЗ

1. Вихідні дані й розрахункові параметри зубчастих коліс

Розміри оброблюваного зубчастого колеса:

1. Модуль нормальний – m .
2. Число зубів колеса – z .
3. Кут профілю вихідного контуру (кут зачеплення) ГОСТ 13755-81 – α .
4. Коефіцієнт зміщення вихідного контуру (коефіцієнт корекції) – ξ .
5. Коефіцієнт висоти головки зуба – h_a^* .
6. Радіальний зазор – c , при $\alpha=20^\circ - c=0,25 m$, а при $\alpha=15^\circ - c=0,16 m$.
7. Обов'язкове стовщення зуба для забезпечення гарантованого бічного зазору в передачі – ΔS , яке залежить від величини модуля (табл. 2) по відповідній до величини стовщення зуба інструментальної рейки.
8. Діаметр ділильного кола: $D_d = m \cdot z$.
9. Діаметр основного кола: $D_b = D_d \cdot \cos \alpha$.
10. Діаметр кола виступів: $D_a = D_d + 2m \cdot h_a^*$.
11. Діаметр кола западин: $D_f = D_d - 2h_f = D_d - 2m h_f^* = D_d - 2,5m$, де h_f^* – коефіцієнт висоти ніжки зуба, $h_f^* = 1,25$.
12. Товщина зубів по дузі ділильного кола з урахуванням витонення (ГОСТ 1643-81): $s = 0,5\pi \cdot m - \Delta S$.
13. Ступінь точності коліс, що нарізуються – за ГОСТ 1643-81.

**Стовщення зуба інструментальної рейки й допуски на
товщину зуба інструмента, мм**

Модуль	Стовщення зуба	Допуск для класів		Модуль	Стовщення зуба	Допуск для класів	
		А	Б			А	Б
1,25...2,0	0,145	0,03	0,04	6,5...8,0	0,26	0,04	0,05
2,25...2,5	0,160	0,03	0,04	9,0...10	0,28	0,04	0,05
2,75...3,0	0,175	0,04	0,05	11,0...12	0,31	0,05	0,06
3,25...4,0	0,200	0,04	0,05	13...16	0,35	0,05	0,06
4,25...5,0	0,200	0,04	0,05	18...20	0,35	0,05	0,06
5,5...6	0,230	0,04	0,05				

4. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ПРОФІЛЮ ДИСКОВИХ МОДУЛЬНИХ ФРЕЗ

1. Визначення координат профілю некоригованих ($\xi=0$) дискових фрез 9-го (і грубіше) ступеня точності.

Дискові фрези для нарізування некоригованих зубчастих коліс виконуються у вигляді комплектів з 8, 15 або 26 фрез для кожного модуля (табл. 3) [1, 3, 4, 5]. Кожна фреза в наборі служить для нарізування коліс із певним числом зубів. Набір з 8 фрез застосовують для нарізування зубчастих коліс із модулем до 8 мм. При модулі понад 8 мм слід застосовувати набір з 15 фрез, а для більш точних робіт – з 26.

Розміри координат профілів фрез нормалізовані й наведені в [4] значень координат x і y для будь-якої точки профілю фрези, відлічуваних від дна западини зуба (рис. 2).

Значення координат x_c і y_c центрів закруглень по западині зуба й координатам точок B , C , D , E вибираються з табл. 3 залежно від типу профілю зуба.

Профіль типу I (рис. 2) призначений для фрез №1-5 ($z \leq 34$; $r_b > r_f$) і утворюється евольвентною ділянкою CDE , прямолінійною ділянкою CB і дугою кола AB радіусом R .

Tun I

Tun II

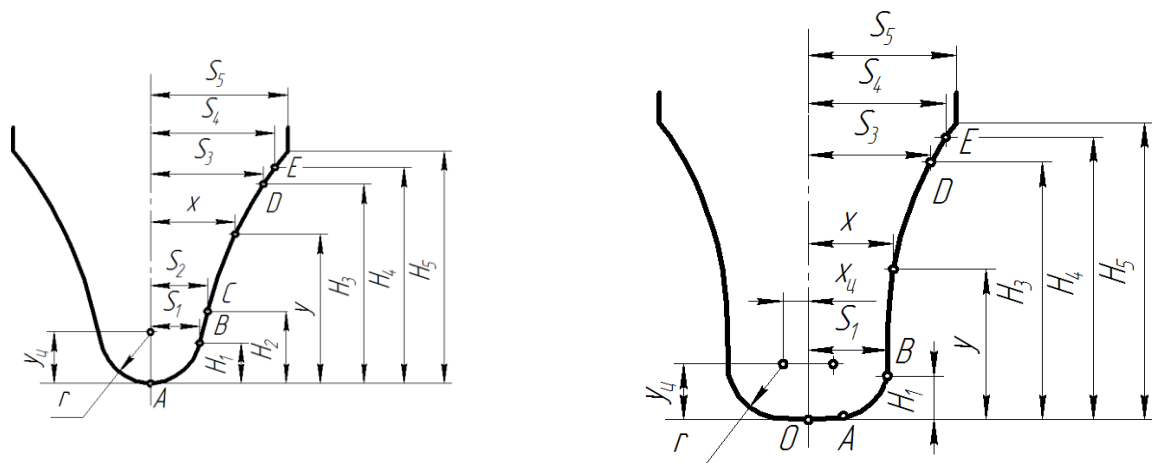


Рис. 2. Побудова профілю дискових зуборізних модульних фрез

Таблиця 3

Комплектація наборів дискових зуборізних фасонних фрез

№ фрези	Кількість фрез у наборі			№ фрези	Кількість фрез у наборі		
	26	15	8		26	15	8
	Число зубів колеса, що нарізується				Число зубів колеса, що нарізується		
1	12	12	12...13	5	26...27	26...29	26...34
1S	13	13	—	5j	28...29	—	—
2	14	14	14...16	5S	30...31	30...34	—
2j	15	—	—	5s	32...34	—	—
2S	16	15...16	—	6	35...37	35...41	35...54
3	17	17...18	17...20	6j	38...41	—	—
3j	18	—	—	6S	42...46	42...54	—
3S	19	19...20	—	6s	47...54	—	—
3s	20	—	—	7	55...65	55...79	55...134
4	21	21...22	21...25	7j	66...79	—	—
4j	22	—	—	7S	80...102	80...134	—
4S	23	23...25	—	7s	103...134	—	—
4s	24...25	—	—	8	135	135	135

Профіль типу II призначений для фрез № 6-8 ($z > 34$; $r_b < r_f$) і складається з евольвенти BDE і відрізка прямої лінії OA , сполучених по дузі кола AB .

Наведені в табл. 4 і 5 значення дані для модуля $m=100$ мм. Для інших значень модуля табличні значення необхідно розділити на 100 і помножити на розрахунковий модуль.

Отримані значення координат профілю фрези заносяться до таблиці й використовуються для графічної побудови профілю виконуваного на кресленні дискової модульної фрези (рис. 3).

2. Визначення координат профілю коригованих ($\sigma \neq 0$) дискових фрез підвищеного ступеня точності.

Для нарізування коригованих зубів коліс, а також некоригованих підвищеного ступеня точності й коліс із модифікованим профілем зуба застосовують дискові фрези, точний профіль яких визначають спеціальними розрахунками. Побудова профілю фрези в цьому випадку здійснюється завданням координат точок профілю евольвенти, тобто висоти t і ширини S_0 (рис. 3), обумовлених розрахунковим шляхом за допомогою алгоритму, представленого в табл. 6.

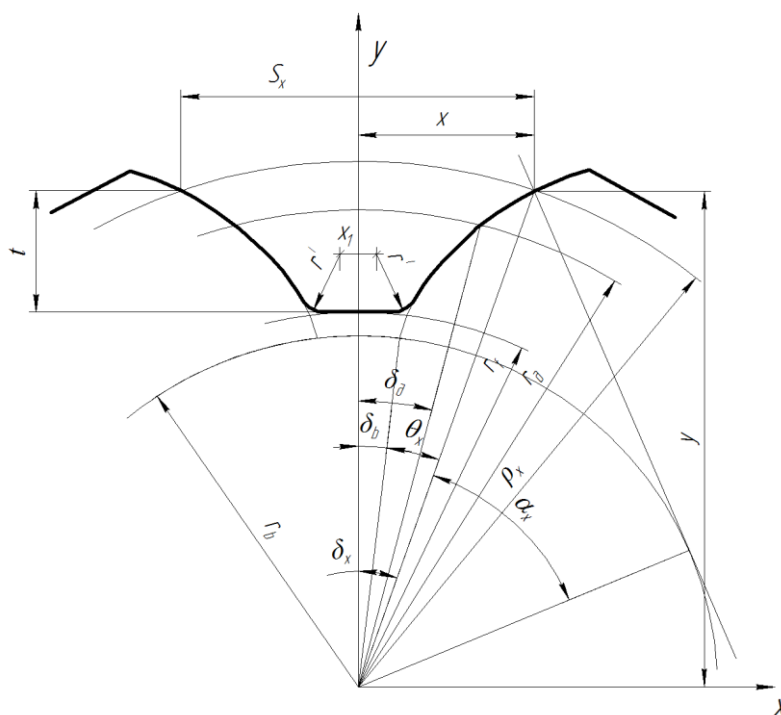


Рис. 3. Розрахункова схема евольвентного профілю дискової модульної фрези

у евольвентною частини	Фреза 8	
	y	x
	30,461	45,955
	39,820	49,014
	49,793	52,332
	59,766	55,746
	69,739	59,170
	79,705	62,672
	89,671	66,217
	99,637	69,08
	109,603	73,465
	-	-
	124,534	79,029
	129,514	80,918
	139,472	84,745
	149,417	88,583
	159,369	92,500
	169,314	96,455
	179,258	100,455
	189,203	104,535
	199,140	108,627
	209,070	112,764
	219,001	116,974
	223,966	119,115
	238,852	125,554
	253,734	132,075
	278,514	143,217

Фреза 1		Фреза 2		Фреза 3		Фреза 4		Фреза 5		Фреза 6		Фреза 7	
y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x
91,100	66,590	83,122	64,495	71,342	61,856	62,149	59,358	53,794	56,785	46,851	53,861	38,732	50,165
94,990	67,732	89,717	66,142	82,375	63,994	68,163	60,426	63,609	58,706	54,082	55,542	39,523	50,387
104,638	71,239	99,453	69,258	92,181	66,809	78,043	62,682	73,503	61,148	63,999	58,121	49,470	53,155
114,186	75,471	109,108	73,077	101,932	70,210	87,885	65,495	83,375	63,998	73,907	60,960	59,415	56,114
119,866	78,321	118,689	77,456	111,632	74,107	97,691	68,763	93,221	67,198	83,799	64,060	69,350	59,206
129,256	83,513	120,256	78,392	121,280	78,445	107,461	72,443	103,044	70,721	93,679	67,402	79,280	62,472
138,546	89,227	128,196	82,341	130,874	83,191	117,197	76,473	112,844	74,557	103,543	70,970	89,202	65,860
147,730	95,433	137,626	87,682	140,413	88,318	122,052	78,521	122,618	78,646	113,394	74,752	99,117	69,392
156,803	102,103	146,976	93,459	149,894	93,805	126,897	80,852	132,367	83,016	123,228	78,732	109,024	73,066
165,758	109,219	156,242	99,648	159,312	99,641	136,559	85,545	142,087	87,641	133,046	82,915	118,927	76,832
174,588	116,772	165,417	106,241	168,666	105,810	146,179	90,552	151,780	92,517	142,846	87,296	123,875	78,798
183,288	124,729	174,498	113,206	177,951	112,302	155,753	95,848	161,440	97,620	152,627	91,856	128,815	80,782
191,845	133,108	183,481	120,542	187,165	119,111	165,292	101,436	171,069	102,958	162,392	96,610	138,698	84,827
200,258	141,872	192,358	128,240	196,302	126,225	174,780	107,284	180,667	108,486	172,134	101,515	148,571	89,005
208,515	151,021	201,123	136,297	205,358	133,643	184,218	113,404	190,223	114,307	181,858	106,618	158,438	93,295
216,609	160,554	209,772	144,694	214,425	141,348	193,604	119,787	199,747	120,308	191,558	111,875	168,292	97,708
224,533	170,449	211,491	146,395	223,311	149,344	202,937	126,425	209,230	126,516	201,238	117,307	178,135	102,242
232,278	180,714	218,299	153,432	232,013	157,633	212,213	133,312	218,673	132,941	210,891	122,909	187,973	106,877
239,835	191,336	226,696	162,500	240,712	166,196	216,771	136,851	228,076	139,565	220,521	128,673	197,794	111,636
247,198	202,313	231,671	168,098	249,312	175,030	226,015	144,103	237,434	146,391	230,125	134,576	207,604	116,536
-	-	238,228	175,736	257,900	184,142	235,137	151,603	246,747	153,412	239,710	140,577	217,405	121,467
-	-	248,685	188,595	-	-	244,132	159,336	-	-	249,255	146,877	222,298	123,984
-	-	-	-	-	-	253,178	167,301	-	-	268,776	153,257	232,083	129,130
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	246,728	137,031
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	271,080	150,726

Коефіцієнти для визначення координат точок *B, C, D* і *E* профілю дискової модульної фрези для модуля 100 мм ГОСТ 9324-6 (рис. 2)

Номер фрезы	Число зубьев нарезаемого колеса	Координаты точек неэвольвентных элементов профиля						Координаты точек эвольвенты			
		Точка <i>B</i>		Точка <i>C</i>		Центр окружности		Точка <i>D</i>		Точка <i>E</i>	
		<i>H</i> ₁	<i>S</i> ₁	<i>H</i> ₂	<i>S</i> ₂	<i>x</i> _ц	<i>y</i> _ц	<i>H</i> ₃	<i>S</i> ₃	<i>H</i> ₄	<i>S</i> ₄
1	12–13	58,393	63,724	91,100	66,590	0	63,968	208,515	151,021	210	158,61
2	14–16	56,993	62,197	83,122	64,435		62,434	211,491	146,395		160,59
3	17–20	55,982	60,630	71,342	61,856		60,822	214,466	141,075	220	150,87
4	21–25	51,294	58,013	62,149	59,358		58,458	216,814	136,967		151,23
5	26–34	48,162	55,938	53,794	56,785		56,565	218,673	132,941		144,42
6	35–54	42,551	52,916	46,851	53,861		54,178	220,521	128,873	137,38	
7	55–134	38,290	50,015	38,732	50,165		51,850	222,298	123,984	130,40	
8	135–рейка	30,161	45,955	–	–	4,007	44,114	223,966	119,115	230	123,33

Таблиця 6

Залежності для розрахунків профілю дискової модульної фрези

№ формул	Позначення	Формула
1	δ_0	$\delta_0 = \frac{\pi}{2z} - \frac{2\xi \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} + \frac{\Delta S}{mz}$
2	δ_b	$\delta_b = \delta_0 - \operatorname{inv} \alpha$
3	α_x	$\operatorname{cos} \alpha_x = \frac{r_b}{\rho_x}$
4	δ_x	$\delta_x = \delta_b + \operatorname{inv} \alpha_x = \delta_b + \theta_x$
5	x	$x = \rho_x \sin \delta_x$
6	y	$y = \rho_x \operatorname{cos} \delta_x$
7	S	$S = 2x$
8	t	$t = y - r_f$

Позначення: δ_0 – половина кутової ширини западини по ділильному колу; δ_b – половина кутової ширини западини на основному колі; α_x – поточний полярний кут у довільних точках на радіус-векторі c_x ; δ_x – половина кутової ширини на колі радіус-вектора c_x ; x, y – координати точки профілю

При виконанні розрахунків спочатку необхідно задати ряд значень c_x – радіус-вектора точок евольвентного профілю зубчастого колеса в межах від $c_x = r_f$ при $z \leq 34$ або $c_x = r_b$ при $z > 34$ і до $c_x = r_a$.

Для цього задаються відстанню між сусідніми точками профілю по висоті $Дt=Др$ при висоті зуба $h=r_a-r_f$ з урахуванням того, що загальне число розглянутих точок звичайно приймається в межах $p_0=8...25$. залежно від необхідної точності профілю. Тоді найменший радіус-вектор дорівнюватиме: $c_{x\min}=c_f+Др$. Наступні значення c_x розраховуються залежно від номера розглянутої точки.

Дані розрахунків координат зводяться в таблицю (табл. 7) і використовуються для побудови профілю дискової модульної фрези, шаблона й контршаблона для перевірки виготовлення фрези, а також для профілювання затилованого різця.

Т а б л и ц я 7

Розрахунки координат профілю дискової модульної фрези

№ точки профілю	ρ_x мм	$\cos \alpha_x$	α_x°	$inv \alpha_x$	δ_x , рад.	δ_x°	x , мм	y , мм	S_0 мм	t , мм
1										
2										
n										

Розрахунки величин $\partial_\partial, \partial_b, \partial_x$ (у радіанах) і $\cos \alpha_x$ проводяться з точністю 0,000001, а в градусній мірі з точністю до 1". Точність підрахунку координат точок профілю x, y, S_0, t – 0,001 мм.

Переклад величин кутів з радіанної міри в градусну здійснюється шляхом множення на число 57,29578 і подальшого перекладу часток градуса у хвилини й секунди.

Координати точок невольвентних елементів профілю визначаються відповідно до ГОСТ 10996-64; [5].

Величини радіусів закруглення у вершини зуба фрези r' (рис. 3) рекомендується вибрати по табл. 8.

Величина радіусів r' і абсцис x_1 профілю фасонних

зуборізних фрез, мм

z	12...13	14...16	17...20	21...25	26...34	35...54	55...134	Більш 134
r'	0,52	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36	0,32	0,25
x_1	0,2086	0,2150	0,2382	0,2640	0,2950	0,3200	0,3458	0,4000
Примітка: при модулі, що відрізняється від $m=1$ мм, наведені дані необхідно помножити на відповідний модуль								

5. РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ

1. Основні параметри – зовнішній D і внутрішній d діаметри, ширина B , число зубів z_0 некоригованих фрез із набору (рис. 4) вибираються залежно від величини модуля й номера фрези відповідно до даних, установлених ГОСТ 10996-64 (Додаток 1), [3]; [4].

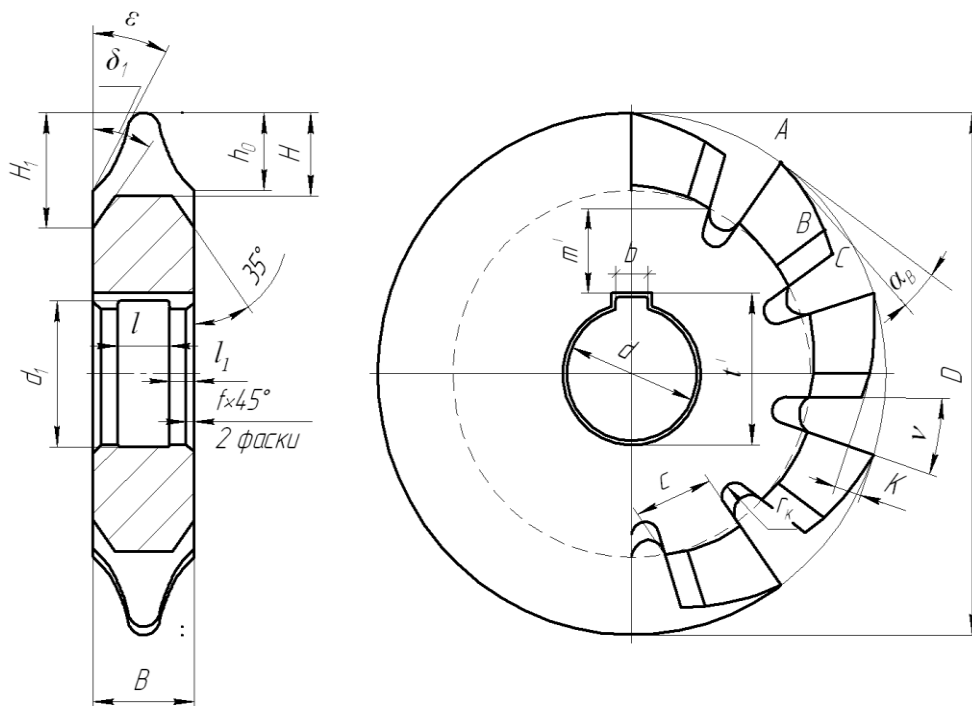


Рис. 4. Основні параметри дискової модульної фрези

2. При проектуванні спеціальних зуборізних фрез (коригованих, некоригованих, підвищеної точності й для модифікованих коліс) їхній зовнішній діаметр D визначається (як для фасонних затилованих фрез) залежно від діаметра посадкового отвору d й висоти зуба H :

$$D=(1,5\dots1,6)\cdot d+2H.$$

Величину d приймають із нормального ряду розмірів діаметрів отворів насадного різального інструменту, ГОСТ 9472-83: 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50 з полем допуску $H7$ або $H6$ залежно від висоти профілю зуба фасонної фрези h_0 (табл. 9).

Т а б л и ц я 9

Значення діаметрів посадкового отвору d_0 фасонних фрез, мм

Висота профілю зуба фрези h_0	До 3	3...6	6...10	10...25	25...37	Понад 37
Діаметр посадкового отвору d	16 19	22	27	32	40	50

Висота зуба фрези H при визначенні діаметра D орієнтовно приймається:

$$H = h_0 + (5...10) \text{ мм},$$

де $h_0 = t_{\max} + (1...5) \text{ мм}$; t_{\max} – найбільша висота профілю зуба колеса, що нарізується, вибирається з розрахункової таблиці значень координат профілю фрези (табл. 6).

3. Ширина фрези B вибирається з ГОСТ 9324-60 або підраховується з точністю до 0,1 мм за формулою:

$$B = (1 + 0,01b) \cdot S_{0\max},$$

де b – коефіцієнт, обумовлений із графіка (рис. 5);

$S_{0\max}$ – максимальна ширина профілю западини зуба, вибрана з розрахункової таблиці значень координат профілю фрези.

Ширина фрези B (у мм) рекомендується вибирати з такого ряду: 10; 12; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40 і далі через кожні 5 мм.

4. Число зубів орієнтовно може бути розраховане для фрез із $m \leq 1,0$ мм (ГОСТ 13838-68) із прямою стружковою канавкою за формулою:

$$z_0 = (1,8...2,2) \frac{D}{H},$$

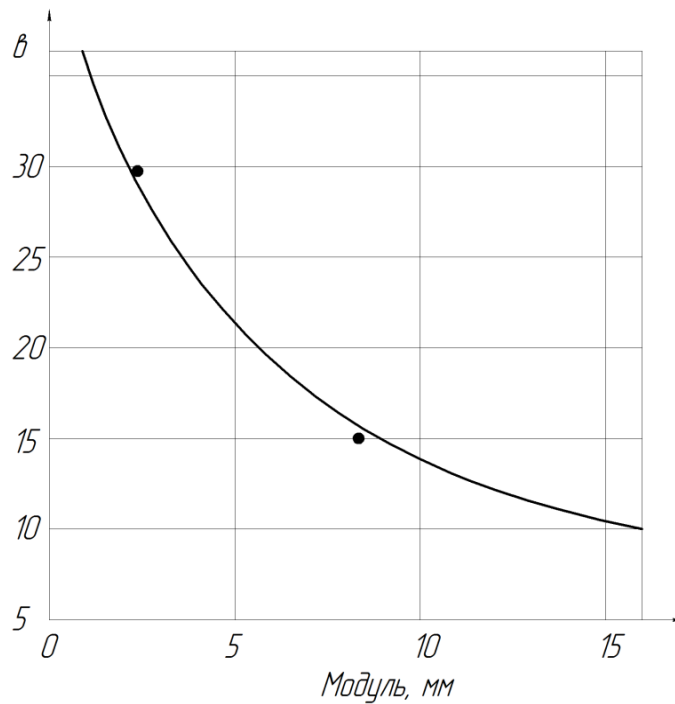


Рис. 5. Графік визначення коефіцієнта ширини фрези, b

а для фрез із $m > 1,0$ мм (ГОСТ 10996-64) з посиленою маточиною й з підфрезерованою стружковою канавкою, що забезпечує зубу більш міцну форму (рис. 4):

$$z_0 = (2, 2 \dots 2, 8) \frac{D}{H}.$$

Тут менші коефіцієнти рекомендується брати для малих діаметрів, а більші – для більших діаметрів фрез.

Значення величин D , d , H , B , z_0 уточнюються при подальших розрахунках параметрів, графічній побудові профілю й конструкції фрез, а також відповідно до даних наведених стандартів.

5. Величину затилування (падіння затилку) K (рис. 4) розраховують по формулі:

$$K = \frac{\pi \cdot D}{z_0} \operatorname{tg} \alpha_B; \operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{\bar{\sigma}}}{\sin \varepsilon},$$

де α_B – задній кут на вершині зуба (тобто на зовнішньому діаметрі D); $\alpha_{\bar{\sigma}}$ – задній кут на бічних сторонах зуба, приймається орієнтовно $\alpha_{\bar{\sigma}} = 1,5^\circ \dots 3^\circ$; ε – кут

нахилу профілю зуба зовнішнього діаметра фрези, вибирається по табл. 10 залежно від номера фрези. Допускається використання розрахункових значень $\alpha_B, \alpha_b, \varepsilon$ з табл. 10.

Т а б л и ц я 10

Величина кутів $\varepsilon, \alpha_B, \alpha_b$ для дискових зуборізних фрез

№ фрези	Кути нахилу профілю ε	Використані для розрахунків кути		
		ε	α_b	α_B
1	5°	5°	8°	14°
1S	5°10г			
2	5°20г			
2S	6°40г			
3	8°10г	1°20г	1°40г	2°30г
3S	10°			
4	9°40г			
4S	10°30г			
5	11°30г			
5S	11°50г	15°	12°	10°
6	14°			
6S	14°40г			
7	16°40г			
7S	17°			
8	18°			

Для точних чистових фрез зі шліфтованим профілем величину затилування шліфованої частини C_o визначають за вищенаведеною формулою, а величину затилування нешліфованої частини зуба K_1 (величину другого затилку) – за формулою:

$$K_1 = (1,2...1,4)K .$$

Величини K и K_1 округляють до 0,5 мм.

6. Висота зуба H для фрез із прямої стружкової канавки розраховують із точністю до 0,1 мм за формулою:

$$H = h + K + r_K, \text{ мм,}$$

або при подвійному затилуванні профілю:

$$H = h + \frac{K + K_1}{2} + r_K.$$

Для фрез із підфрезерованою стружковою канавкою (рис. 4) величину H визначають із виразу:

$$H = h + r_K,$$

де h – висота робочого профілю зуба, орієнтовно $h = r_a - r_f$, або більш точно з розрахункової таблиці значень координат профілю $h = t_{\max}$; r_K – радіус закруглення для стружкової канавки, звичайно приймається таким, що дорівнює 1...5 мм залежно від діаметра фрез або розраховується за формулою:

$$r_K \cong \frac{(D - 2h - 2K)}{2} \cdot \sin \frac{\psi}{2}.$$

Величина кута ψ залежить від величини холостого ходу затилувального кулачка. При холостому ході кулачка, що дорівнює 60° (основний розрахунковий випадок):

$$\psi = \frac{360^\circ}{6 \cdot z_0}.$$

При холостому ході кулачка 90° , застосовуваному для фрез зі значною шириною стружкової канавки, величина кута ψ визначається як:

$$\psi = \frac{360^\circ}{4 \cdot z_0}.$$

Найбільша величина стружкової канавки H_1 (рис. 4), визначається за формулою:

$$H_1 \geq H + K = h + K + r_K.$$

Кут фрезерування пазів δ_1 (рис. 4) звичайно вибирається, таким, що дорівнює куту нахилу профілю зуба на цій ділянці або приймається конструктивно $\delta_1 \geq \varepsilon$.

7. Величину кута профілю стружкових канавок орієнтовно визначають із виразу:

$$v = \frac{360^\circ}{(4 \dots 8) \cdot z_0} + (16^\circ \dots 22^\circ)$$

і приймається звичайно таким, що дорівнює 18, 22, 25, 30°.

8. Ширина зуба фрези C у його западині (рис. 4) визначається з виразу: $C \geq 0,75H$. При невиконанні цієї умови збільшують зовнішній діаметр D або зменшують число зубів z_0 .

9. Довжина шліфованої частини задньої поверхні зуба фрези AB (рис. 4) при подвійному затилуванні повинна бути не менш $\frac{2}{3}$ довжини зуба AC і визначається за формулою:

$$AB = \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\pi D}{z_0}$$

10. Розміри елементів посадкового отвору фрези приймають за ГОСТ 4020-82 або ГОСТ 9472-84; [3]; [4].

Для прийнятого діаметра отвору d_0H7 або d_0H6 (пункт 2) визначають розміри поздовжнього шпонкового паза – ширини b_{C11} й висоти t'_{H12} . У западині паза виконують закруглення радіусом r , яке допускається замінити фаскою $r_{\min} \times 45^\circ$.

По обидва боки посадкового отвору виконують фаски шириною $C = 1,5 \dots 2,0$ мм під кутом 45° .

У фрез шириною понад 15...20 мм в отворі виконується виточення діаметром $d_1 = d_0 + 1$ мм і довжиною $l \cong (0,2 \dots 0,6)B$ (рис. 4) з метою зменшення поверхні зіткнення оправлення з отвором фрези. При цьому довжина точно відпрацьованих пазів повинна бути:

$$l_1 \geq \left(\frac{1}{3} \dots \frac{1}{4} \right) B.$$

11. Товщина тіла фрези m' в найнебезпечнішому перерізі над шпонковим пазом повинна бути не менш $0,35d$.

12. Передній кут дискових модульних фрез приймається $\gamma_B = 0^\circ \dots 10^\circ$ залежно від властивостей оброблюваного матеріалу й типу фрези.

Чорнові фрези (для попередньої нарізки зуба) з метою поліпшення умов різання проектують із переднім кутом $\gamma_B = 8^\circ \dots 10^\circ$. Неточності профілю, що виникають при цьому компенсуються припуском під чистову обробку.

Чистові фрези (для остаточної обробки западини зуба) виконуються з точним (як правило, шліфованим) профілем і переднім кутом $\gamma_B = 0$. А якщо ні, то профіль фрези піддають коректуванню.

13. Дискові модульні зуборізні фрези (як цільні так і збірні) виготовляють зі швидкорізних сталей нормальної продуктивності Р6М5, Р12; Р9 за ГОСТ 19265-73 із твердістю робочої частини HRC 63...66.

6. ПАРАМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ В СИСТЕМІ PTC CREO PARAMETRICS

6.1. Загальні положення

Для створення оптимальних по стійкості, міцності й ряду інших параметрів конструкцій інструмента перспективним є інтеграція PTC CREO PARAMETRICS і ANSYS.

Аналіз параметричної моделі зуборізної фрези в САЕ-системі, такій як ANSYS, дозволяє оцінити її міцність, деформацію, теплові характеристики та поведінку під навантаженням під час обробки зубчастих коліс. Оскільки зуборізна фреза зазнає значних механічних і термічних навантажень, аналіз у ANSYS допомагає оптимізувати конструкцію, зменшити ризик поломки та підвищити ефективність інструменту. Статичний аналіз враховує статичні навантаження, динамічний (Modal Analysis) дозволяє враховувати вібрації, тобто

розрахувати власні частоти фрези і уникнути резонансу з частотою обертання верстата, термоструктурний аналіз поєднує нагрів і напруження, щоб оцінити, як температура впливає на міцність.

Інтеграція між Creo і ANSYS реалізується через кілька механізмів:

Пряма інтеграція через ANSYS Workbench: ANSYS Workbench підтримує імпорт моделей із Creo, а також двосторонній обмін параметрами та геометрією.

Формати файлів: Моделі з Creo можна експортувати в нейтральні формати (STEP, IGES, Parasolid) для імпорту в ANSYS.

Creo Simulate: Вбудований модуль FEA в Creo, який може бути використаний для базового аналізу або як міст до ANSYS.

ANSYS Discovery: Інструмент для швидкого аналізу, який інтегрується з Creo для попередньої оцінки.

API та автоматизація: Використання скриптів або плагінів для автоматизації передачі даних.

Основна мета інтеграції — забезпечити безперервний робочий процес, де зміни в геометрії чи параметрах у Creo автоматично відображаються в ANSYS, і навпаки, результати аналізу можуть впливати на модифікацію моделі в Creo.

6.2. Послідовність створення параметричної моделі

Інформацію про початкове налаштування Creo Parametrics і базові операції викладено у [8] та офіційній справці.

Ключовим інструментом для організації, управління та автоматизації створення моделі в CAD-системах є таблиця параметрів. Таблиця параметрів слугує як єдиний центр управління всіма змінними, що визначають геометрію та характеристики фрези. Замість того, щоб вручну вводити значення для кожного елемента моделі (наприклад, діаметра, висоти зуба), параметри зберігаються в таблиці, звідки CAD-система автоматично бере значення. Таблиця параметрів дозволяє задавати математичні або логічні залежності між параметрами за допомогою рівнянь (у Creo це Relations). Це зменшує ризик помилок і спрощує

масштабування моделі. Таблиця параметрів може бути використана для створення кількох варіантів фрези в рамках однієї моделі за допомогою функції Family Table (таблиця сімейства). Таблиця параметрів дозволяє передавати параметри моделі в CAE-системи (наприклад, ANSYS) для аналізу міцності, теплового впливу чи вібрацій, а також проводити параметричну оптимізацію. Таблиця параметрів може бути включена в креслення або технічну документацію, щоб показати ключові характеристики фрези та їх зв'язок із геометрією. Це забезпечує синхронізацію між моделлю та документацією, зменшуючи ризик помилок у специфікаціях.

Евольвентна ділянка профілю зуба фрези поіторює форму западини зубчастого колеса, тому для побудови евольвенти потрібен ескіз з параметризованими діаметрами зубчастого колеса. Основні параметри – модуль, кількість зубів та кут зачеплення вводяться за допомогою пунктів меню Model Intent (задум моделі) – Parameters (таблиця параметрів) на вкладці Model.

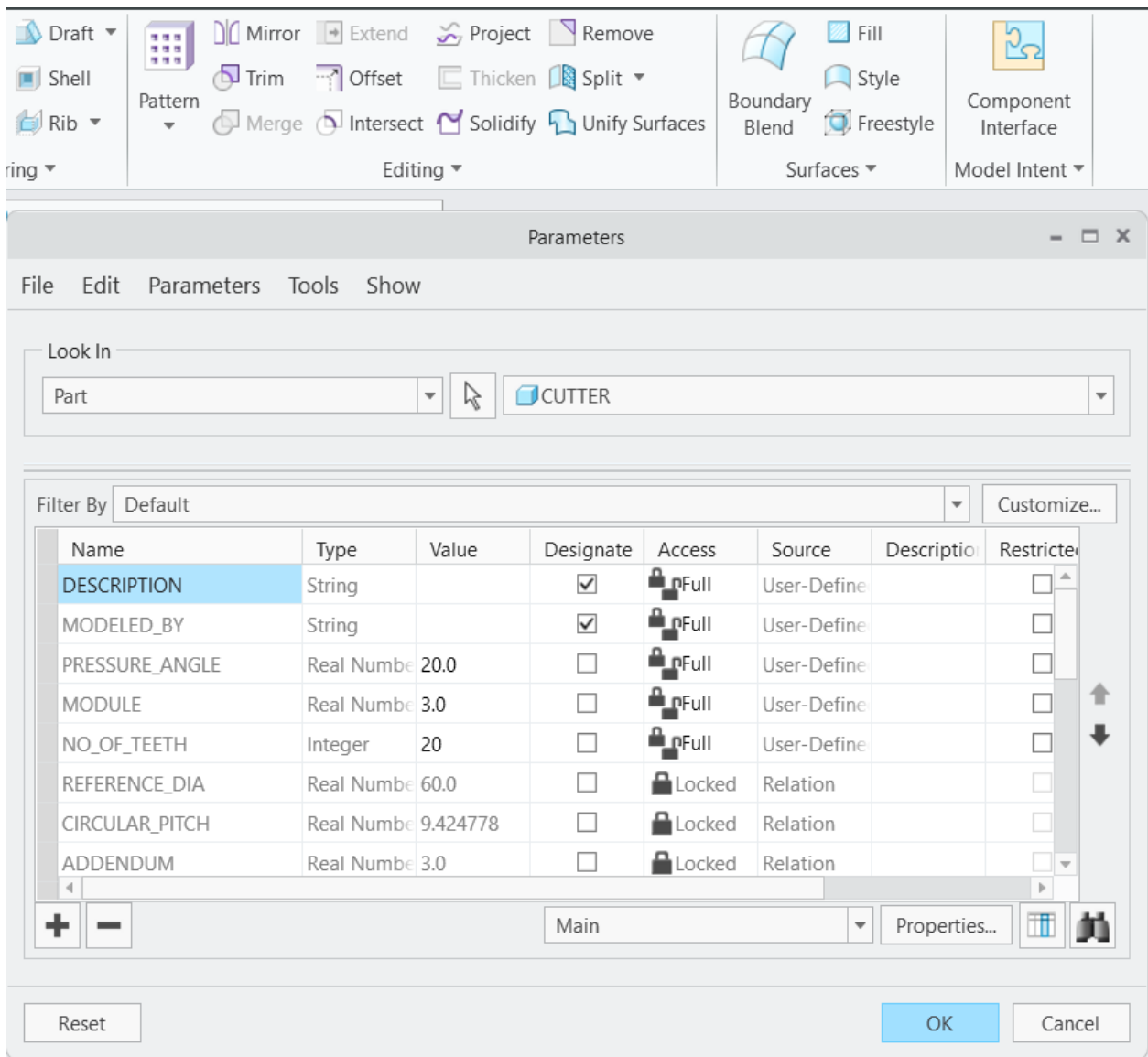


Рис. 6. Таблиця параметрів

Вирази для обчислення похідних розмірів колеса заносяться за допомогою пунктів меню Model Intent (задум моделі) – Relations (рівняння) на вкладці Model.

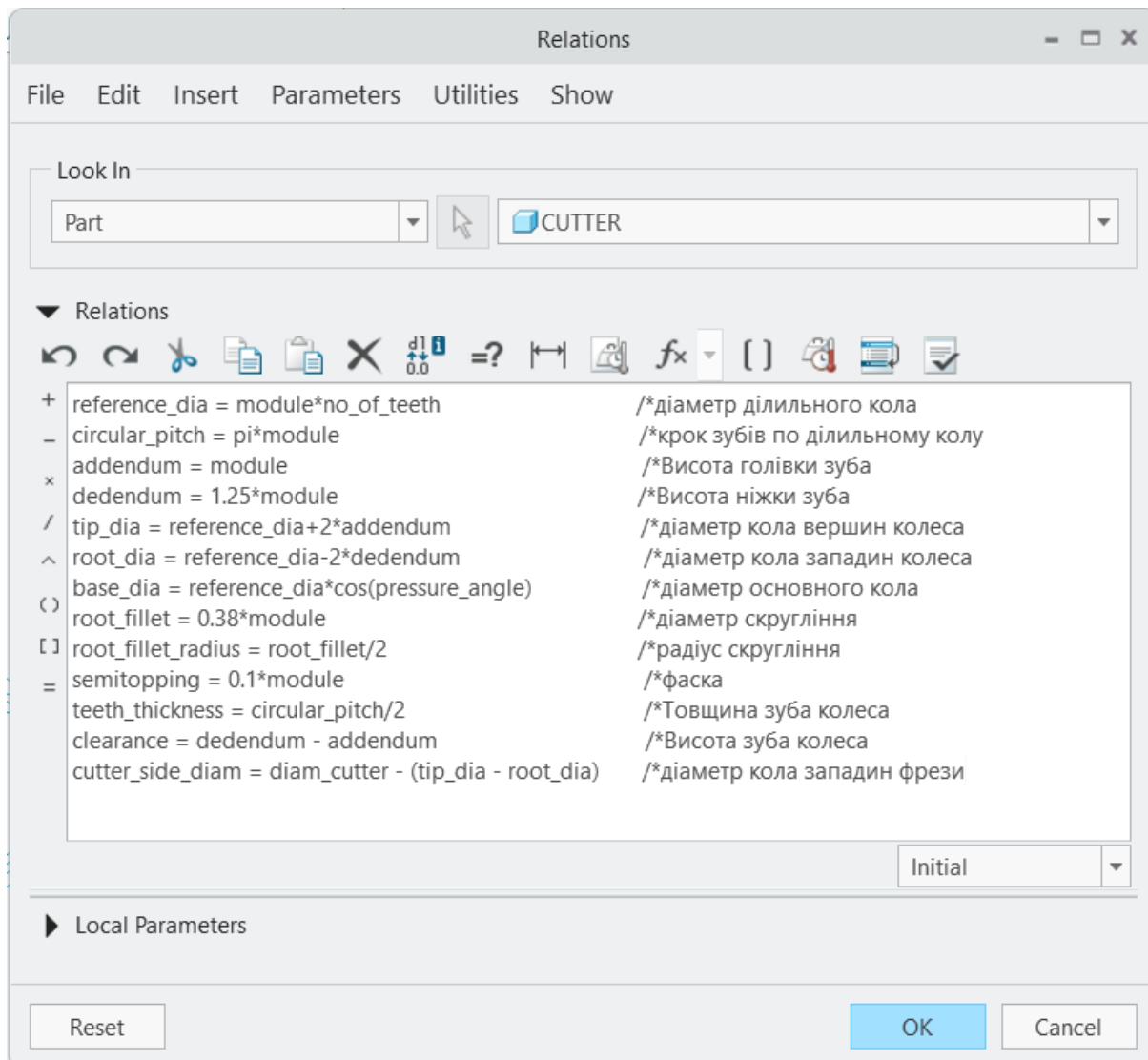


Рис. 7. Вікно виразів, заповнене співвідношеннями для профілю зубчастого колеса

Далі слід обрати площину, створити ескіз, створити 4 концентричні кола та пов'язати їх параметри з обчисленими діаметрами кола вершин, западин, основним та ділильним. Для цього слід натиснути Dimension (розміри) і ввести замість розміру назву параметра.

Наступний етап – створення власне евольвенти. Для цього слід скористатися пунктом меню Curve (крива) вкладки Datum (дані). У вікні, що відкриється задається система координат і рівняння евольвенти.

$$theta = 90 * t$$

$$angle_ratio = theta/360$$

$$S = \text{angle_ratio} * \pi * \text{base_dia}$$

$$\text{base_radius} = \text{base_dia}/2$$

$$Xc = \text{base_radius} * \cos(\text{theta})$$

$$Yc = \text{base_radius} * \sin(\text{theta})$$

$$X = Xc + (S * \sin(\text{theta}))$$

$$Y = Yc - (S * \cos(\text{theta}))$$

$$Z = 0,$$

Де base_dia – діаметр основного кола зубчастого колеса, angle_ratio – кут зачеплення.

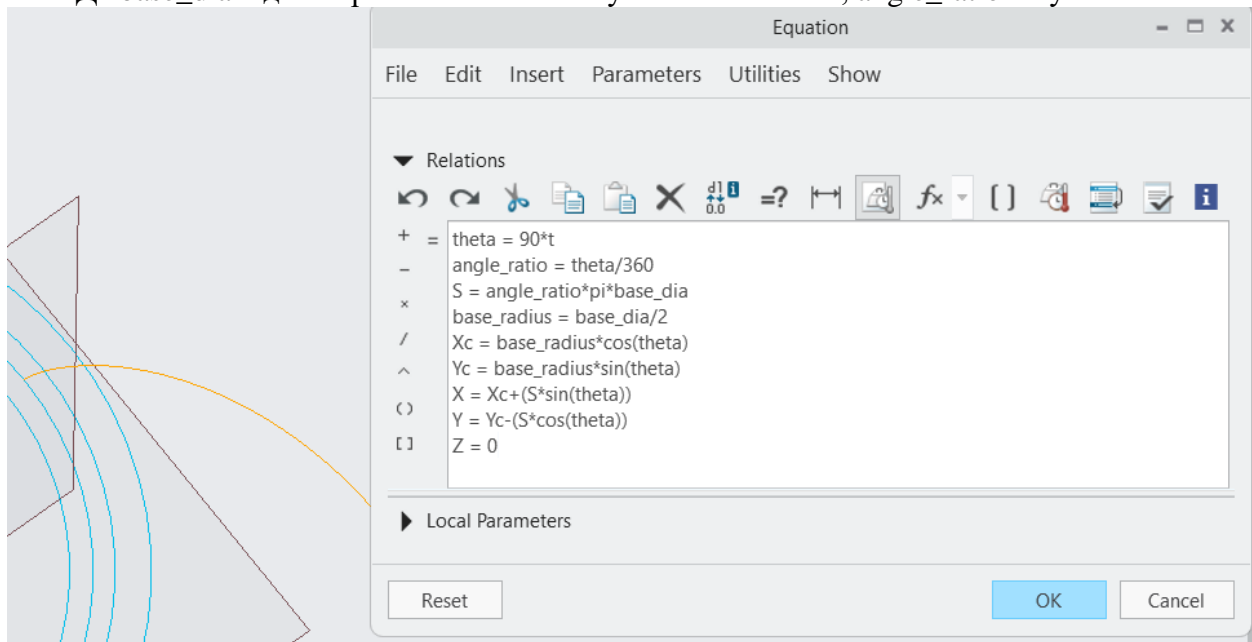


Рис. 8. Евольвента та рівняння, які її задають

Далі за допомогою операції Trim (обрізати) панелі Editing (редагування) видалити зайву ділянку евольвенти, обмеживши евольвенту колом вершин.

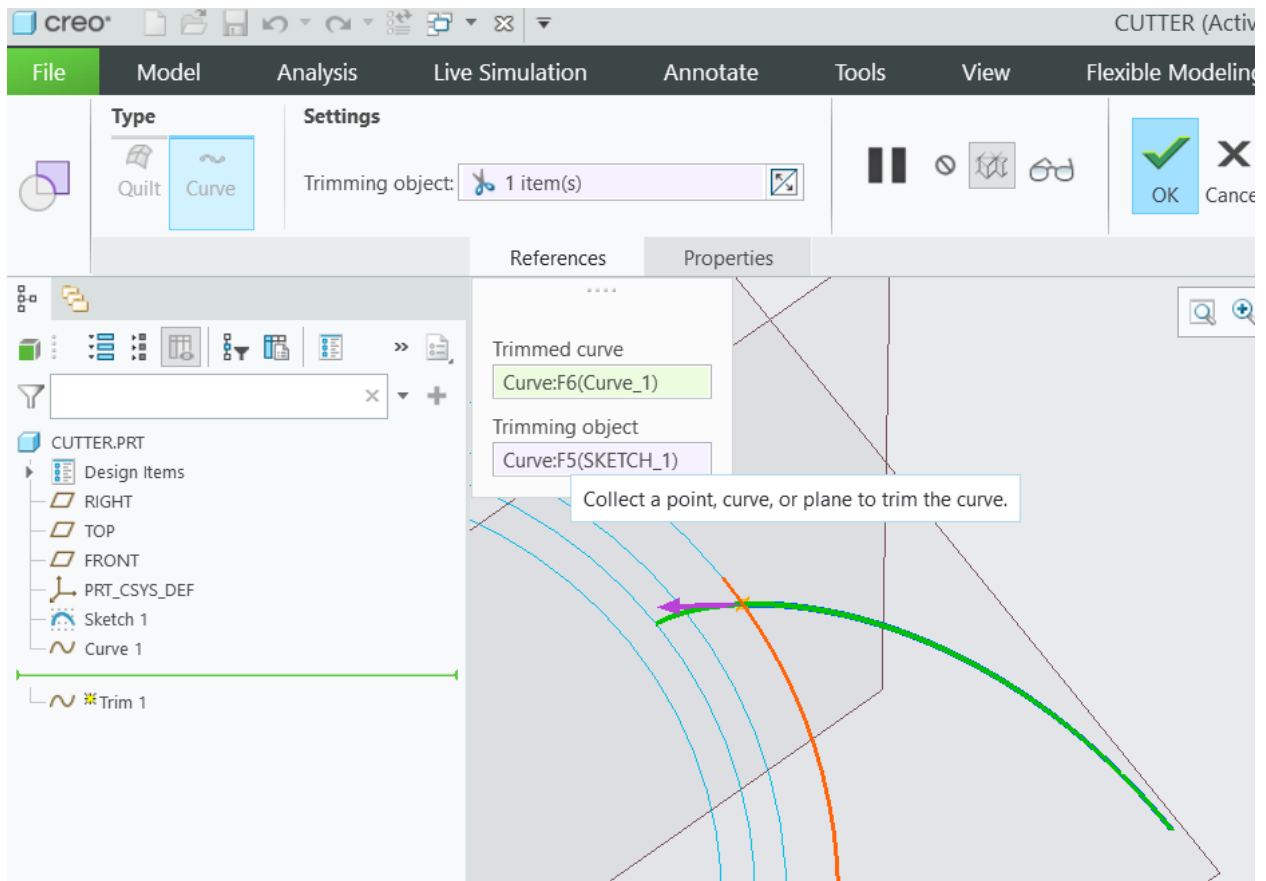


Рис. 9. Операція Trim

Для доповнення профілю фрези слід скористатися операцією Mirror (віддзеркалення) панелі Editing (редагування). Операція вимагає побудови допоміжної площини, відносно якої буде здійснюватися віддзеркалення евольвенти. Допоміжна площина завдається осьовою лінією, яка перпендикулярна площині ескізу і проходить крізь центр ділильного кола, і точкою, яка лежить на ділильному колі і ділить западину профілю зубчастого колеса (або профіль фрези) навпіл. Для знаходження цієї точки слід створити ескіз в площині побудови, створити дугу за центром, який співпадає із центром кіл, і 2 точками, одна з яких знаходиться на перетині евольвенти і ділильного кола, а друга – на ділильному колі, і задати довжину цієї дуги, щоб вона дорівнювала половині товщини зуба.

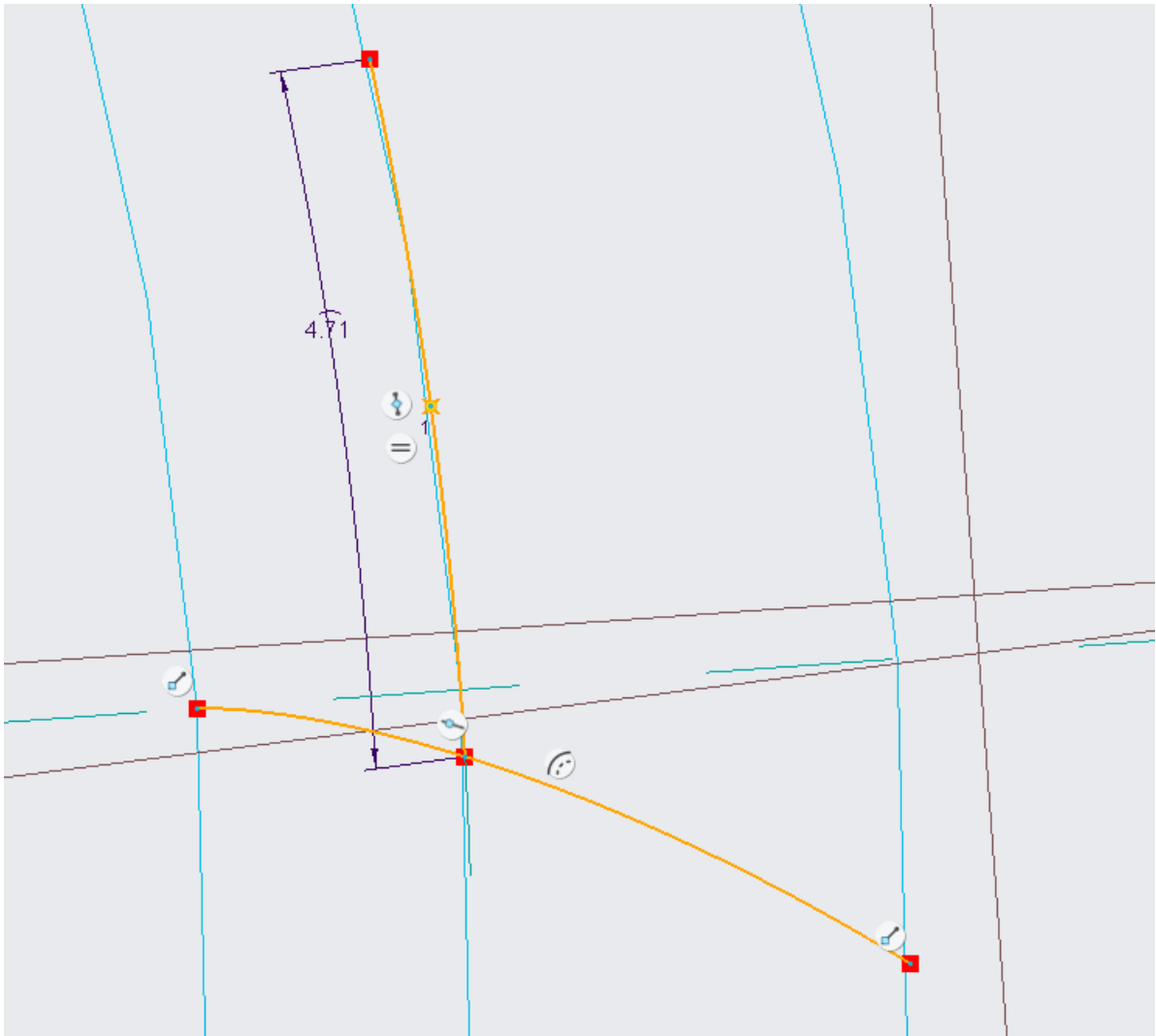


Рис. 10. Побудова дуги, довжина якої дорівнює половині товщини зуба колеса

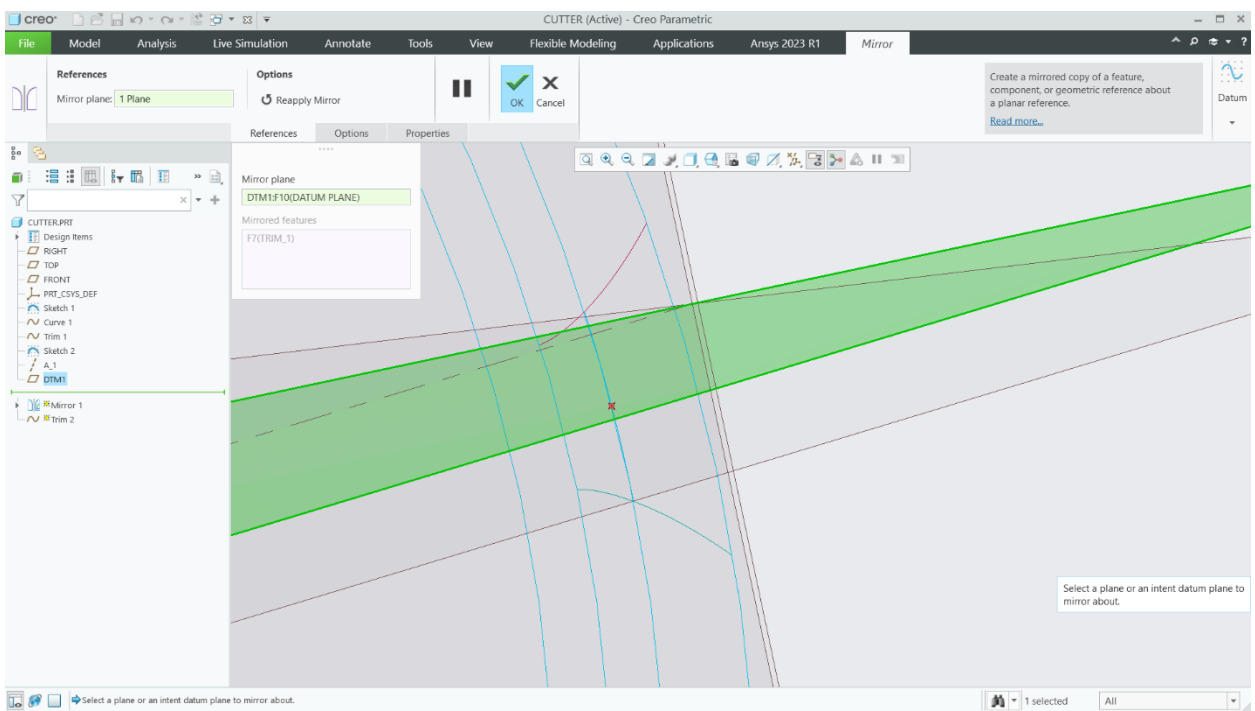


Рис.11. Віддзеркалення евольвенти за допомогою операції Mirror

Після цього слід приступати до створення тривимірної моделі фрези за допомогою операції Revolve (обертання) панелі Shapes (форми). Дві ділянки евольвенти переносяться в автоматично створений ескіз за допомогою операції Project (проекція) панелі Sketching (ескіз). Інші елементи ескіза створюються за допомогою операцій Line, Circle, Fillet та інших з цієї ж панелі відповідно до стандартів і літератури. Створення скруглень може бути винесено в окрему тривимірну операцію. Геометричні розміри слід прив'язати до змінних таблиці параметрів.

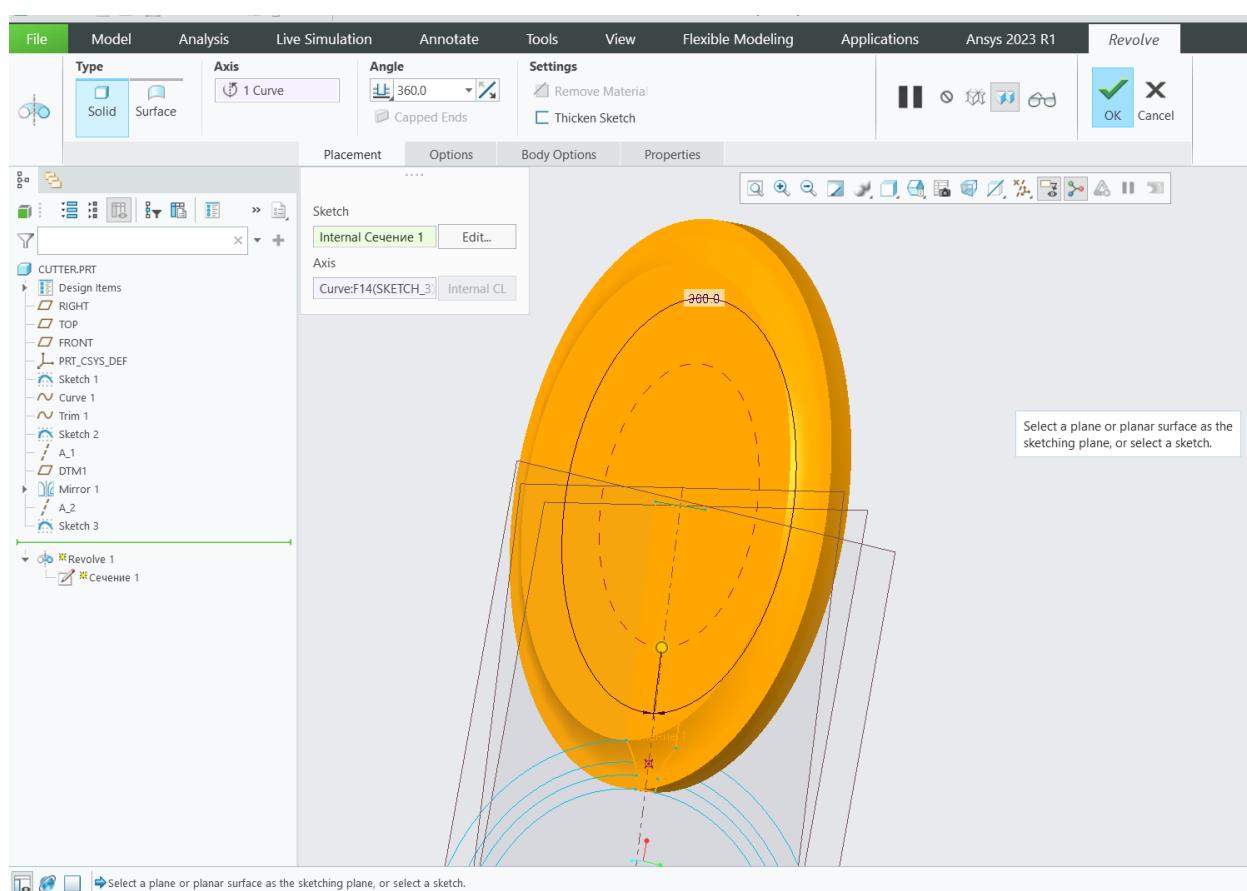


Рис. 12. Створення диска фрези за допомогою операції обертання

Посадочний отвір і шпонковий паз слід задати за допомогою операції Extrude (витягування) панелі Shapes (форми) із опцією Remove material (видалити матеріал). Розміри на ескізі мають бути узгоджені зі стандартами і пов'язані із відповідними змінними.

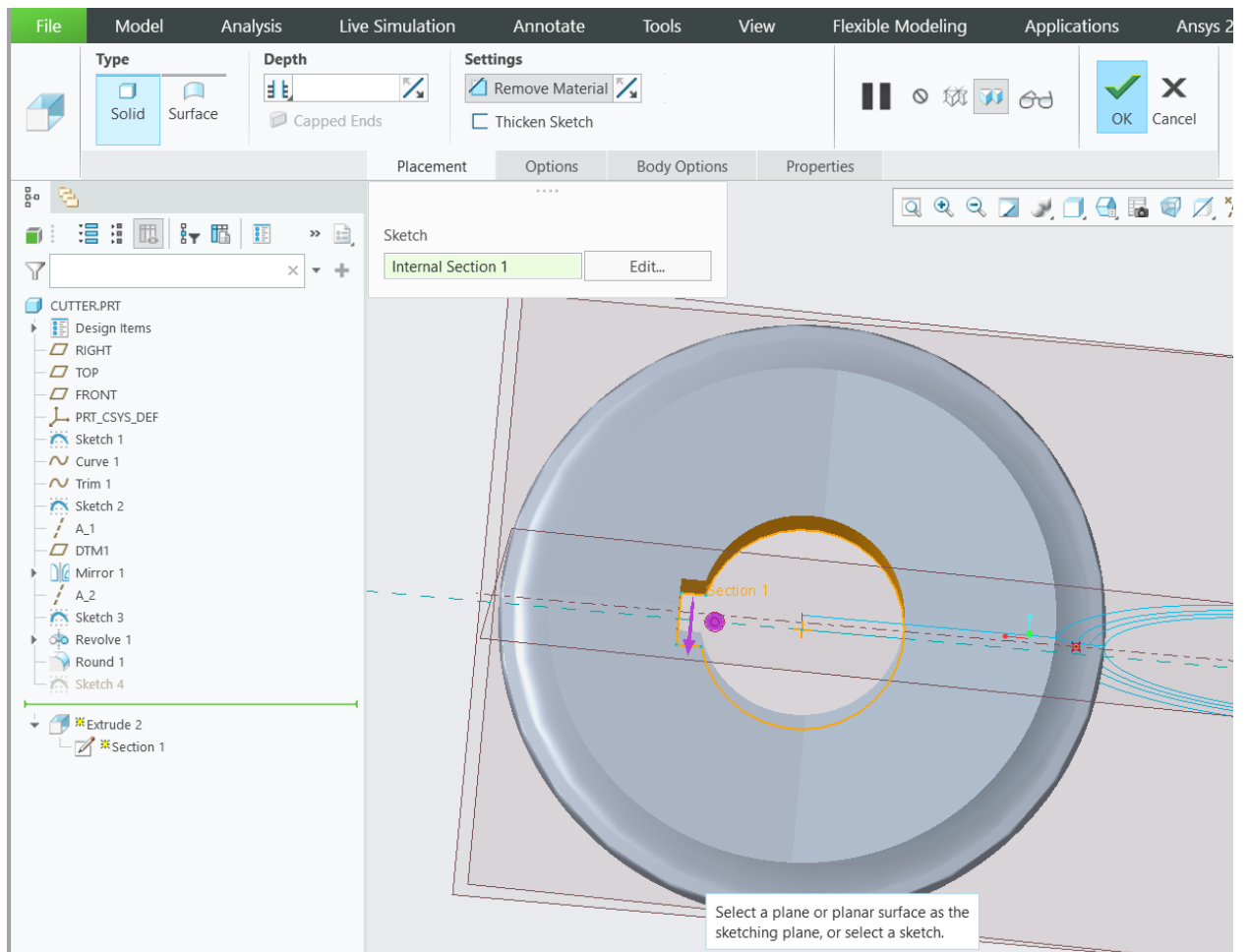


Рис. 13. Створення посадочного отвору і шпонкового пазу за допомогою операції Extrude

Западина між зубцями фрези аналогічно формується за допомогою операції Extrude панелі Shapes із опцією Remove material. Одну западину слід розмножити за допомогою операції Pattern панелі Editing. В налаштуваннях слід вказати тип масиву Axis і кількість елементів.

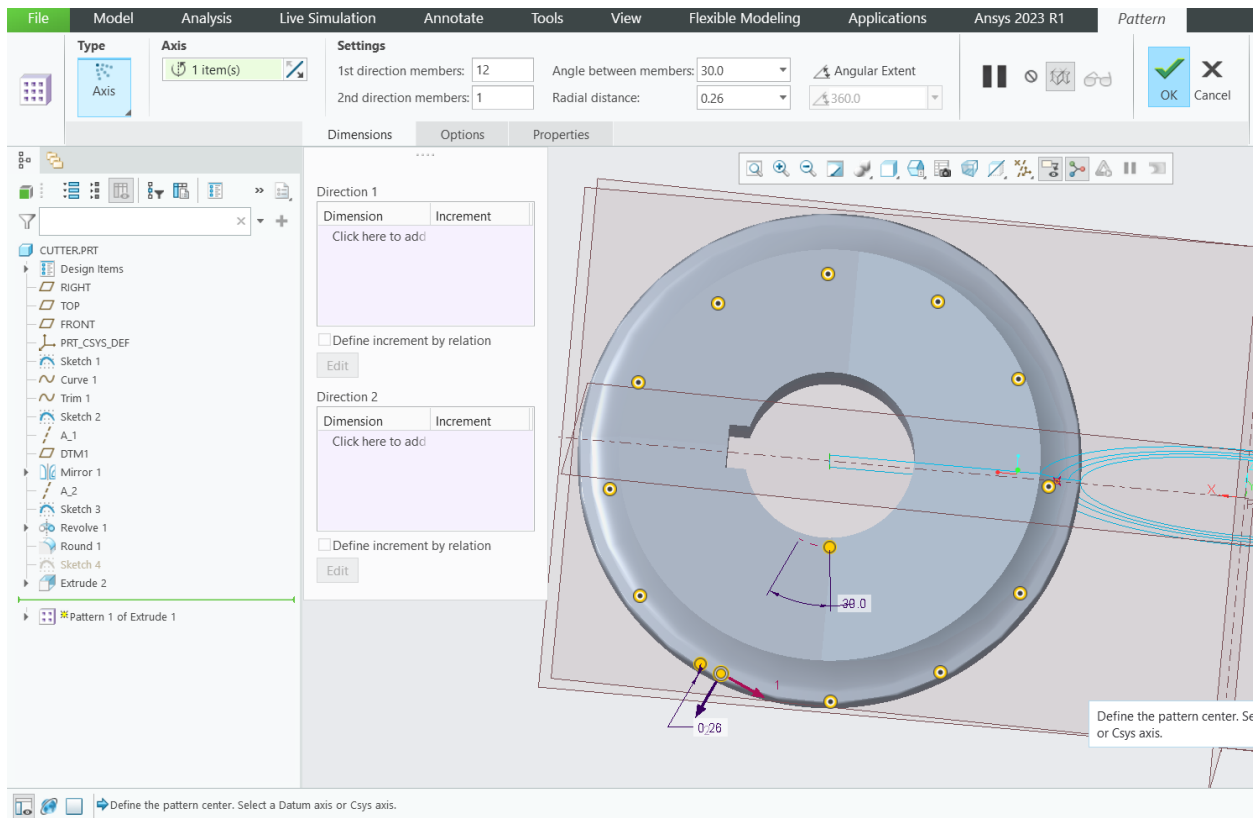


Рис. 14. Розмноження западини між зубцями фрези за допомогою операції Pattern

Для моделювання затилування зуба слід скористатися операцією Sweep панелі Shapes. Попередньо потрібно створити криву у вигляді спіралі Архімеда (пункт меню Curve вкладки Datum). Систему координат обираємо циліндричну (cylindrical)/

Рівняння спіралі архімеда в циліндричних координатах виглядає як

$$r = IR + t * (OR - IR)$$

$$theta = t * N_AR + C_AR$$

$$z = 0$$

Де IR-внутрішній радіус ділянки спіралі, OR-зовнішній радіус, N_AR-кут ділянки спіралі, C_AR – кут початкової точки ділянки спіралі.

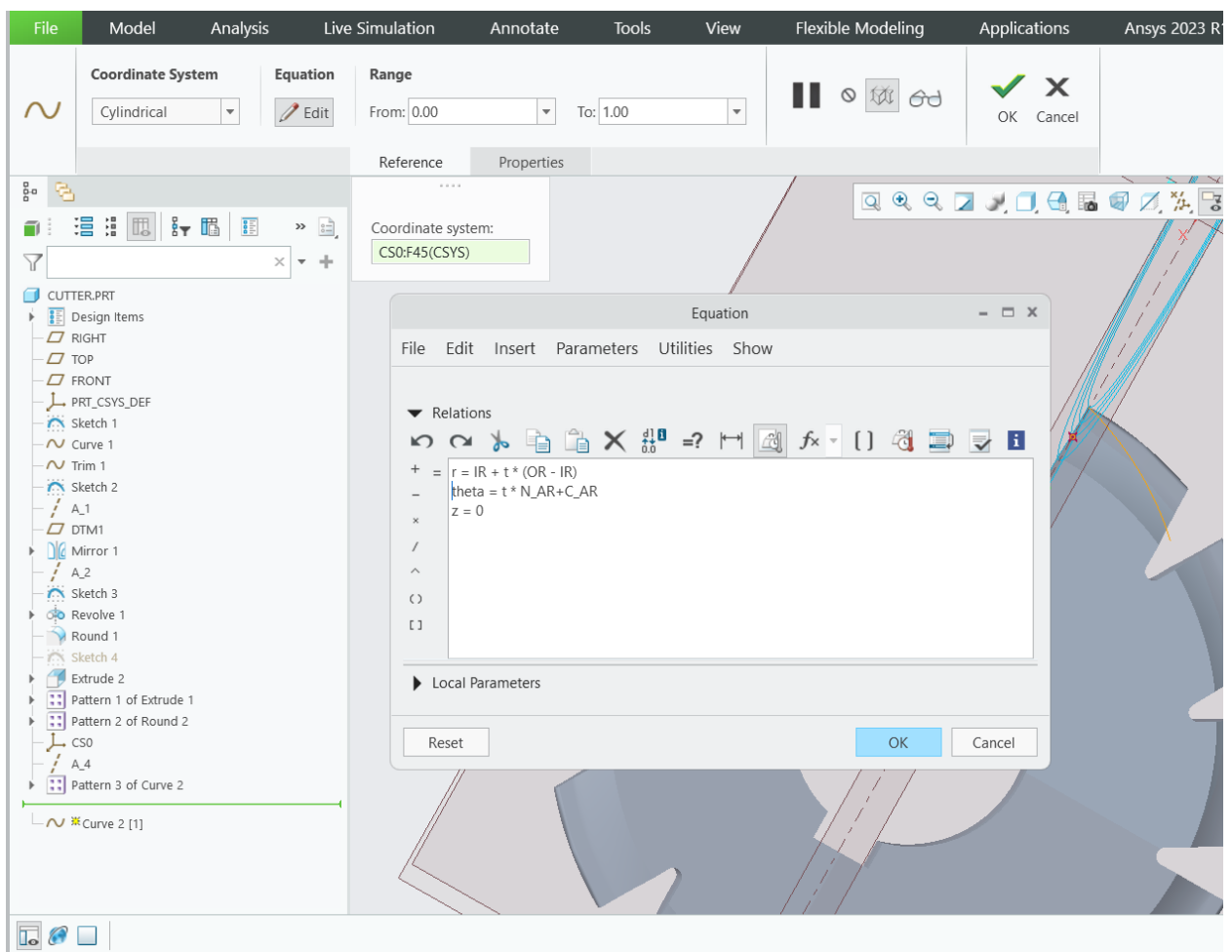


Рис.15. Створення спіралі Архімеда для моделювання затилування зуба фрези

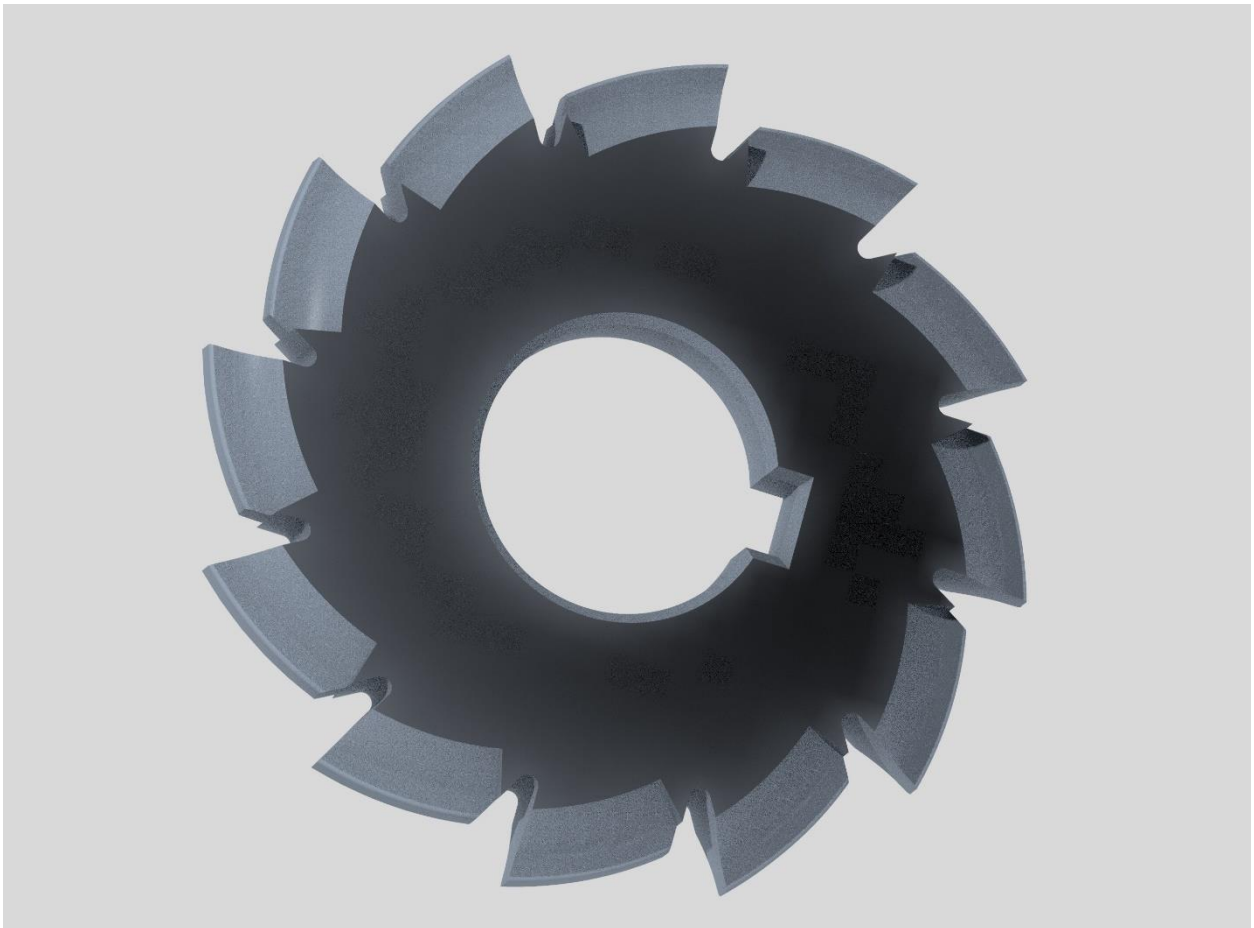


Рис. 16. Тривимірна модель дискової зуборізної фрези

Family Table у PTC Creo Parametric — це потужний інструмент для створення та управління набором варіантів однієї базової моделі (деталі або складання) з різними параметрами, розмірами, геометрією чи конфігураціями. Він дозволяє створювати "сімейство" моделей, де кожен варіант (instance) є похідним від базової моделі (generic model) і відрізняється заданими параметрами. Це особливо корисно для моделювання зуборізної фрези, де потрібно створювати фрези з різними модулями, кількістю зубів чи діаметрами без необхідності моделювати кожен з нуля.

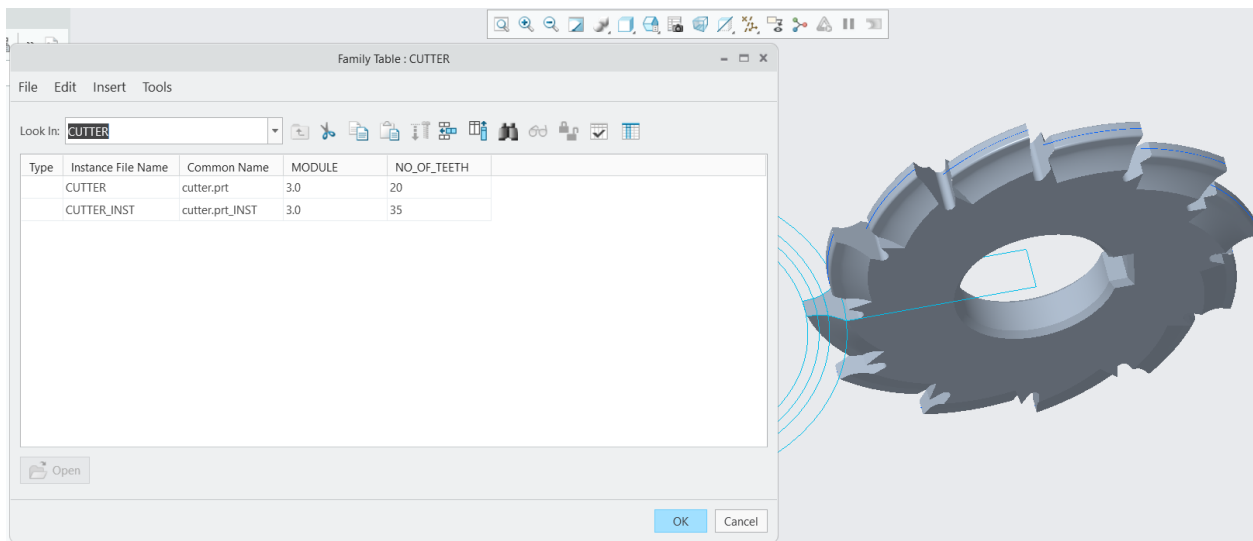


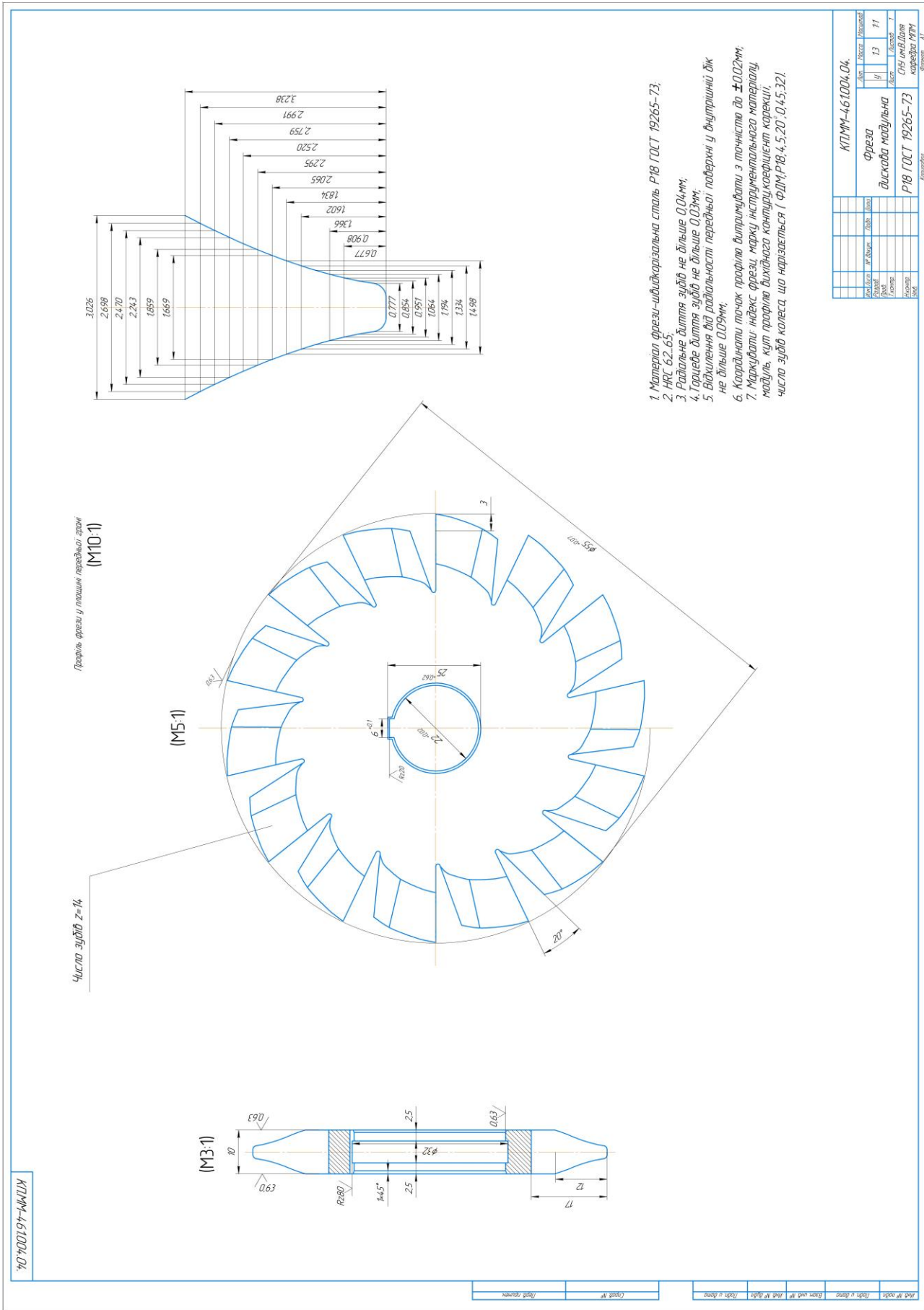
Рис. 17. Створення групи тривимірних моделей за допомогою Family Table (таблиця сімейства)

7. ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ РОБОЧОГО КРЕСЛЕННЯ ДИСКОВОЇ МОДУЛЬНОЇ ФРЕЗИ

Робоче креслення рекомендується виконувати паралельно з проведеними розрахунками для уточнення й коректування як параметрів профілю, так і конструктивних параметрів фрези.

Робоче креслення повинне містити: фрезу у двох проекціях з усіма конструктивними розмірами й значенням шорсткості поверхні; профіль фрези в площині передньої грані з усіма розрахунковими розмірами й допусками на профіль; профіль для стружкової канавки (виконується, якщо є потреба); технічні умови: матеріал, твердість різальної частини після термообробки, биття різальних крайок, биття базових торців і маркування (ГОСТ 10996-64), а також ряд інших відомостей, необхідних для виготовлення, контролю і експлуатації дискової модульної фрези. Приклади робочого креслення й креслення 3 D-моделі наведені відповідно на рис. 10 і 11.

Creo надає можливість створення двовимірної технічної документації на основі 3D-моделі. Креслення включає види, розрізи, розміри, примітки та таблиці, які відповідають стандартам (наприклад, ГОСТ, ISO, ASME). У Creo цей процес є асоціативним, тобто зміни в 3D-моделі автоматично відображаються в кресленні, що забезпечує точність і економію часу. Процес створення креслення докладно описаний в [9].



1. Матеріал фрези-швидкорізальна сталь Р18 ГОСТ 19265-73.
2. НКС 62.2.65.
3. Радіальне діаметра зубів не більше 0,04мм.
4. Горізде діаметра зубів не більше 0,03мм.
5. Відхилення від радіальності передньої поверхні у внутрішній дік не більше 0,09мм.
6. Координати точок профілю втримувати з точністю до $\pm 0,02$ мм.
7. Маркувати індекс фрези, марку інструментального матеріалу, модуль, кут профілю дикішого контуру поверхні корекції.
- число зубів колеса, що нарізається (ФДМ, Р18, 4, 5, 20, 0, 4, 5, 32).

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

Оберіть правильну відповідь.

1. Дискові модульні фрези застосовуються для нарізування зубчастих коліс:.

- а) тільки прямозубих;
- б) тільки косозубих;
- в) прямозубих, косозубих і шевронних коліс.

Виберіть правильну відповідь.

2. Дискові модульні фрези раціонально використовувати для обробки зубчастих коліс:

- а) у великосерійному виробництві;
- б) у масовому виробництві;
- в) в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

3. Дискові модульні некориговані фрези використовуються для обробки зубчастих коліс:

- а) 6 і 7 ступенів точності;
- б) 8 ступеня точності;
- в) 9 і грубіше ступенів точності.

4. Яким профілем описується контур зубів дискових модульних фрез?

- а) циклоїдальним; б) круговим; в) евольвентним.

Виберіть правильну відповідь.

5. Який стандартний набір дискових модульних фрез використовують для обробки зубчастих коліс нормальної точності з модулем $8 < m \leq 16$ мм:

- а) з 8 фрез; б) з 26 фрез; в) з 15 фрез.

Виберіть правильну відповідь.

6. Аналітичний спосіб профілювання дискових зуборізних модульних фрез використовується:

- а) для некоригованих зубів коліс;
- б) для коригованих зубів коліс;
- в) для коліс із круговими зубами.

Виберіть правильну відповідь.

7. Якою залежністю можна визначити величину полярного кута в довільній

точці евольвентного профілю зуба зубчастого колеса?

а) $\theta_x = \cos \alpha_x - \alpha_x$;

б) $\theta_x = \operatorname{tg} \alpha_x - \alpha_x$;

в) $\theta_x = \operatorname{ctg} \alpha_x - \alpha_x$.

Виберіть правильну відповідь.

8. Кут тиску (зацеплення) у довільній точці профілю зуба дискової зуборізної фрези розраховують за формулою:

а) $\alpha_x = \arccos \frac{r_b}{\rho_0}$; б) $\alpha_x = \arcsin \frac{r_b}{\rho_0}$; в) $\alpha_x = \operatorname{arctg} \frac{\rho_0}{r_b}$.

Виберіть правильну відповідь.

9. Величину переднього кута зуба дискової зуборізної модульної фрези призначають у залежності:

а) від характеру обробки;

б) від кінематики обробки;

в) від необхідної точності обробки.

Виберіть правильну відповідь.

10. Величину заднього кута на бічних різальних кромках зуба дискової модульної фрези знаходять за формулою:

а) $\operatorname{tg} \alpha_\sigma = \operatorname{tg} \alpha_B - \cos \varepsilon$;

б) $\operatorname{tg} \alpha_\sigma = \operatorname{tg} \alpha_B \cdot \sin \varepsilon$;

в) $\operatorname{tg} \alpha_\sigma = \sin \alpha_B + \operatorname{tg} \varepsilon$.

Виберіть правильну відповідь.

11. Які три фактори впливають на продуктивність і стійкість дискових модульних фрез?

12. Від чого залежить контур неевольвентної частини профілю зуба фрези? Якими лініями (комбінаціями ліній) описується перехідна крива профілю зуба?

13. Як змінюється профіль різальних кромок зуба зуборізної дискової фрези залежно від числа зубів і положення основного кола колеса, що нарізується?

14. Від яких параметрів дискової зуборізної модульної фрези залежить величина затилування задньої поверхні зуба?

15. Як розрахувати величину зовнішнього діаметра спеціальної дискової зуборізної модульної фрези?

16. Як визначити число й параметри зубів і стружкових канавок коригованих дискових зуборізних модульних фрез?

17. Чому дорівнює довжина шліфованої частини задньої поверхні зуба чистової дискової зуборізної модульної фрези?

Основні розміри дискових модульних фрез, мм ГОСТ 10996-64

m	D	d	z_0	Ширина B у фрез номерів															
				1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8	
1,125	50	19	14	4,5	–	4,5	–	4	–	4	–	4	–	4	–	4	–	4	
1,25	50	19	14	5	–	5	–	4,5	–	4,5	–	4,5	–	4,5	–	4	–	4	
1,375	50	19	14	5,5	–	5,5	–	5	–	5	–	5	–	5	–	4,5	–	4,5	
1,5	55	22	14	6	–	6	–	5,5	–	5,5	–	5	–	5	–	5	–	5	
1,75	55	22	14	7	–	6,5	–	6,5	–	6,5	–	6	–	6	–	5,5	–	5,5	
2	63	22	12	8	–	7,5	–	7,5	–	7	–	7	–	6,5	–	6,5	–	6	
2,25	63	22	12	8,5	–	8,5	–	8	–	8	–	7,5	–	7,5	–	7	–	7	
2,5	70	22	12	9,5	–	9,5	–	9	–	8,5	–	8,5	–	8	–	8	–	7,5	
2,75	70	22	12	10,5	–	10	–	10	–	9,5	–	9	–	9	–	8,5	–	8	
3	80	27	12	11,5	–	11	–	10,5	–	10,5	–	10	–	9,5	–	9,5	–	9	
3,25	80	27	12	12	–	12	–	11,5	–	11	–	10,5	–	10,5	–	10	–	9,5	
3,5	80	27	12	13	–	13	–	12,5	–	12	–	11,5	–	11	–	11	–	10,5	
3,75	80	27	12	14	–	13,5	–	13	–	12,5	–	12	–	12	–	11,5	–	11	
4	90	27	12	15	–	14,5	–	14	–	13,5	–	13	–	12,5	–	12	–	11,5	
4,25	90	27	12	15,5	–	15	–	14,5	–	14	–	13,5	–	13	–	12,5	–	12	
4,5	90	27	12	16,5	–	16	–	15,5	–	15	–	14,5	–	14	–	13,5	–	13	
5	100	27	12	18	–	17,5	–	17	–	16,5	–	16	–	15,5	–	15	–	14,5	
5,5	100	27	12	20	–	19	–	18,5	–	18	–	17,5	–	17	–	16	–	15,5	
6	110	32	10	21,5	–	21	–	20	–	19,5	–	19	–	18	–	17,5	–	17	
6,5	110	32	10	23	–	22,5	–	21,5	–	21	–	20	–	19,5	–	19	–	18	
7	110	32	10	24,5	–	24	–	23	–	22	–	21,5	–	21	–	20	–	19,5	
8	125	32	10	28	–	27	–	26	–	25	–	24,5	–	24	–	23	–	22	
9	125	32	10	31	31	30	30	29	29	28	28	27	27	27	26	26	25	24	
10	140	40	10	34	34	33	33	32	32	31	31	30	30	29	29	28	28	27	
11	140	40	10	37	37	36	36	35	34	34	33	33	32	32	31	31	30	29	
12	160	40	10	41	40	39	39	38	37	37	36	36	35	35	34	34	33	32	
14	160	40	10	47	46	46	45	44	43	43	42	41	41	40	39	39	38	37	
16	180	50	10	53	52	52	51	50	49	48	48	47	46	45	45	44	43	42	

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Різальний інструмент [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – с. 147
2. Проектування зуборізних інструментів з використанням системи КОМПАС: навчальний посібник / О.С. Кроль, Т.О. Шумакова, В.І. Соколов. Луганськ: вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2013. 144 с.
3. Різальний інструмент [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л.М. Данилова, С.В. Лапковський, В.П. Приходько – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – с. 147
4. Кукляк М.Л., Афтаназів І.С., Юрчишин І.І. Металорізальні інструменти. Проектування. – Львів: Львівська політехніка, 2002. – 455 с.
5. Сілкін В.П. Різальний інструмент. Курсове проектування: навчальний посібник / В.П. Сілкін, В.Ю. Солод. - Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2012. - 329 с.б. Справочник інструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др. Л.: Машиностроение, 1987. 846 с.
7. Різальний інструмент. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка", спеціальностей 131 "Прикладна механіка" та 133 "Галузеве машинобудування" / Укл.: О.В.Лисенко, В.М.Лисенко. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 96 с.
8. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи САД, САМ, САЕ». Частина І. Побудова тривимірної моделі валу в САД-системі PTC Creo. (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування») (Електронне видання) / Уклад.: О.М. Логунов, Г.Л. Мелконов, А.П. Ніколаєнко, О.В. Романченко, Т.О. Шумакова – Київ: вид-во СЛУ ім. В. Даля, 2024. – 24 с.

9. Романченко О.В., Логунов О.М. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи CAD, CAM, CAE» Частина II. Генерація креслень з тривимірної моделі валу в CAD-системі PTC Creo (для здобувачів вищої освіти спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування») (Електронне видання) Сєвєродонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2020. 20 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни

«РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ»

Проектування дискових зуборізних фрез

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей

131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»)

Укладачі:

Романченко Олексій Володимирович,

Логунів Олександр Миколайович,

Шумакова Тетяна Олександрівна,

Сергієнко Оксана Вікторівна,

Шевченко Олександр Володимирович,

Ніколаєнко Анна Павлівна

Мелконов Григорій Леонідович

Боровік Павло Володимирович

Созонтов Віктор Гнатович

Івченко Анатолій Григорович

Святошенко Світлана Миколаївна

Оригінал-макет

Т.О. Шумакова

Підписано до друку _____

Формат 60x841/16. Папір типограф. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Облік. видавн. арк. ____

Тираж ____ екз. Вид. № _____. Замовл. № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету

імені Володимира Даля

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса видавництва: 01042, м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17

адреса електронної пошти uni@snu.edu.ua,

офіційний web-сайт <https://snu.edu.ua>

E-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com