

УДК 621.9

## Формалізація вибору технології виготовлення зубчастих коліс

Пасічник В.А., Воронцов Б.С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація:** Розглянуті питання формалізація вибору технології виготовлення зубчастих коліс. Дано опис зв'язку між показниками форми, матеріалу, шорсткості обробленої поверхні, точності, мінімальної товщини стінки, кількості виготовлених зубчастих коліс, часу виконання замовлення та основними технологічними процесами. Дано описи формалізації у виді числових відношень що робить їх придатним для автоматизованого аналізу їх можливостей і синтезу припустимих технологій виготовлення.

**Ключові слова:** Технологічні процеси; Зубчасті колеса; Синтез технологій виготовлення.

В роботі [1] синтез технологічних процесів виготовлення зубчастих передач зводиться до визначення технології за наступною схемою (рис.1.)

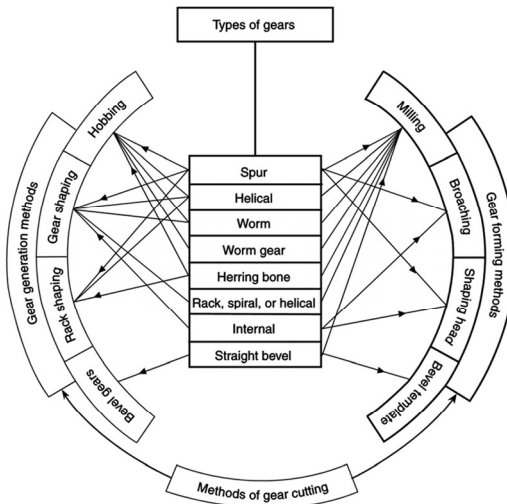


Рис. 1. Вибір методу оброблення зубчастих коліс [1]

Вибір найкращого варіанта реалізації технологічних процесів механічної обробки проводиться на етапі техніко-економічного обґрунтування і здійснюється в кілька етапів [2]:

1) відбір варіантів з потенційно можливих, кожен з яких задовольняє заданим технічним вимогам і умовам виготовлення певної деталі, а також обмеженням соціальних стандартів та економічних вимог; в число розглянутих варіантів необхідно включати найбільш прогресивні, техніко-економічні показники яких перевершують або відповідають кращим світовим досягненням;

2) по кожному варіанту з числа відібраних визначають витрати, результати та економічний ефект;

3) найкращим вважається варіант, у якого економічний ефект максимальний, а за умови тотожності результату – витрати на його реалізацію мінімальні. Для випадків, коли технологічні процеси механічної обробки деталей забезпечують підвищення їх експлуатаційних властивостей, найкращий варіант визначається максимумом економічного ефекту по роках розрахункового періоду.

Зазначимо, що такий підхід є в цілому вірним, проте його використання є зручним лише для людини, причому підготовленої. Формалізація вибору технології оброблення зубчастих коліс дозволить знизити степінь суб'єктивності та значною мірою автоматизувати його. Саме це пропонується в даній роботі.

На першому етапі (рис. 2) слід визначити обмеження основних методів оброблення зубчастих коліс – точіння, стругання (довбання), фрезерування, електро-фізико-хімічних методів, лиття під тиском тощо, за показниками форми, матеріалу, шорсткості обробленої поверхні, точності, мінімальної товщини стінки, кількості виготовлених зубчастих коліс, часу виконання замовлення. Представимо аналіз за вказаними показниками у виді таблиці (рис. 2), зміст якої означає наступне: «1» – рекомендовано; «0» – припустимо; «-1» – не припустимо. Тепер визначивши необхідні параметри згідно критеріїв можна відкинути ті технології, які їм не відповідають.

	Конвенціональні технології	Форма		Матеріал		Шорсткість, Ra, мкм					Точність, мм			Стінки, мм, Max		Кількість шт		Термін виконання															
		Плоска	Циліндрична	Комплексна	Чорні метали	Сплави кольорових металів	Термопласт	Резинопласт	Еластомер	0,08	0,16	0,32	0,54	1,25	2,5	+/- 0,005	+/- 0,01	+/- 0,025	+/- 0,05	+/- 1,0	0,21	0,5	1	1-1000	1000-10000	10000+	Година	Дні	Неріді	Місяц			
		0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
<b>Processing</b>	Лиття під тиском	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	Екструзія	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
<b>Machining</b>	Електроіскрова обробка (EDM)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Електрохімічна обробка (ECM)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Фрезерування	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Токарна обробка	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 2. Оцінка методів виготовлення з критеріями

Наступним кроком повинно стати визначення допустимого методу формоутворення залежно від виду передачі. На рис. 3 зміст відношень означає: «1» – допустимо; «0» – не допустимо. Таким чином на цьому кроці можна визначити доступні схеми формоутворення.

Types of gear/Види передач	Схема обкатки				Схема копіювання			
	Зубо-нарізування	Зубодовбання	Нарізування рейкою	Конічне зубо-нарізування	Фрезерування модульною фрезею	Протягування	Зуборізні головки	Нарізування модульною фрезею
Прямозубі	1	1	1	0	1	1	1	0
Косозубі	1	1	1	0	1	0	0	0
Черв'як	1	1	0	0	1	0	0	0
Черв'ячне колесо	1	0	0	0	1	0	0	0
Шевронні	1	0	1	0	1	0	0	0
Рейка	0	1	0	0	1	0	0	0
Внутрішня	0	1	0	0	0	1	1	0
Конічна	0	0	0	1	1	0	0	1

Рис. 3. Зв'язок виду передачі із схемою формоутворення

Особливої уваги при обробленні зубчастих коліс потребує параметр шорсткості. На рис. 4 наведено аналіз широкого набору технологій оброблення, розділених на групи, з точки зору досягнення точності. Зміст означає наступне: «1» – рекомендовано; «0,5» – припустимо, не потребує додаткових операцій; «0» – припустимо, потребує додаткових

операцій; «-1» – не припустимо.

Process / Процес		Surface Roughness, Ra											
		µm / мкм											
		25	12,5	6,3	2,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025	0,012
		µin / мкд											
		1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	0,5
Mechanical	AFM - abrasive flow machine	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	1	0,5	0	0	-1
	LGS - low stress grinding	-1	-1	-1	-1	0	0,5	1	0,5	0	-1	-1	-1
	USM - ultra sonic machining	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	0,5	0	-1	-1	-1
Electrical	ECD - electrochemical deburning	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	1	0,5	0	-1	-1
	ECG - electrochemical grinding	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	1	0,5	0	0	-1
	ECM - frontal electrochemical milling	-1	-1	-1	0	0,5	1	1	0,5	0	0	-1	-1
	ECM - side wall electrochemical milling	-1	-1	0,5	1	1	0,5	0	-1	-1	-1	-1	-1
	ECP - electrochemical polishing	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	1	0,5	0	-1	-1
	STEM - shaped tube electrolytic machining	-1	-1	-1	0	1	1	0,5	0	-1	-1	-1	-1
Thermal	EBM - electron beam machining	-1	-1	-1	1	1	1	0,5	0	-1	-1	-1	-1
	EDG - electrical discharge grinding	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	0	-1	-1	-1	-1
	EDM - finishing electrical discharge machining	-1	-1	-1	0,5	1	1	0,5	0	0	-1	-1	-1
	EDM - routing electrical discharge machining	-1	0	1	1	0,5	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Chemical	LBM - laser beam machining	-1	-1	-1	1	1	1	0,5	0	-1	-1	-1	-1
	PBM - plasma beam machining	-1	-1	-1	0,5	1	0,5	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	CHM - chemical machining	-1	-1	0	1	1	1	0,5	0	0	-1	-1	-1
Conventional machining	PCM - photochemical machining	-1	-1	-1	0,5	1	1	0,5	0	-1	-1	-1	-1
	ELP - electropolishing	-1	-1	-1	-1	0	0,5	1	1	1	0,5	0	0
	CTR - turning	-1	0	0,5	1	1	1	1	0,5	0	0	0	-1
	CGS - grinding of surface	-1	-1	-1	0	0,5	1	1	1	1	0,5	0	-1

Рис. 4. Визначення досяжної шорсткості для різних технологій оброблення

Наступний етап стосується оцінки досяжної точності для тих саме технологій. Відношення між технологіями і досяжними параметрами точності наведені на рис. 5.

Точність														Process / Процес	
± in * 1000															
50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05						
µm / мкм															
1250	500	250	125	25	12,5	5	2,5	1,25							
-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0,5	1	0,5	Механічна	Різання абразивним потоком				
-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	0,5	0		Ненапружене шліфування				
-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	0	-1		Ультразвукова обробка				
-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	-1	-1	-1	Електрична	Електрохімічний галтовка				
-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	0	-1	-1		Електрохімічне шліфування				
-1	-1	0	0,5	1	1	0,5	0	-1	-1		Фронтальне електрохімічне фрезерування				
-1	-1	0,5	1	1	0,5	-1	-1	-1	-1		Бокове електрохімічне фрезерування				
-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	0	-1		Електрохімічне полірування				
-1	-1	-1	-1	0,5	1	0,5	0	-1	-1		Електролітична механічна обробка трубної форми				
-1	-1	-1	-1	0,5	1	0	0	-1	-1	Термічна	Обробка електронним потоком				
-1	-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	0	-1		Шліфування в електричному розряді				
-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	0	-1		Фінішна електроерозійна обробка				
-1	-1	-1	-1	0,5	1	-1	-1	-1	-1		Проміжна електроерозійна обробка				
-1	-1	-1	-1	0,5	1	0	-1	-1	-1		Лазерна обробка				
1	0,5	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		Плазмозна обробка				
-1	-1	0	0,5	1	0,5	0	-1	-1	-1	Хімічна	Хімічна обробка				
-1	-1	-1	-1	0,5	1	1	0	-1	-1		Фотохімічна обробка				
-1	-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	0	-1		Електрополірування				
-1	-1	-1	-1	0	1	0,5	0	-1	Традиційна мехобробка	Токарна обробка					
-1	-1	-1	-1	-1	0,5	1	1	0,5		0	Шліфування поверхонь				

Рис. 5. Визначення досяжної точності для різних технологій оброблення

Наступний рис. 6 визначає, чи є досяжними (ознака «1») розширені параметри шорсткості для оброблення зубчастих коліс різними інструментами і методами.

Таки чином формалізовані зв'язки між показниками форми, матеріалу, шорсткості обробленої поверхні, точності, мінімальної товщини стінки, кількості виготовлених зубчастих коліс, часу виконання замовлення та основними технологічними процесами, що

реалізуються у їх виготовленні. Формалізація у виді числових відношень робить їх придатним для автоматизованого аналізу їх можливостей і синтезу припустимих технологій виготовлення. Звершальною оцінкою методу завжди буде залишатись економічна ефективність, як критерій відбору серед рекомендованих і припустимих методів.

Зубонарізання	Ra, мкм										Rz, мкм						Sm, мм										
	2,00	1,60	1,25	1,00	0,80	0,63	0,50	0,32	0,10	80,0	40,0	20,0	16,0	8,0	5,0	2,0	1,6	1,25	0,50	0,32	0,2	0,125	0,10	0,08	0,063	0,040	0,032
Модульними фрезами										1	1				1	1	1										
Черв'ячними фрезами											1	1				1	1										
Здолбляком												1	1	1				1	1								
Протяганнями		1	1	1	1											1	1	1			1	1	1	1	1	1	1
Накочення	1	1	1	1	1										1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	
Шевінгування				1	1	1	1												1	1	1	1					
Шліфування				1	1	1	1	1																1	1	1	1
Обкатування					1	1	1	1	1						1	1	1					1	1	1	1	1	1
Притирання								1	1	1											1	1	1	1	1	1	1

Зубонарізання	S, мм														ε <sub>20</sub> , %						
	5,0	2,0	1,8	1,6	1,25	1,00	0,50	0,2	0,16	0,125	0,08	0,063	0,050	0,032	0,025	0,020	70	15	10		
Модульними фрезами	1	1	1	1	1	1													1	1	
Черв'ячними фрезами					1	1	1	1	1											1	1
Здолбляком						1	1	1	1	1	1									1	1
Протяганнями			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1
Накочення	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						1	1
Шевінгування							1	1	1	1	1									1	1
Шліфування													1	1	1	1					1
Обкатування					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1
Притирання									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 6. Визначення досяжності основних параметрів шорсткості для оброблення зубатих коліс різними інструментами і методами

## Formalization of choice of gear wheels production process

Pasichnyk V.A., Vorontsov B.S.

*Annotation:* The questions of formalization of the choice of the technology of production of toothed wheels are considered. A description is given of the relationship between the characteristics of the form, material, roughness of the treated surface, accuracy, minimum wall thickness, the number of manufactured gear wheels, the time of execution of the order and the main technological processes. Descriptions of formalization in the form of numerical relations are given that makes them suitable for automated analysis of their capabilities and the synthesis of permissible manufacturing technologies.

*Key words:* Technological Processes; Toothed Wheels; Synthesis of Manufacturing Technologies.

## Формалізація вибору технології виготовлення зубчатих колес

Пасечник В.А., Воронцов Б.С.

*Анотація:* Рассмотрены вопросы формализация выбора технологии изготовления зубчатых колес. Дано описание связи между показателями формы, материала, шероховатости обработанной поверхности, точности, минимальной толщины стенки, количества изготовленных зубчатых колес, времени выполнения заказа и основными технологическими процессами. Даны описания формализации в виде числовых отношений что делает их пригодным для автоматизированного анализа их возможностей и синтеза допустимых технологий изготовления.

*Ключевые слова:* Технологические процессы; Зубчатые колеса; Синтез технологий изготовления.

### Список літератури

1. Youssef, Helmi A. Machining technology : Machine tools and operations / Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy/Includes bibliographical references and index. - 2008. - 672 с.
2. Технология изготовления деталей машин Т. III-3 / А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. - 2000. - 840 с.