

подачі, повинна бути меншою. Цей висновок цілком узгоджується з експериментальними даними про характер зношування черв'ячних фрез при нарізанні зубчастих коліс з різними напрямками осьової подачі, що може служити одним із аргументів на користь розробленої моделі параметрів зрізів.

1. Грицай І.Є. *Моделювання параметрів зрізів, сил та моментів під час нарізання зубчастих коліс черв'ячними фрезами* // *Машинознавство*. 1998. N 7. С.19-23. 2. Полетика М.Ф. *Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента*. М., 1969. 3. *Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания* / А.М.Розенберг, О.А.Розенберг. К., 1990

УДК 621.833.002-19

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШОРСТКОСТІ ТА ХВИЛЯСТОСТІ БОКОВИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЦІВ КОЛІС У ПРОЦЕСІ ОБРОБЛЕННЯ

© Едуард Гуліда, Євген Махоркін, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

Розглянуто вплив методів оброблення бокових поверхонь зубців коліс на формування їх шорсткості і хвилястості. Встановлена успадкованість формування цих параметрів у процесі оброблення зубчастих коліс.

Шорсткість R_a бокових поверхонь зубців формується на зубооброблювальних операціях. Згідно з прийнятим типовим технологічним процесом для зубчастих коліс високої твердості зубооброблення виконується на трьох операціях: зубофрезерній, яка є першою операцією і на якій формується шорсткість R_{a0} ; зубошліфувальній (перша викінчувальна операція) - R_{a1} ; зубошліфувальній (друга викінчувальна операція) - R_{a2} . Отже, необхідно знайти значення шорсткості на зубофрезерній операції, яка є вихідною, і значення коефіцієнтів технологічного успадкування $K_{R0.1}$ і $K_{R1.2}$ для двох зубовикінчувальних операцій. Для вирішення цієї задачі було проведено планований експеримент з урахуванням рекомендацій [1, 2].

Математична обробка результатів експериментів, які були проведені на зубофрезерному верстаті на сталевих заготовках з використанням черв'ячних фрез, дозволила отримати значення поперечної шорсткості набігаючого боку бокової поверхні зубця колеса. Результати дослідів показали, що шорсткість в поперечному напрямку набігаючого боку зубця більша, ніж збігаючого. Це пояснюється тим, що набігаючий бік зубця обробляється у важчих умовах, ніж збігаючий. По-перше, на набігаючому боці значно більші товщини зрізу, а це приводить до більших значень складових сили різання, а по-друге, при цьому збільшується температура в зоні різання і змінюються умови стружкоутворення.

Використовуючи результати проведених досліджень і рекомендації щодо режимів різання [3, 4 та ін.], було встановлено значення шорсткості після операції зубофрезерування $R_{a0} = 1,8$ мкм.

Для визначення R_{a1} і R_{a2} використано дані робіт [4-6], в яких наведені значення цих параметрів: $R_{a1} = 0,50$ мкм; $R_{a2} = 0,25$ мкм. Ці прийняті значення R_{a1}

і Ra_2 експериментально перевірені в цехових умовах при обробленні зубчастих коліс гідромеханічної передачі автобуса ЛАЗ на зубошліфувальному верстаті мод. 5В833.

Після виконання зубофрезерної і термічної операції зубчасті колеса ($m_n = 4,5$ мм; $z = 25$; $b = 17,50$; матеріал - сталь 12ХНЗА; HRC58...60) проходили операцію зубошліфування (виконувалася перша і друга зубовикінчувальні операції) на рекомендованих режимах різання з використанням відповідних абразивних інструментів. Оброблювали партію зубчастих коліс з 15 шт.

За результатами експериментів знайдено середні значення \overline{Ra}_1 і \overline{Ra}_2 і вибіркові стандарти s_1 і s_2 . Для перевірки гіпотези рівності двох вибіркових середніх було використано критерій Ст'юдента. Згадані параметри мали такі значення: $\overline{Ra}_1 = 0,60$ мкм; $s_1 = 0,05$ мкм; $\overline{Ra}_2 = 0,28$ мкм; $s_2 = 0,027$ мкм; $t_{s1} = 2$; $t_{s2} = 1,11$.

Імовірність випадкових значень t_s , які чисельно не менше знайдених значень t_{s1} і t_{s2} , не є малою (відповідно 0,116 і 0,333). Отже, знайдені значення t_{s1} і t_{s2} випадково відрізняються від табличних, і наша гіпотеза, яка передбачає відсутність істотних різниць між \overline{Ra}_1 і Ra_1 , а також \overline{Ra}_2 і Ra_2 , є вірною, тобто значення Ra_1 і Ra_2 прийнято правильно.

Відповідно визначаємо коефіцієнти технологічного усадкування

$$K_{R0.1} = 1,8 / 0,50 = 3,6; \quad K_{R1.2} = 0,5 / 0,25 = 2,0.$$

Аналогічні дослідження були проведені і для зубчастих коліс малої і середньої твердості при виконанні першої зубовикінчувальної операції зубошліфуванням або зубообкаткою. В цьому випадку $Ra_1 = 0,60$ мкм (шевінгування) [4] і $Ra_2 = 0,50$ мкм (зубообкочування) [4]. Тоді коефіцієнти технологічного усадкування дорівнюватимуть:

а) для зубошліфування з наступним зубошліфуванням

$$K_{R0.1} = 1,80 / 0,60 = 3; \quad K_{R1.2} = 0,60 / 0,25 = 2,4;$$

б) для зубообкочування з наступним зубошліфуванням

$$K_{R0.1} = 1,80 / 0,50 = 3,6; \quad K_{R1.2} = 0,50 / 0,25 = 2.$$

Хвилястість бокових поверхонь зубців коліс високої твердості, яка характеризується висотою W хвилі, також, як і шорсткість, формується на зубооброблювальних операціях: зубофрезерній W_0 , першій зубошліфувальній W_1 і другій зубошліфувальній W_2 .

Під час виконання зубофрезерної операції шнековою (черв'ячною) фрезою на бокових поверхнях зубців коліс утворюється гранчастість (вздовж по зубцю), а також хвилястість, яка розміщена паралельно осі колеса. Як показали результати досліджень, висота гранчастості на профілі є більшою, ніж висота хвилястості. Тому її було прийнято за висоту хвилястості бокових поверхонь зубців. Найбільша висота гранчастості знаходиться біля кола виступів колеса і визначається залежністю [7]

$$W_0^* = \pi^2 k^2 m_t \cos \alpha_t \operatorname{tg} \alpha_a / 4z z_\phi^2, \quad (1)$$

де k - кількість заходів фрези; α_a - кут тиску у кола виступів; z_ϕ кількість зубців фрези.

У залежності (1) не враховано пружнопластичні деформації, які виникають у процесі різання, а також радіус заокруглення різальної кромки та інше. Тому розрахункові значення W_0^* відрізняються від дійсних значень W_0 . Для підтвердження цього висновку була проведена серія експериментальних досліджень, яка полягала у визначенні дійсних значень хвилястості після виконання зубофрезерної операції. Результати цих досліджень наведені в таблиці. Вимірювання хвилястості бокової поверхні зубця виконувалося на евольвентомірі мод. КЕУ-СМ69. Відрачування показників приладу виконувалося за індикатором з ціною поділки 1 мкм.

Результати порівняння розрахункових і дійсних значень хвилястості

Дослід- жувані параметри	$m_n = 2 \text{ мм}$		$m_n = 4 \text{ мм}$			$m_n = 6 \text{ мм}$			$m_n = 8 \text{ мм}$			$m_n = 10 \text{ мм}$			
	Кількість зубців колеса z														
W_0^* , мкм	25	46	60	34	60	72	31	42	59	42	54	60	21	38	46
W_0 , мкм	1,6	0,8	0,7	2,0	1,2	0,8	3,6	2,4	1,8	3,2	2,4	2,0	11,0	4,5	4,0
W_0 / W_0^*	4,0	3,0	2,0	4,0	3,0	3,0	6,0	4,0	3,0	6,0	5,0	4,0	18,0	9,0	8,0
W_0 / W_0^*	2,5	3,7	2,8	2,0	2,5	3,7	1,7	1,7	1,7	1,9	2,1	2,0	1,6	2,0	2,0

Результати проведених досліджень показали, що дійсне значення хвилястості W_0 більше розрахункового W_0^* (за середнім значенням W_0 / W_0^*) в 2,26 раза.

За даними роботи [8] визначаємо, що по моді розподілення кумулятивних кривих використання модуля і кількості зубців зубчастих коліс загального застосування буде: $m_n = 3 \text{ мм}$; $z = 25$. Для таких конструкційних параметрів зубчастих коліс за залежністю (1) висота хвилі дорівнює $W_0^* = 2,7 \text{ мкм}$. Тоді $W_0 = 6 \text{ мкм}$.

На першій зубовикінчувальній операції при шліфуванні бокових поверхонь зубців висота хвилі, як показали результати експериментальних досліджень, зменшується до 2...3 мкм (при вихідній 4...6 мкм). Оброблення результатів досліджень виконували за профілограмами, які були отримані за допомогою електросамописця мод. БВ-662 з індуктивним первинним перетворювачем мод. БВ-844, який було встановлено на універсальному евольвентомірі мод. КЕУ-СМ69. На підставі обробки великої кількості профілограм було встановлено, що $W_1 = 2,5 \text{ мкм}$. На другій зубовикінчувальній операції - $W_2 = 1,5 \text{ мкм}$. При цьому необхідно зазначити, що успадкований зв'язок другої зубовикінчувальної операції з першою значний. Коефіцієнти технологічного успадкування дорівнюють

$$K_{W_{0,1}} = 6,0 / 2,5 = 2,4; \quad K_{W_{1,2}} = 2,5 / 1,5 = 1,67.$$

При зубообробленні зубчастих коліс малої і середньої твердості значення коефіцієнтів технологічного успадкування такі:

- 1) зубошліфування (після зубофрезерування) $K_{W_{0,1}} = 2$;
- 2) зубошліфування (після зубошліфування) $K_{W_{1,2}} = 2$;
- 3) зубообкочування (після зубофрезерування) $K_{W_{0,1}} = 3$;
- 4) зубошліфування (після зубообкочування) $K_{W_{1,2}} = 1,33$.

Отже, результати проведених досліджень дали змогу встановити значення шорсткості та хвилястості бокових поверхонь зубців в процесі їх оброблення на різних технологічних операціях, що стало підставою для визначення успадковості різних технологічних методів зубооброблення.

1. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. М., 1979. 2. Рыжов Э.В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. К., 1984. 3. Голиков В.И. Технология изготовления точных цилиндрических зубчатых колес. М., 1968. 4. Гулида Э.Н. Технология отделочных операций зубообработки цилиндрических колес. Львов, 1977. 5. Радзевич С.П. Изготовление закаленных зубчатых колес. М., 1985. 6. Технология изготовления закаленных цилиндрических зубчатых колес 3-4-й степени точности. М., 1971. 7. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. М., 1972. 8. Громан М.Б., Зак П.С., Шлейфер М.А. Основы нормализации зубчатых колес. М., 1967.

УДК 621.833.002-19

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ МАТЕРІАЛУ ЗУБЦІВ КОЛІС У ПРОЦЕСІ ЇХ ВИГОТОВЛЕННЯ

© Едуард Гуліда, 1999

ДУ "Львівська політехніка"

Наведено результати експериментальних досліджень щодо встановлення закономірностей зміни структури поверхневого шару матеріалу зубців коліс при виконанні відповідних технологічних операцій з установами коефіцієнтів технологічного успадкування мікротвердості.

Структура поверхневого шару бокових поверхонь зубців, яка характеризується мікротвердістю H_{μ} , у зубчастих коліс високої твердості формується на зубооброблювальних операціях, а також на операції термічної обробки.

Вихідна мікротвердість формується на зубофрезерній операції.

У процесі різання відбувається пружньопластичне деформування не тільки зрізаного шару, але і поверхневих шарів на бокових поверхнях зубців, тобто утворюється наклепаний шар. Глибина і мікротвердість цього шару залежить від елементів режиму різання і геометричних параметрів різального інструмента. У першому наближенні $H_{\mu 0}$ можна визначати за залежністю [1]

$$H_{\mu 0} = 1,7 \cdot 10^{-4} s^{0,02} t^{0,02} \alpha^{0,01} \rho^{0,05} / (v^{0,05} (90 + \gamma)^{0,3}), \quad (1)$$

де $H_{\mu 0}$, МПа; s - подача, мм/об; t - глибина різання, мм; α - задній кут, град.; ρ - радіус заокруглення різальної кромки, мм; v - швидкість різання, м/с; γ - передній кут, град.

Результати розрахунків з використанням залежності (1) і результати експериментальних досліджень при зубофрезеруванні коліс із сталі 45 і 40Х шнековими (черв'ячними) фрезами з швидкорізальної сталі Р6М5 дозволили встановити середнє значення мікротвердості для зубофрезерної операції, яке дорівнює $H_{\mu 0} = 2750$ МПа.

Було також проведено вивчення мікротвердості при фрезеруванні зубців збірною шнековою фрезою, яка споряджена твердим сплавом Т15К6. Обробляли зубчасті колеса $m_n = 4,5$ мм, які виготовлялися зі сталі 12ХН3А в цехових умовах автобусного заводу.