

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 установленням 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.

Результати досліджень показали, що $H_{\mu 0}$ в 1,27 раза більша, ніж при зубонарізанні фрезами, які виготовлені з швидкорізальної сталі. Це пояснюється тим, що зубофрезерування твердосплавними збірними фрезами проводилося на швидкості різання в 2,2 раза більшій, ніж при використанні швидкорізальних фрез. Крім того, зростає температура в зоні різання і швидкість пружньо-пластичного деформування. Тому виникають кращі умови для поверхневого зміцнення. Структуру поверхневого шару головним чином складає сорбіт.

Після виконання зубофрезерної операції зубчасте колесо потрапляє на операцію термічного зміцнення. Залежно від матеріалу зубчасте колесо може проходити термічну або хіміко-термічну обробку.

Розглядаючи твердість бокових поверхонь зубців, можна констатувати, що мікротвердість залежить від способу термічної або хіміко-термічної обробки:

- 1) борування $H_{\mu 1} = 13000$ МПа;
- 2) ціанування або цементація з наступним гартуванням і відпуском $H_{\mu 1} = 6000 \dots 8000$ МПа;
- 3) азотування сталей, які не містять алюмінію $H_{\mu 1} = 5000 \dots 7000$ МПа;
- 4) термічно зміцнений шар (гартування і відпуск) $H_{\mu 1} = 4477 \dots 6000$ МПа.

Структурою цих шарів головним чином є мартенсіт, але зубчасті колеса, які проходять тільки термічну обробку, можуть мати на поверхневих шарах трооститну структуру.

Знайшовши значення $H_{\mu 0}$ і $H_{\mu 1}$, визначасмо значення коефіцієнтів технологічного успадкування, які наведено в таблиці.

Значення коефіцієнтів технологічного успадкування мікротвердості поверхневого шару

Коефіцієнти	Види зміцнення				
	Хіміко-термічне				Термічне
	борування	нітроцементация або ціанування з гартуванням і відпуском	цементация з гартуванням і відпуском	азотування	
$K_{H_{\mu 0.1}}$	0,210	0,365	0,392	0,455	0,526
$K_{H_{\mu 1.2}}$	1,02	1,03	1,04	1,04	1,04
$K_{H_{\mu 2.3}}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$K_{H_{\mu 3.4}}$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Примітка. При зубофрезеруванні коліс твердосплавним інструментом значення коефіцієнта $K_{H_{\mu 0.1}}$ необхідно збільшити в 1,27 раза.

Згідно з технологічним процесом зубчасті колеса після термічної або хіміко-термічної обробки проходять операції оброблення базових поверхонь, після чого потрапляють на першу зубовикінчувальну операцію, на якій виконують шліфування зубців. Процес зубошліфування проходить при високих напруженнях в поверхневому шарі і стружці, яка знімається зі швидкістю в декілька десятків разів більшою, ніж швидкість різання звичайним металевим або твердосплавним інструментом, і при дуже високій температурі в зоні різання.

Висока температура нагріву термічно обробленого матеріалу зубчастого колеса (бокових поверхонь зубців) може привести до фазових перетворень, наприклад, до розпаду залишкового аустеніту, переходу тетрагонального мартенсіту в мартенсіт кубічний або до утворення феритно-карбідної структури (троостіт чи сорбіт). Крім того, висока температура може надати відпуск, а при швидкому відведенні тепла місцеве друге гартування.

Як відомо, різні фазові перетворення проходять при певних температурах. Наприклад, при відпуску до 400...5000 °С утворюється структура троостіту, при відпуску до 500...6000 °С - сорбіту, а при відпуску до 600...7000 °С - перліту [92]. Ці структури перетворення відповідно приводять до зміни мікротвердості поверхневого шару.

Тому при виконанні зубошліфувальної операції необхідно враховувати всі ці фактори, які стосуються безпосередньо до процесу стружкоутворення. Насамперед необхідно правильно встановлювати режими різання, використовувати певні абразивні інструменти і мастильно-охолоджувальні рідини зі значною подачею їх в зону різання. Крім того, необхідно враховувати фізико-механічні властивості матеріалу зубчастого колеса.

Результати експериментальних досліджень показали, що після зубошліфування з оптимальними значеннями вищезгаданих факторів, мікротвердість бокових поверхонь зубців зменшилася на 200...300 МПа. Це пояснюється тим, що при зубошліфуванні знімається поверхневий шар до 0,2 мм (залежно від розмірів зубчастого колеса і модуля). Відомо, що по глибині поверхневого шару мікротвердість змінюється. Найбільше значення вона має на поверхні. У зв'язку з цим значення коефіцієнта технологічного успадкування $K_{H\mu 1.2} > 1$ (див. таблицю).

Після першої зубовикінчувальної операції зубчасте колесо підлягає штучному старінню. Результати проведених досліджень показали, що мікротвердість практично не змінюється після виконання штучного старіння. Тому значення коефіцієнта $K_{H\mu 2.3} = 1$.

Наступною операцією, яка впливає на мікротвердість поверхневого шару, є друга зубовикінчувальна, на якій здійснюється шліфування зубців. На цій операції знімається припуск, який дорівнює сотим часткам міліметра. Тому значної зміни мікротвердості практично не здійснюється. Значення $H_{\mu 4}$ зменшилося на 100...150 МПа, що становить 1,0...2,5 % від мікротвердості поверхневого шару. Тому для практичних розрахунків можна вважати, що $K_{H\mu 3.4} = 1$.

Тепер розглянемо зміну мікротвердості поверхневого шару при виконанні технологічного процесу оброблення зубчастих коліс малої і середньої твердості. На формування і зміну значення H_m впливає перша зубовикінчувальна операція ($H_{\mu 2}$), штучне старіння ($H_{\mu 3}$) і друга зубовикінчувальна операція ($H_{\mu 4}$). Внаслідок відсутності операції термічного або хіміко-термічного зміцнення $K_{H\mu 0.1} = 1$.

Тому розглянемо зміну мікротвердості на першій зубовикінчувальній операції і знайдено відповідно значення коефіцієнта $K_{H\mu 0.2}$.

Перша зубовикінчувальна операція для зубчастих коліс малої і середньої твердості може виконуватися одним з таких методів: зубошліфуванням, зубошевінгуванням, зубообкочуванням. Результати експериментальних досліджень показу-

ють, що мікротвердість поверхневого шару після операції зубошліфування зменшується на 100...120 МПа, що приводить до збільшення коефіцієнта технологічного успадкування до значення $K_{H\mu 0.2} = 1,04$.

Це пояснюється тим, що знімається поверхневий шар, який має наклеп після виконання зубофрезерної операції.

При зубошевінгуванні, як показали результати цехових досліджень, мікротвердість підвищується приблизно на 6...8 % порівняно з мікротвердістю бокових поверхонь зубців після зубофрезерної операції. Підвищення мікротвердості можна пояснити тим, що зубошевінгування виконується при двопрофільному зачепленні з прикладанням радіального навантаження. Процес різання проходить з великими значеннями пружньо-пластичних деформацій при малих товщинах зрізу, що спричиняє зростання мікротвердості поверхневих шарів. Коефіцієнт технологічного успадкування дорівнює $K_{H\mu 0.2} = 0,92$.

У процесі зубообкочування відбувається пружньо-пластичне деформування поверхневих шарів бокових поверхонь зубців. Як показали результати досліджень, після зубообкочування мікротвердість підвищується в 1,1-1,15 рази. При цьому коефіцієнт технологічного успадкування $K_{H\mu 0.2} = 0,88$.

Після виконання першої зубовикінчувальної операції зубчасті колеса відправляють на штучне старіння. Результати роботи [2] показують, що одночасно зі зміцненням (наклепом) поверхневого металу проходить його розміцнення, яке частково повертає металу його початкові властивості. Це повернення проходить навіть при звичайній температурі, але дуже поволі. Але незначний нагрів приводить частки металу в рух і може зняти викривлення кристалевої решітки.

Результати проведених дослідів показали, що після старіння мікротвердість поверхневого шару знижується на 3...5 %. У цьому випадку коефіцієнт технологічного успадкування $K_{H\mu 2.3} = 1,03$.

Останнім етапом оброблення зубчастих коліс малої і середньої твердості є друга зубовикінчувальна операція, на якій виконують зубошліфування. Для цих зубчастих коліс припуск на зубошліфування дуже незначний (до 0,05 мм). Крім того, після його зняття виконують 2-3 проходи без подачі. Зі збільшенням кількості таких виходжувальних проходів зростає третя абразивних зерен і оброблювальної поверхні, які приводять до пластичної деформації поверхневого шару, що вона, як показали результати досліджень, зростає. Відповідно зростає і мікротвердість приблизно на 200...300 МПа. В цьому випадку коефіцієнт технологічного успадкування $K_{H\mu 2.3} = 0,94$.

Результати проведених дослідів дали змогу встановити закономірності зміни структури поверхневого шару зубців зубчастих коліс в процесі їх оброблення на відповідних технологічних операціях та встановити успадкованість цього параметра і визначити значення коефіцієнтів технологічного успадкування.

1. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Федоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. М., 1979. 2. Маталин А.А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. К., 1971.