

УДК 621.9.06-529

О.П.Сакно, О.В.Лукічов

Донецька академія автомобільного транспорту

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ПРИРОБКИ ПРОСТОРОВИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

В роботі проведено експериментальне дослідження впливу технологічних методів механічної обробки просторових поверхонь та інших чинників на величину зносу при приробці.

Ключові слова: *тертя, знос, приробка, ремонт, обробка, технологія, шорсткість*

Однією з важливих проблем в експлуатації вузлів тертя є збільшення терміну служби, чого можна досягти за рахунок зменшення величини зносу під час приробки. Вирішення цієї проблеми особливо важливе для деталей зі складними просторовими поверхнями, від яких залежить якість роботи вузла. Саме збереження при приробці закладеного при конструюванні профілю ставить задачу зменшення зносу саме під час приробки.

Ця проблема важлива й для забезпечення ремонту деталей автомобіля, більшість з яких виходить з ладу саме з причини підвищення зазорів в вузлах тертя, та зумовлене цим зниження експлуатаційних, міцностних, жорсткісних параметрів. Виготовлення запасних деталей та частин дуже часто проводиться в умовах сильно відмінних від фірмових. Не можливо забезпечити відповідність технології, верстатний парк, а також матеріал і термообробку деталей. Тому оптимізація вибору технологічного методу обробки, з тих, що можуть бути здійснені в реальних умовах набуває великого значення.

Основними чинниками, що роблять суттєвий вплив на величину і інтенсивність зносу при приробці деталей машин із складними просторовими профілями, є просторова геометрія поверхонь, що прироблюються, їх шорсткість, види механічної обробки і термообробки деталей, а також конструктивні особливості вузлів, що прироблюються. Таким чином, оптимізувати процес приробки, тобто звести до мінімуму величину зносу і згодом швидше перейти до роботи вузла тертя в оптимальних умовах, можна за рахунок використання, як конструктивних, так і технологічних чинників, що дозволяють управляти цим процесом.

Для прикладу розглянемо приробку пари тертя «зубчаста втулка – зубчаста обойма». При дослідженні процесу приробки вважаємо незмінною форму поверхні зубця обойми (прямолінійна твірна, евольвентний профіль зуба), як міцнішої ланки в парі тертя. Форма поверхні зубців втулки змінюється в процесі приробки залежно від кута перекошу осей втулки і обойми, величини взаємного зсуву цих осей, зусиль, що сприймаються зубцями, до досягнення форми, що можна назвати «природною модифікацією» або просторовою модифікацією, найбільш сприятливою для роботи конкретної пари «зубчаста втулка – зубчаста обойма». Результати проведеного експериментального дослідження впливу шорсткості і виду механічної обробки активних поверхонь зубців на їх знос при приробці приведені в таблиці.

Вибрані види механічної обробки є типовими представниками 3 існуючих видів: однолезова обробка (стругання), багатолезова обробка (фрезерування), мультилезова ймовірнісна обробка (шліфування). Кожен з цих видів формує характерну структуру поверхневого шару, форму шорсткості, зміну стартових механічних характеристик заготівлі. Експеримент був проведений як трьохфакторний зі зміною наступних параметрів: виду тертя (поступальне, чи зворотно-поступальне); використовуємі матеріали (сталь 45 та сталь 40X); сполучення видів механічної обробки (6 варіантів). Контролювалися 2 параметри: максимальний знос сполучення та величина виникаючої рівновісної шорсткості. Аналіз результатів експериментального дослідження дозволяє зробити наступні попередні висновки:

- знос при зворотно-поступальному терті майже в 2 рази більше;
- рівновісна шорсткість приробленої пари тертя залежить в основному від виду попередньої механічної обробки і менше залежить від обробки контртіла та вихідної шорсткості, які в свою чергу визначають величину зносу при приробці;
- використання більш якісних матеріалів незначно зменшує максимальний знос сполучення, але суттєво збільшує час приробки.

Ці фактори необхідно обов'язково враховувати при розробці технологічного процесу обробки деталей при ремонтному виробництві в умовах АТП.

Таблиця

Вплив виду механічної обробки і шорсткості зразків на приробку

Вид тертя при приробці	Матеріал зразків	Поєднання видів механічної обробки зразків	Максимальний знос сполучення, мкм	Шорсткість, Ra, мкм	
				До приробки	Після приробки
1	2	3	4	5	6
Поступальне тертя	Сталь 45	Стругання – фрезерування	29	6,23 5,37	1,68 1,44
		Стругання – стругання	28,7	5,43 7,70	1,72 2,05
		Фрезерування – фрезерування	20,3	5,70 6,26	1,36 2,07
		Стругання – шліфування	16,5	4,66 1,21	1,47 1,25
		Фрезерування – шліфування	13,8	5,42 1,26	1,54 1,24
		Шліфування – шліфування	12,3	1,19 1,28	0,74 0,62
		Поступальне тертя	Сталь 40X	Стругання – стругання	23,3
Стругання – фрезерування	20,3			7,07 3,04	2,50 1,03
Фрезерування – фрезерування	20,3			3,41 3,74	1,86 0,79
Стругання – шліфування	19,0			6,55 2,67	1,60 1,49
Фрезерування – шліфування	16,5			3,23 2,05	1,46 0,89
Шліфування – шліфування	13,3			2,71 1,89	1,49 0,53
Зворотно-поступальне тертя	Сталь 45			Стругання – стругання	52,4
		Стругання – фрезерування	50,8	6,89 5,14	1,74 1,57
		Фрезерування – фрезерування	40,7	5,66 5,79	1,58 1,39
		Стругання – шліфування	34,3	7,16 1,84	2,16 1,53
		Фрезерування – шліфування	28,0	5,54 1,85	1,57 1,37
		Шліфування – шліфування	19,7	1,76 1,28	0,75 0,73
		Зворотно-поступальне тертя	Сталь 40X	Стругання – стругання	44,7
Стругання – фрезерування	41,3			5,92 6,24	2,00 2,01
Фрезерування – фрезерування	40,5			5,87 6,12	1,81 1,74
Стругання – шліфування	37,0			7,11 1,75	2,17 1,90
Фрезерування – шліфування	32,7			5,64 1,84	1,84 1,54
Шліфування – шліфування	29,3			1,57 1,64	0,72 0,61

Забезпечення при зубообробці здобуття форми зубця втулки найбільш наближеної до форми «природної» модифікації зменшує величину зносу при приробленні, що дозволяє підвищити довговічність зубчастої муфти (зменшуються зазори в зачепленні і кількість часток зносу в зоні

контакту, покращуються динамічні показники роботи і т. і.). Проте, досягти точної відповідності нарізаного профіля профілю «природної» модифікації для кожного конкретного випадку зачеплення неможливо.

Але здобуття оптимальної форми робочих поверхонь зубців втулки може бути досягнуто не лише в процесі нарізання. Необхідно повніше використовувати резерви підвищення довговічності муфт створенням сприятливих умов приробки зубців до оптимальної форми, що не вимагають ускладнення, дорожчання технології зубообробки. З цієї точки зору найбільш ефективним є здобуття раціональної форми зубців, наближеної до просторової модифікації, на серійному устаткуванні, традиційними методами з використанням способу поздовжньої модифікації зубців [1].

Розглянемо процес приробки зубчастих муфт, що випускаються в даний час промисловістю. За відсутності можливості самоустановки зубчастої обойми відносно зубчастої втулки, відбувається приробка зубців, під яким розуміється зміна форми зубця до стану якоюсь мірою наближеного до оптимального. При використанні обойми приробка робочих поверхонь, що самовстановлюються, виражена менш яскраво, оскільки обойма прагне зайняти положення найбільшою мірою відповідне наявній формі зубців. Проте, з-за випадковості характеру зносу впродовж всього терміну служби раціональна форма бічної поверхні зубців не досягається.

Проведені дослідження показують, що при розподілі навантаження по зубцях муфти відповідно до закону циклічного отнульового навантаження, одночасно в зубчастій муфті знаходяться в зачепленні лише декілька пар зубців (від 15 до 40 % від загального їх числа). Вочевидь, що найбільші питомі тиски і знос при приробці будуть на найбільш навантажених зубцях, що знаходяться в площині найбільшого перекосу осей зубчастої втулки і обойми ($\psi = \pi/2, \psi = 3\pi/2$). Експериментально встановлено, що при передачі зубчастою муфтою моменту, що крутить, не перевищуючого номінального значення, при стандартних значеннях кута перекосу осей зубчастої втулки і обойми (у зачепленні одночасно знаходиться не більше половини всіх зубів, тобто:

$$l_{\psi} / \pi \leq 0,5$$

Прийнявши закон розподілу навантаження по зубцях синусоїдальним можна визначити навантажувальну здатність муфти:

$$M_{\varepsilon\delta} = d_w \int_0^{l_{\psi k}} P_{\max} \cdot \sin 2\psi_k \frac{d\psi_k \cdot k}{\pi},$$

де (ψ_k – параметр, що характеризує відносне положення зубців при передачі муфтою моменту, що крутить; k – число пар еліптичних зубців, що одночасно зачеплюються; d_w – діаметр діляльного кола; P_{\max} – максимальне навантаження, що передається зубцем втулки.

В той же час навантаження на зубцях за умови рівномірного розподілу моменту, що обертає, між всіма зубцями муфти:

$$D_{\delta^{\psi}} = \frac{\dot{I}_{\varepsilon\delta} \cdot \pi}{d_w \cdot l_{\psi} \cdot k},$$

де $l_{\text{зач}}$ – інтервал кутів ψ_n , в якому зубці передають навантаження (кут, що визначає величину робочої зони).

Таким чином, максимальне навантаження при нерівномірному навантаженні зубців і при рівномірному їх навантаженні зв'язані співвідношенням:

$$\frac{P_{\max}}{P_{\delta^{\psi}}} = \frac{2 \cdot l_{\psi}}{1 - \cos(2 \cdot l_{\psi})}.$$

Мінімальне значення цього відношення (при $l_{\psi} / \pi = 0,5$) – 1,57. У всіх останніх випадках це відношення перевищує 1,57, тобто нерівномірність навантаження істотно зростає.

Вживані спеціальні конструкції зубчастих муфт, зубці різної товщини, видалені сектори зубців і інші конструктивні рішення дозволяють зменшити скачки навантаження, забезпечити більш плавну його зміну. Природно, що умови приробки при цьому значно кращі, ніж при обкатці на знижених режимах навантаження, часто використовуваної в даний час. Термін приробки визначається в подібних конструкціях муфт терміном зносу зубців спеціальних секторів на

величину $\Delta \tilde{n}_{2i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}}$, коли в контакт вступають всі зубці муфти. Здатність навантаження муфти визначається як сума здатності навантаження секторів, що вступили в контакт першими, і секторів з приробленими зубцями. Початок роботи другої пари секторів покращує умови приробки першої пари секторів. Забезпечити такі умови приробки можна, обробивши обойму спеціальним протягуванням із зубцями різної товщини. При цьому технологія і продуктивність обробки зберігаються [2].

Спосіб раціональної приробки забезпечує здобуття профілю з оптимальною формою бічних поверхонь зубців, проте істотним його недоліком є здобуття після приробки зазору між зубцями втулки і обойми:

$$\Delta = \Delta \tilde{n}_{2i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}} + \Delta \tilde{n}_{\dot{\alpha}\dot{\sigma} \cdot \dot{\alpha}\dot{\epsilon}},$$

де $\Delta \tilde{n}_{\dot{\alpha}\dot{\sigma} \cdot \dot{\alpha}\dot{\epsilon}}$ – гарантований зазор до початку приробки. Наявність цього зазору Δ при реверсивній роботі зубчастої муфти значно погіршує реальні умови експлуатації і приводить до прискореного руйнування зубців, оскільки виникають ударні навантаження.

Тому здобуття робочого профілю зубців в процесі обробки зубця втулки, максимально наближеного до просторової “природної” модифікації, забезпечує найкращі умови прироблення зубців. При цьому зменшується величина гарантованого бічного зазору для раціонально-модифікованих зубців на 40-60%, крім того, технологічні погрішності виготовлення зубчастих вінців обойми і втулки і, перш за все, погрішність кроку зубців по ділильному діаметру, залежать від базування заготівлі в процесі обробки, створюють, як би сектори зубців з різною товщиною, тобто лише частина зубців вступає в контакт відразу, у момент додавання робочого навантаження, а останні – плавно, як і в описаному раніше способі приробки, що і забезпечує їх оптимальну приробку. Але на відміну від цього способу, останні зубці почнуть прироблятися не після зношування додаткової товщини $\Delta \tilde{n}_{2i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}}$, а практично відразу і прироблятися будуть по черзі (із-за плавної зміни погрішності кроку). Повний зазор, що виникає після закінчення приробки, визначається :

$$\Delta = \Delta \tilde{n}_{\dot{\alpha}\dot{\sigma} \cdot \delta} + \delta_{i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}},$$

де - $\delta_{i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}}$ - знос на величину погрішності кроку зубців.

Враховуючи, що $\Delta \tilde{n}_{\dot{\alpha}\dot{\sigma} \cdot \delta} < \Delta \tilde{n}_{\dot{\alpha}\dot{\sigma} \cdot \dot{\alpha}\dot{\epsilon}}$, а $\delta_{i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}} \ll \Delta \tilde{n}_{2i \text{ } \dot{\alpha}\dot{\sigma}}$, отримуємо зазор після закінчення пропонуємого способу приробки на порядок менший, ніж в розглянутому способі приробки [2].

Висновки

Таким чином, тільки використання комплексу методів зменшення зносу при приробці, а саме впровадження зубчастих втулок з профілем зубця, що має наближену до просторової модифікації (раціональним), підбір оптимального поєднання видів механічної обробки, забезпечення мікрорельєфу робочих поверхонь, визначеного на підставі аналізу рівноважного стану, дозволяє добитися зменшення часу приробки і зменшення абсолютної величини зносу при приробці. Всі ці чинники разом забезпечують збільшення терміну служби деталей машин зі складною просторовою формою робочих поверхонь тертя.

1. А.с. 1348097 СССР МКИ³ В23 F9/00. Способ нарезания зубчатых изделий с продольной модификацией зуба/ Н.А.Чернышев, А.В.Лукичев, Б.С.Уткин и др. (СССР). – 3917819/31-08 заявлено 21.06.1985.- Оpubл. 30.10.1987.- Бюллетень №40.- С.51.
2. Финиченко В.А., Чернышев Н.А. Обеспечение рациональной приработки элементов зубчатых муфт/ Донецк. политехн. ин-т.- Донецк, 1984. –4 с. УкрНИИТИ, 6.01.1984. №2Ук-Д84.