

УДК 621.787.4.

**АНАЛІЗ СТАНУ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ
ДЕТАЛЕЙ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ ПОВЕРХНЕВОЇ
ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ**

Б.І.Бутаков, доктор технічних наук, професор

В.О.Артюх, інженер

Миколаївський державний аграрний університет

У статті проведено аналіз ефективного використання методу ППД на зносостійкість пар тертя. При аналізі було виявлено, що на підвищення зносостійкості деталей методом ППД значною мірою впливають стабілізація робочого зусилля, а також значення оптимальних режимів зусилля обкатування деталей роликami.

В статье проведен анализ эффективного использования метода ППД на износостойкость пар трения. При анализе было выявлено, что на повышение износостойкости деталей методом ППД в значительной степени влияют стабилизация рабочего усилия, а также значения оптимальных режимов усилия обкатывания деталей роликами.

Постановка проблеми. Проблема підвищення опору зношуванню, що являється важливою характеристикою, яка визначає надійність і довговічність деталей сільськогосподарських машин і механізмів, стає все більше актуальною, так як постійно зростає інтенсивність роботи обладнання. Продовження строку експлуатації деталей можна отримати за рахунок покращення характеристик шорсткості поверхневого шару за допомогою поверхневої пластичної деформації (ППД).

Виділення невирішених проблем. Поєднання чистового і зміцнюючого обкатування роликami дозволяє отримати оптимальні характеристики шорсткості обкатаної поверхні і велику глибину зміцненого поверхневого шару, що приведе до підвищення зносостійкості деталей.

Викладення основного матеріалу. Найбільша кількість деталей машин працює в умовах механічного зношування. Ці деталі, як правило, обкатують роликком або вигладжують алмазом.

Обкатування роликами деталей із середньовуглицевої вісевої сталі забезпечують підвищення зносостійкості у порівнянні із шліфуванням в 1,5-2,5 рази, а у порівнянні із поліруванням — в 1,3-1,6 рази (при однаковій шорсткості поверхні).

Аналогічні результати по підвищенню зносостійкості досягаються при обробці майже всіма методами ППД, крім деяких ударних, коли шорсткість поверхні збільшується (обробка дробом, чеканка). Останні методи в деяких випадках вимагають додаткової обробки для досягнення заданої зносостійкості і параметра шорсткості.

Значне підвищення зносостійкості встановлене також у наклепанного чавуна в умовах змішаного тертя, де зношування вивчали при питомому тиску 1,3 МПа і швидкості ковзання 0,2 м/с на машині зі зворотно-поступальним рухом, що імітує роботу направляючих металорізальних верстатів. Зразки наклепували обкатуванням кульковою голівкою [1, 2]. Показано, що до визначеного ступеня деформації знос зменшується, потім знову зростає. Деякі автори [1, 2] вважають, що підвищення зносостійкості деталей наклепом відбувається внаслідок посиленої дифузії кисню повітря в зміцнюємий метал і створення в ньому оксидів типу FeO , Fe_2O_3 і Fe_3O_4 . Такі з'єднання характерні також для окисного зносу, при якому зносостійкість максимальна. Попереднє зміцнення металу перешкоджає розвитку пластичної деформації металів третьових деталей, що викликає схоплювання, що є найбільш інтенсивним видом зношування [2, 5].

Обкатані роликами при збільшенні зусилля обкатування від 0,40 до 1,0кН — на 23-94,5% підвищують зносостійкість. В якості абразивного вістря в даних роботах використовувався наконачник від приладу Роквелл зі сплаву ВК-6 з кутом вершини 120° і радіусом заокруглення конуса вершини 0,1 мм.

Розглянемо більш докладно результати досліджень з урахуванням режимів обкатування й умов тертя.

В.В. Іванов робив іспити на знос на машині тертя типу МИ шліфованих і обкатаних зразків діаметром 55 мм і шириною 10 мм. Обкатування здійснювалося за допомогою роликів діаметром 170 мм із профільним радіусом 40 мм і із силою від 10 до 20 кН. За його даними, при сухому терті об чавунний вкладиш при питомому тиску 1,35 МПа обкатані зразки зі сталі 45 виявилися більш зносостійкими у порівнянні зі шліфованими. При цьому збільшення сили обкатування призводило до зниження зносостійкості, що обумовлює явище перенаклепа. У випадку подачі змащення в обкатаних зразків теж спостерігається підвищення зносостійкості на 75% у порівнянні з шліфованими [4, 6, 7].

В.С.Рисцова досліджувала знос по-різному оброблених зразків ($D = 30$ мм) зі сталей 45 і В8 при рясному змащенні веретенним мастилом. Зразки попередньо відпускалися у вакуумі. Частина зразків випробували після шліфування, інші — після обкатування кулькою ($D_{ш}=12$ мм; $P_{н}=0,6$ кН). Випробування на знос, проведені на машині типу МИ при питомому тиску 1,2 МПа і швидкості 200 об./хв. у парі з чавунними колодками, показали, що обкатані кулькою зразки зі сталі 45 одержали знос приблизно в 2,5 рази більший у порівнянні зі зносом шліфованих зразків. В обкатаних зразків зі сталі В8, навпаки, знос виявився приблизно в 2,5 рази нижче, ніж у шліфованих, це пояснюється тим, що на поверхні зразка із сталі 45 виявилася висока хвилястість.

Е.Г. Коновалов випробував на знос сегментні зразки з вуглецевих сталей 15; 35; 45 у парі з чавунними циліндричними притираннями при змащенні машинним мастилом. Зразки вирізали із втулок, внутрішній діаметр яких шліфували чи обкатували роликом. Зношування відбувалося протягом 6 год. при питомому тиску 10 МПа швидкості ковзання 34,5 м/хв.

Обкатані зразки з усіх сталей виявилися більш зносостійкими в порівнянні зі шліфованими. При цьому найбільшу зносостійкість (у 2,8 рази вище шліфованих) придбали зразки зі сталі 45, а найменшу — зі сталі 15. Зниження ефективності обкатування зразків з маловуглицевої сталі 15, на думку Е.Г. Коновалова,

пояснюється її високою чутливістю до перенаклепу, що відбувається в процесі зносу.

Зниження зносу в обкатаних зразках із сталей 20 і 45, випробуваних при питомому тиску від 3 до 1,5 МПа у присутності змащення, отримано в дослідженнях, виконаних В.М.Меньшаковим у Челябінському політехнічному інституті.

За даними В.К.Лазаренка і Г.А.Прейса, при терті ковзання зі швидкостями 0,25 і 1,5 м/с і питомим тиском 1,5 МПа зразки з різних сталей (сталі 45, ШХ15, 18ХГТ, Х12М, ХВГ) після їхнього обкатування роликком збільшили зносостійкість на 14-28%, а після дробеструменевої — на 15-20%. При швидкості ковзання 5,08 м/с дробеструменевий наклеп не зробив впливу на зносостійкість, а обкатування роликком дало її підвищення тільки на 5-6%. Якщо враховувати, що знос відбувався при відсутності змащення, то переваги обкатування очевидні. Незначний ефект при швидкості ковзання 5,08 м/с варто пояснити високою температурою в контакті третьових поверхонь.

Експериментами, виконаними у Білоруському інституті механізації сільського господарства при терті з подачею масла, також встановлено зниження зносу обкатаних зразків сталей 15; 35; 45 і 45Г2 у порівнянні із шліфованими. Найбільшу зносостійкість одержали зразки, обкатані з тиском, що забезпечує утворення мінімальної шорсткості.

Випробування обкатаних роликком зразків зі сталі 45, проведені В. К. Лазаренко та ін., показують, що опірність абразивному зносу залежить від величини зміцнення. При підвищенні в процесі обкатування мікротвердості на 42% зносостійкість зросла на 94,5%. Оскільки при обкатуванні ще не була досягнута максимальна мікротвердість, то маються додаткові можливості збільшення зносостійкості.

З огляду на наявність суперечливих даних, проведено спеціальні досвіди по вивченню впливу на знос обкатуванням тороподібним роликком. При терті ковзання зразки із нормалізованої сталі 45 піддавалися іспитам на знос у парі з вкладишем із сірого чавуна марки СЧ 18-36, а зразки з загартованої сталі 40Х у парі

з бронзовим вкладишем. Випробування відбувалися на машині МИ протягом 8 год. з рясним змащенням. Зразки діаметром 40 мм обкатувалися роликком при різних тисках. Для порівняння випробували також шліфовані зразки [3, 8, 9].

Випробування показали, що зміцнення обкатуванням є надійним засобом збільшення зносостійкості деталей. Незважаючи на високий питомий тиск при ковзанні (зразки зі сталі 45 випробували при тиску 10 МПа, а зразки зі сталі 40Х — при тиску 2,5 і 5,0 МПа), знос після обкатування в порівнянні зі зносом після шліфування скоротився в сталі 45 на 26%, а в сталі 40Х — на 37%.

Найвищу зносостійкість в обох випадках придбали зразки, обкатані при оптимальному тиску в контактї. Перевищення цього тиску робить поверхню вже менш зносостійкою. Наприклад, збільшення тиску при обкатуванні зразків зі сталі 45 від 220 до 240 МПа привело до деякого посилення зносу.

Вивчення стану поверхневого шару загартованих зразків показало його структурну неоднорідність. Остання, зокрема, характеризується великим розкидом мікротвердості і є наслідком дефектів шліфування. У результаті обкатування розкид твердості значно скорочується, що свідчить про створення обкатуванням більш однорідного (у структурному відношенні) поверхневого шару. Цю обставину варто вважати одним з основних факторів підвищення зносостійкості.

Підвищення зносостійкості в обкатаних загартованих зразках встановлено також В.А. Сологубом, І.І. Сухановим та ін. В.А. Сологуб випробовував зразки з легованої сталі 5ХВ2С в парі з обіймою зі сталі Р18 на машині тертя марки МИ, що при тиску 5,0 МПа зі змащенням показали підвищення зносостійкості в результаті обкатування. Оптимальною, з погляду зносостійкості, виявилася сила 2,0 кН (при діаметрі ролика 50 мм і його профільному радіусі 8 мм). Підвищення зносостійкості виявляється більш високою структурною однорідністю і наявністю залишкових напруг стискання, утворених при обкатуванні.

Дослідження зносостійкості направляючих блоків штампів зі сталі ШХ15, термічно оброблених до твердості 62-64, проведено при зворотно-поступальному переміщенні з частотою 230 хід/хв.

[1, 2, 8]. Знос направляючих, зміцнених обкатуванням віброуючою кулькою (з частотою 18-24 кГц) у порівнянні із зносом шліфованих, знижується в 2-4,7 рази.

Таким чином, обкатування третьових поверхонь деталей з м'яких і загартованих сталей у більшості випадків варто вважати надійним засобом підвищення зносостійкості.

Для тертя кочення найбільш характерним є осповидний знос, що виражається у поверхневому викрашуванні часток металу. Питання про вплив попереднього зміцнення на цей вид зносу вивчений недостатньо.

Л.М.Школьник і В.І.Шахів наводять дані, що показують негативний вплив наклепу. Наприклад, у зразків з високовуглецевої бандажної сталі (0,82%) у результаті обкатування роликом із силою 10 кН зносостійкість зменшується в два рази в порівнянні з необкатаними зразками, у цьому випадку відбувалося явище перенаклепу. В інших випадках попередній наклеп зразків з цементованих сталей 18Х2Н4ВА і 12Х2Н4А практично не змінив контактної витривалості. Автори вважають, що при терті кочення в поверхневих шарах деталей виникають ті ж явища, що і при обкатуванні роликами. Відбувається накладення тих самих процесів, що в кінцевому рахунку приводить до великих напруг, відшаровуванню поверхневих шарів та викришуванню. Тому вони не рекомендують застосовувати наклеп при осповидному зносі. Однак іспити при коченні кульок за зразком із швидкістю 2 м/с з максимальною робочою напругою $\sigma_{\max} = 45$ МПа під час відсутності змащення дали результати, протилежні розглянутим вище. За висновком В.К.Лазаренко і Г.А.Прейс, у зразків зі сталей 45, 37ХНЗА, 20Х, 40Х, 12ХНЗА і ШХ15, які піддавалися дробеструменевому наклепу, відносна зносостійкість зросла від 25 до 116%.

А.С.Венжега випробував шліфовані й обкатані зразки зі сталі 9Х, загартовані т.в.ч. Обкатування здійснювалося роликом із профільним радіусом 4,5 мм із силою втискання від 0,5 до 4,0 кН. Найбільша стійкість, у 2,5 рази вище шліфованих, встановлена у зразків, обкатаних із силою 2,0 кН. Цій силі відповідало і найбільше збільшення твердості. Збільшення зносостійкості

А.С.Венжега пов'язує з підвищенням структурної однорідності поверхневого шару і наявністю в ньому напруг стискання. Була випробувана також партія обкатаних роликком валків 12-валкового стану. Обкатані валки при прокатці латуні виявилися на 38% довговічніше шліфованих.

Випробування на зношування при терті кочення проводили на машині типу МІ-1М. Досліджували зразки зі сталей 14Х2НЗМА і ШХ15, що мали діаметр 40 мм і ширину 10 мм. Верхні зразки, називані надалі роликками, були виготовлені в ідентичних умовах з тих же матеріалів. У нижніх зразків, виготовлених при різних режимах, був неоднаковий поверхневий шар.

Зразки зі сталі 14Х2НЗМА після цементації і термічної обробки шліфували. Частина зразків випробувалася безпосередньо після шліфування, а інші перед іспитом обкатувалися при різному тиску. Твердість зразків перед обкатуванням складала HRC 58-59.

Зразки зі сталі ШХ15 (HRC 61-62) після загартування і відпуску обробляли за трьома варіантами: піддавали шліфуванню, шліфуванню з наступним поліруванням і шліфуванню з наступним обкатуванням кулькою діаметром 10 мм.

При випробуваннях навантаження нижнього зразка здійснювалося притисненням до нього ролика за допомогою тарованої пружини. Після навантаження контактний тиск становив 85 МПа. Під час зношування зразок обертася зі швидкістю 416 об./хв.

Висновок: На підставі викладеного можна зробити висновок, що при оптимальних режимах обробки, які відповідають умовам навантаження зразків при випробуванні, обкатка кульками або роликками підвищує зносостійкість загартованих сталей, причому обкатування роликками показує більшу ефективність у порівнянні із обкатуванням кульками.

Підвищення зносостійкості пар тертя після обробки їх методом ППД, незважаючи на складність фізичних та хімічних процесів, що протікають в процесі ППД, основною є несуча поверхня в контакті пар тертя, а також збільшення радіусів заокруглення профілю, та відсутності хвилястості на обкатаній поверхні і перенаклепа металу у поверхневому шарі. Підвищення ефекту зносостійкості наклепаного поверхневого шару, як видно із огляду, належить також залишко-

вим стискаючим напруженням, що утворюються в результаті пластичної деформації. Попереднє зміцнення деталей перешкоджає зварюванню-схопленню, що виникає під час тертя, за рахунок усунення пластичної деформації поверхневого шару деталі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бутаков Б.И. Усовершенствование процесса чистового обкатывания деталей роликами // Вестник машиностроения. – 1984. – № 7. – С. 50 – 53
2. Бабей Ю.И., Бутаков Б.И., Сысоев В.Г. Поверхностное упрочнение металлов. – К.: Наукова думка, 1995. – 255 с.
3. Папшев Д. Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками. – М.: Машиностроение, 1968. – 132 с.
4. Шнейдер Ю. Г. Чистовая обработка металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1963. – 272 с.
5. Балтер М. А. Упрочнение деталей машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 184 с.
6. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1987.- 328 с.
7. Коновалов Е. Г. Основы новых способов металлообработки. – Минск, Из – во АН БССР, 1961. – 185 с.
8. Браславский В. М. Волнистость поверхности при обкатке роликами // Станки и инструмент. – 1960. – № 6. – С. 15-20.
9. Школьник Л.М., Шахов В.И. Технология и приспособления для упрочнения и отделки деталей накатыванием. – М.: Машиностроение, 1964. – 184 с.