

*Балицький О.І., д.т.н., проф.; Колесніков В.О., к.т.н., доц.; Хмель Я., д.т.н.;  
Лопаткін І.О., Черняхів П. І.*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТУ**

*Проаналізовані експериментальні данні стосовно зносостійкості сталей (в умовах тертя кочення), що можуть застосовуватись в автомобільній промисловості. Виявлено здатність в діапазоні до 50 кг адаптуватись до умов тертя без інтенсивного теплового захоплення, що свідчить про структурну адаптацію матеріалів*

**Постановка проблеми.** В процесі експлуатації автомобіля виникають різні дефекти (несправності) внаслідок зносу і пошкоджень деталей, дії теплоти і корозії. Всі дефекти автомобільних деталей можна розділити на три групи: конструктивні, виробничі і експлуатаційні. До конструктивних дефектів відносяться ті, які є наслідком помилок, допущених на етапі конструювання автомобіля. Виробничі дефекти - це дефекти, що виникли в результаті помилок при виготовленні або ремонті транспортного засобу. Що стосується експлуатаційних дефектів, то вони виникають або через неналежне обслуговування, або через природного зносу [1].

Більша частина автопарку України складають автомобілі, які мають більше 10 років, отже більша частина деталей в них зношена. І вони в тому чи іншому виді потребують ремонту. На ремонт автомобіля в період експлуатації витрачається в 2-3 рази більше коштів, ніж на його виготовлення. Більша частина цих витрат викликана передчасним зношуванням деталей циліндро-поршневої групи, а також підшипників ковзання двигуна внутрішнього згорання. Знос є причиною виходу з ладу 80 % деталей машин та механізмів.

Знос - зміна розмірів, форми, маси твердих тіл і стану їх поверхонь внаслідок залишкової деформації від постійно діючих навантажень, або руйнування поверхневого шару при терті [2].

Відповідно до ГОСТ 27674-88 зношування класифікується як процес відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і збільшення його залишкової деформації.

Зношування деталей в автомобілі тісно пов'язано з безпекою, яка в свою чергу залежить від надійності та довговічності.

На сайті автоекспертизи і оцінки «ІНАВЕКС» можна скористатися зручним сервісом - калькулятором зносу комплектуючих виробів (деталей, вузлів і агрегатів), які підлягають заміні при відновному ремонті транспортного засобу, яке постраждало внаслідок дорожньо - транспортної пригоди, винних дій третіх осіб або пошкоджень автомобіля, отриманих при інших умовах [3].

Автомобіль, як правильно, розраховується на тривалу роботу. Різна за часом стійкість сполучень агрегатів автомобіля вимагає періодичних зупинок для його обслуговування і заміни найменш стійких деталей. Надійність є комплексною властивістю, яке в залежності від призначення автомобіля та умов його експлуатації може включати безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість окремо або певне поєднання цих властивостей як для автомобіля, так і для його агрегатів (систем, вузлів і деталей), спрямованим на виконання автомобілем робочих функцій з встановленими показниками протягом ресурсу до капітального ремонту [4].

Тому комплексний підхід до проблем зношування, надійності та довговічності з застосуванням останніх досягнень сучасного матеріалознавства, механіки руйнування, натурних випробувань та ІТ технологій дозволить сприяти їх вирішенню [5 - 12].

**Матеріали та методика проведення експериментів.** Нові можливості відкриваються при використанні високоазотних марганцевих сталей, які завдяки підвищеним фізико-механічним властивостям ( $\sigma_b = 1000...1300$  МПа,  $\sigma_T = 400...1000$  МПа,  $K_{IC} = 600$  МПа $\sqrt{м}$ ) знаходять широке використання в атомній енергетиці, медицині, будівництві, у морській

техніці, залізниці, де вони використовуються як триботехнічні матеріали. Хімічний склад досліджуваних сталей наведено в таблиці 1. Сплав № 1, то є високоазотна сталь. Сплав № 2 є сталь № 45. Хімічний склад сталі 45 регламентується згідно ГОСТ 1050-88.

Таблиця 1 – Хімічний склад досліджуваних сталей

Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	N
Сплав № 1	0,06	0,52	19,4	17,5	0,13	2,08	0,14	0,97
Сплав № 2*	0,42 - 0,5	0,17 - 0,37	0,5 - 0,8	До 0,25	До 0,25	–	–	–

- \*S до 0,04%, P до 0,035, C до 0,25, Cu до 0,25, As до 0,08

Для сталі 45 є замітники сталі: 40X, 50, 50Г2. Клас сталі: сталь конструкційна вуглецева якісна. Сталь 45 використовують в промисловості для виготовлення: валів-шестерен, колінчатих і розподільних валів, шестерень, шпинделів, бандажів, циліндрів, кулачків і інших нормалізованих, покращуваних, що піддаються поверхневій термообробці деталей, від яких потрібна підвищена міцність, тобто цю сталь можна застосовувати для вузлів тертя автомобілів.

У високоазотній сталі в мікроструктурі сплавів зафіксовано аустенітну металеву матрицю, мікротвердістю 4,2...5,0 GPa.

Виготовлення високо азотних сталей здійснюються з електродів виплавлених в дуговій печі, які для поліпшення чистоти переплавляються на установці електрошлакового переплаву або в установці електрошлакового переплаву під тиском. Після обточки заготовок зразки підвергають дифузійному відпалу, а далі холодному зміцненню. Далі відбувається відпал для зняття напруг та чистова обробка. Холодна пластична деформація для даних зразків може здійснюватись до 60%.

Досліджували триботехнічні можливості високо азотних сталей в умовах сухого тертя (ролик по ролику). Зносотривкість вивчали на машині тертя СМТ – 1 (2070). Швидкість ковзання нижнього ролика становила 1480 обертів за хвилину, а верхнього 1240 (проковзування складало 15%). Нижній ролик (діаметр 42 мм) виготовлений зі сталі 45 (HRC = 60 од.), аналог сталі 45. Верхній ролик виготовляли з високоазотних сталей сплав №1 твердість 45...50 HRC (хімічний склад наведено в табл. 1). Лінійна швидкість верхнього ролика складала 2,27 м/с, а нижнього 3,08 м/с. В умовах сухого тертя навантаження складало 40, 50, 60 кг. Металографічні дослідження (в.р. продуктів зношування) проводили на мікроскопі Neophot 2, з підключенням ноутбука, та цифрового фотоапарату Canon EOS 30D. Поверхні тертя знімали на електронному мікроскопі EVO-40XVP із системою мікроаналізу INCA Energy 350. За допомогою мікроскопу Neophot 2 вдалося встановити мікротвердість поверхневого шару. Рентгеноструктурний аналіз провдили на установці ДРОН 2.

**Результати досліджень.** Експерименти проводили в умовах сухого тертя, так як це дає змогу швидко оцінити здатність матеріалів до триботехнічних властивостей. Режим сухого тертя можна розглядати, як "самий крайній випадок" гранічного тертя, тобто коли зникає змащувальний шар і є необхідність визначити в яких умовах (навантаження, швидкість) деталь може працювати без початку "катастрофічного" зношування.

Перед дослідженням сплавів робили їх припрацювання, навантаження змінювали від меншого до більшого. Подальше припрацювання сплавів сприяло зменшенню інтенсивності зношування сплавів навіть при збільшенні навантаження від 40 кг до 50 кг (рис.1). При навантаженні 40 кг схоплювання сплавів не спостерігали їх тертя відбувалось у стабільному режимі без значних коливань коефіцієнта тертя. (рис.1).

У період приробітки (припрацювання) нові деталі зношуються інтенсивно, після підробітки ступінь зносу сповільнюється і наростають величини зносу досить повільно. Йде так званий нормальний експлуатаційний знос.

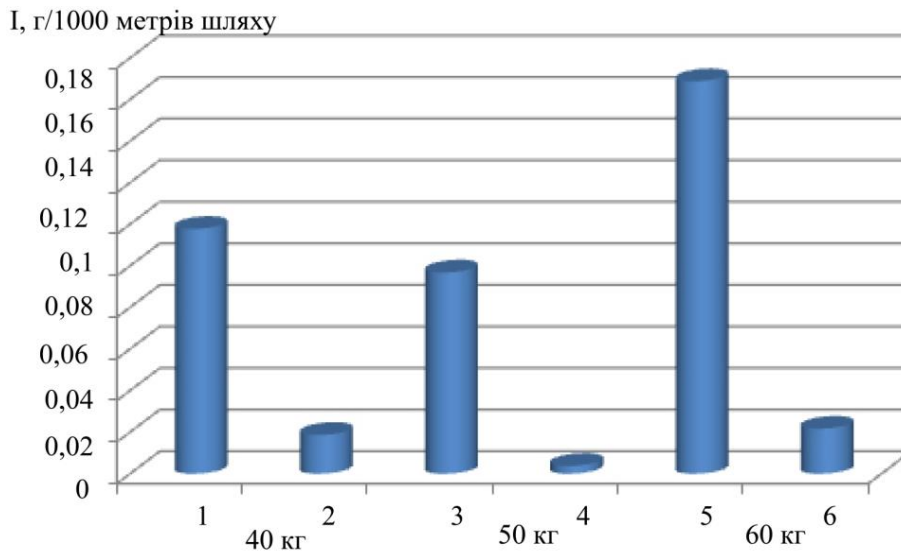


Рис.1 – Експериментальні результати досліджень в умовах сухого тертя

**Допустимим** називають знос, при якому можлива нормальна робота деталей до чергового ремонту.

Після певного періоду роботи знос знову різко наростає, швидко збільшуються зазори, що призводить до ненормальної роботи деталей, супроводжуваної стукотами. Далі експлуатувати автомобіль неможливо або економічно не доцільно.

**Граничним** називається знос, при якому подальша експлуатація механізму веде до швидкого наростання зносу і руйнування сполучених деталей.

Експлуатація автомобілів з граничним зносом деталей може призвести до аварії.

Величина зносу, а отже, і довговічність деталі залежать від конструкції механізму і умов роботи деталей (характеру навантаження, величини питомої тиску, температури і т. д.), матеріалу деталей, точності і чистоти обробки, зазорів і натягів в сполученнях деталей, якості збірки і регулювання, наявності та якості мастила, своєчасності та ретельності виконання технічного обслуговування, умов експлуатації і прийомів водіння автомобіля.

Зі збільшенням пробігу автомобіля величина зносу і зазор між сполученими деталями поступово збільшуються (рис. 1.3). Ділянка ОА відповідає періоду обкатки нового або капітально відремонтованого автомобіля. Протягом цього періоду відбувається підвищений знос деталі у зв'язку з приработкою (припрацюванням) сполучених поверхонь. Ділянка АВ відповідає періоду нормальної експлуатації, коли знос збільшується значно повільніше.

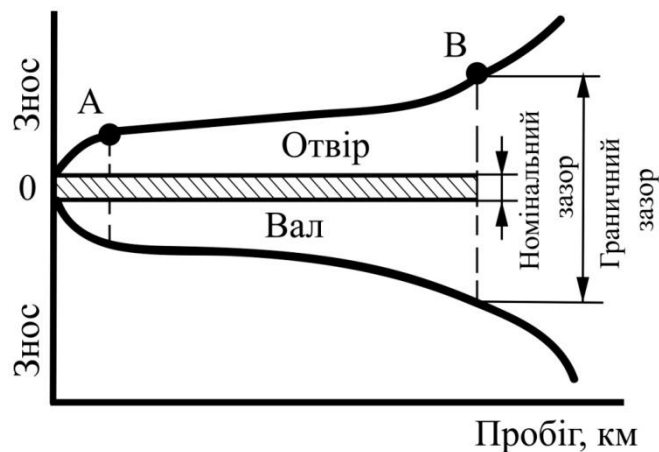


Рис. 2 – Графік залежності зносу деталей від пробігу автомобіля [13]

Допустимим називається знос деталі, при якому вона може нормально працювати до чергового ремонту. Граничним називається знос (точка В), при якому порушуються нормальні умови роботи сполучених деталей і подальша експлуатація стає неможливою або економічно невиправданою. Якщо деталі схильні до ударних і знакозмінних навантажень, то значне відхилення від встановленого зазору, наприклад, в підшипниках колінчастого вала двигуна призводить до різко зростаючим зносам.

В умовах тертя суттєвий вплив відіграють процеси, що відбуваються в при поверхневих шарах сплавів. Зокрема, здатність сплавів зміцнюватись (збільшувати твердість при поверхневих шарів) при навантаженні та чинити опір зношуванню.

Аналізуючі отримані нами дані стосовно зношування, як для високоазотних сталей так і сталі 45, можна прийти до висновку, що для досліджуваних сталей існує період припрацювання. Тобто, спочатку перехід відбувався період, коли при навантаженні 40 кг, знос був більшим ніж при 50 кг, це відбувалось, якщо дослідження проводили при поступовому збільшенні навантаження. Якщо експерименти проводити в інший послідовності, спочатку провести "адаптивне" зношування при більшому навантаженні, наприклад при 50 кг, а потім провести при зменшенні навантаження, то інтенсивність зношування також знижується. Тобто ми можемо констатувати, що відбувається структурна адаптація матеріалів в умовах тертя. Але інтенсивність зношування при навантаженні 60 кг різко зростала, відбувалось інтенсивне теплове захоплення. І перехід до більшого навантаження до суттєвого зниження інтенсивності зношування не призводив.

Під час проведення експериментів вдалось за допомогою мікроскопу вдалось проаналізувати мікрофрактографію поверхонь руйнування та зробити аналіз продуктів зношування, визначили їх розміри Також звернули увагу на природу хромарганцевого аустеніту, який містить азот та здатність нержавіючих сталей до утримування на поверхні плівок, які також відіграють значну роль в процесах адаптування поверхневих шарів до умовах тертя. Відбувається ефект самозаліковування. Серед надважливих властивостей пасивуючої плівки є відсутність фазових перетворень, які можуть бути причиною утворення мікроскопічних тріщин, руйнівних захисну плівку [14]. Це дуже важливо, для сплавів які працюють в умовах тертя, так як змащувальні матеріали значно зменшують зношування деталей найчастіше при малих деформаціях, коли, у відповідності з ефектом Ребиндера, вони окисляють та пластифікують метал, але на стадії припрацювання інколи сприяють розвитку мікротріщин.

**Висновки.** Дослідили здатність сталей до припрацювання під час прикладення різних навантажень в умовах тертя ковзання. Виявлені режими та властивості сталей можуть бути використанні для розробки нових матеріалів для автомобільної галузі.

#### Список літературних джерел

1. Виды дефектов и износ деталей автомобиля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.gazu.ru/car/autoservice/10166>.
2. Классификация видов износа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://chiefengineer.ru/tehnicheskie-discipliny/mehanika/klassifikaciya-vidov-iznosa>.
3. Автоэкспертиза и оценка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://inavex.ru/kalkulyator-iznosa>.
4. Надежность автомобиля и её основные характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/bez-rubriki/nadezhnost-avtomobilya-i-ee-osnovny-e-harakteristiki>.

5. Balytskyi O.I., Kolesnikov V.O. Investigation of wear products of austenitic manganese cast-iron // Materials Science.– vol.40.-№ 1.-2004. – p. 78 – 82.
6. Balytskyi O.I., Kolesnikov V.O., Kubicki J. Enhancement of the crack resistance of manganese cast irons // Materials Science.– Vol.41, № 1.-2005. – p. 67 –73.
7. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O., Kawiak P. Tribotechnical properties of austenitic manganese steels and cast - irons under sliding friction conditions //Materials Science.– Vol.4\*, № 5.-2005. – p. 624 –630.
8. Balitskii A., Kolesnikov V., Chmiel J. The influence of microstructure and hydrogen – containing environments on the intensity of cast iron and steel damage by sliding friction. Part 1. Construction of a generalized model of surface layer friction of graphitized steel and cast-iron objects // Problemy eksploatacji.-4 (67)/2007.-s.17-29.
9. Balyts'kyi O.I., Kolesnikov V.O Investigation of wear products of high nitrogen manganese steels // Materials Science (Springer).– 2009, vol. 45, N 4.- P.576-581.
10. Study of the wear resistance of high-nitrogen steels under dry sliding friction // O. I. Balyts'kyi, V. O. Kolesnikov, and J. Elias // Materials Science, Vol. 48, No. 5, March, 2013 P. 642 – 646. (Ukrainian Original Vol. 48, No. 5, September–October, 2012 C. 78 - 82.
11. Balitskii A.I., Kolesnikov V.O., Elias J., Hawriljuk M.R. Fracture of hydrogenated high nitrogen manganese steels at slide wear // Materials Science. - 2014. – N 4. – P. 110 – 116.
12. Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я., М.Р. Гаврилюк Особливості руйнування наводнених високо азотних марганцевих сталей в умовах тертя кочення // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2014, Том 50. – № 4. – С. 110 – 116.
13. Я знаю автомобіль. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://autology.jimdo.com>.
14. Гусякова Г.П., Корнев А.Б., Гусяков Д.С. Коэффициенты трения и износостойчивость металлических материалов с различной способностью к деформационному упрочнению// <http://nic-rt.ru/magazine1.html>.

**Балицький Олександр Іванович** – д.т.н., професор, завідувач лабораторії водневої стійкості конструкційних сплавів відділу фізичних основ руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України.

**Колесніков Валерій Олександрович** – к.т.н., м.н.м. сумісник лабораторії водневої стійкості конструкційних сплавів відділу фізичних основ руйнування та міцності матеріалів в агресивних середовищах Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка Національної академії наук України; доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ.

**Хмель Ярослав** – д.т.н., університет "Академія Морська", Щецин, Польща.

**Лопаткін Ілля Олександрович** – магістрант кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ.

**Черняхів Павло Ігорович** – магістрант кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ.