

УДК 621.891  
UDC 621.891

## ВПЛИВ КОНТАКТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА МІКРОТВЕРДІСТЬ ПРИПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ДОСЛІДЖУВАНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Білякович О.М., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна  
Савчук А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Туриця Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Міланенко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна  
Куш О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

## IMPACT LOAD ON THE CONTACT SURFACE MICROHARDNESS LAYERS INVESTIGATED MATERIALS

Dmytrychenko N.F., Ph.D., Engineering (Dr), National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Bilyakovych O.N., Ph.D, associate professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
Savchuk A.N, Ph.D, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Turitsa Y.A., Ph.D, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Milanenko A.A, Ph.D, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine  
Kushch A.I., Ph.D, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ВЛИЯНИЕ КОНТАКТНОЙ НАГРУЗКИ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ПРИПОВЕРХНОСНЫХ СЛОЕВ ИССЛЕДУЕМОГО МАТЕРИАЛА

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Білякович О.Н., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина  
Савчук А.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Туриця Ю.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Міланенко О.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина  
Куш А.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно правила позитивного градієнту механічних властивостей по глибині, зовнішнє тертя реалізується тільки в тих випадках, коли на поверхні твердого тіла розташований шар, який має меншу міцність, ніж нижчерозташовані шари. Зі збільшенням відстані від поверхні міцнісні характеристики шарів будуть підвищуватись, досягаючи деякого максимуму, і потім плавно спадати до значень, характерних для основного матеріалу. Іноді товщина приповерхневих шарів металу, у яких спостерігається такий розподіл міцнісних властивостей, настільки мала, що визначити їх механічні характеристики, наприклад, зміну мікротвердості по глибині, надзвичайно важко. В роботах [1, 2, 3] зазначається, що аналіз напруженого стану в зонах фактичного дотику показує:

- товщина деформованих поверхневих шарів при зовнішньому терті при домінуванні пружних деформацій складає 3-25 мкм;
- при домінуванні пластичної деформації товщина поверхневих шарів, що характеризується механічними властивостями, які відрізняються від властивостей основного матеріалу, зазвичай не перевищує 60 мкм, тобто вона менша або співпадає з загальною товщиною пластичнодеформованих шарів при зовнішньому терті.

**Постановка завдання.** Встановлення залежності зміни міцнісних характеристик приповерхневих шарів поверхонь тертя від впливу трибологічних процесів в контакті.

**Викладення основного матеріалу.** Для оцінки зміни механічних властивостей контактних поверхонь по глибині застосовували метод мікромеханічних досліджень з реєстрацією глибини втискування індентора (алмазна піраміда) в матеріал зразка (сталь 40Х).

Дослідження мікротвердості поверхневих шарів проводили за стандартною методикою на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні 50г. Визначення мікротвердості проводилось по 5 уколам

для кожної точки, середня глибина вимірювань зміни мікротвердості приповерхневих шарів відповідала стабілізації даного параметру та становила 10-13 мкм.

Досліджувались контактні поверхні сталі 40X при змащуванні їх оливою Honda ATF-Z1, термін експлуатації якої склав 45 тис.км пробігу, наробітка за період досліджень склала  $N = 1750$  циклів,  $\sigma_{\max}$  становить 450, 570 та 680 МПа.

Оскільки кінематична взаємодія зразків відбувалась в умовах кочення (проковзування складало 15%), мікротвердість визначалась окремо для відстаючої і випереджаючої поверхонь.

Для дослідження структури і зміни мікротвердості приповерхневих шарів використовували косі шліфи зразків. Перед виготовленням шліфа, для попередження крайового дефекту, торець зразка фрезерували на глибину не менше 2 мкм. Для попередження зминання шару, утворення завалів краю зразок закріплювали з контртілом в струбіні.

Початковий зразок зі сталі 40X після загартування при 780 – 800°C та відпуску при 350°C і шліфування ( $R_a = 0,37$  мкм) має структуру мілкодисперсного трооститу, характеризується наявністю позитивного градієнту зміни механічних властивостей металу по глибині, ширина зміцненої зони становить, в середньому 1 мкм, при цьому  $H_{50}$  складає 10000-11200 МПа, до 3,5 мкм по глибині мікротвердість приповерхневих шарів поступово зменшується і становить, в середньому 4000 МПа, що відповідає мікротвердості основного металу (рис. 1).

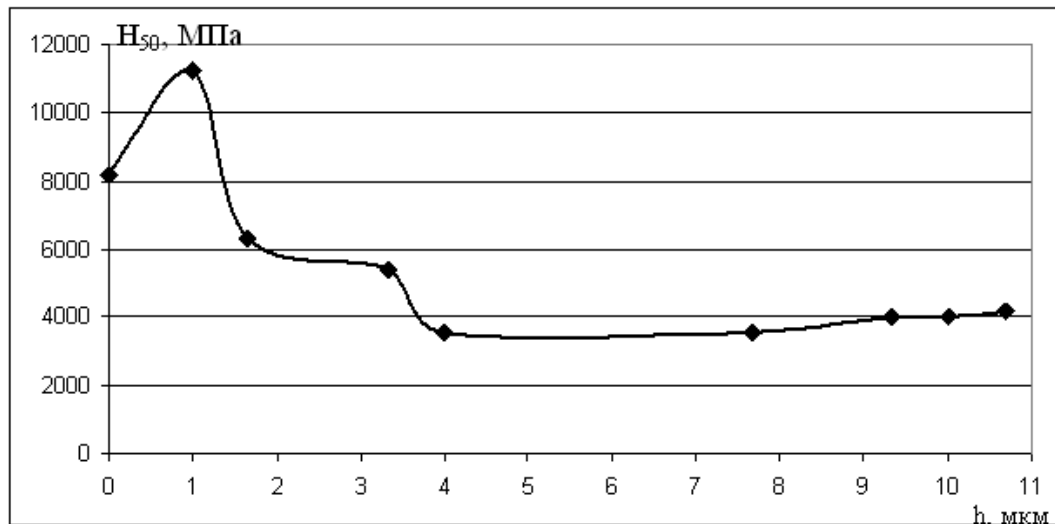


Рисунок 1 – Зміна мікротвердості приповерхневих шарів сталі 40X в якості поставки (зразок сталі 40X перед дослідженням)

При дослідженні зносостійкості контактних поверхонь в діапазоні навантажень  $\sigma_{\max}$  450 – 680 МПа при змащуванні їх відпрацьованою оливою встановлено, що, незалежно від навантаження, для випереджаючої та відстаючої поверхні лінійний знос склав 1,5 мкм та більше (виключення складає лише випереджаюча поверхня при  $\sigma_{\max}$  450 МПа, лінійний знос якої склав 0,65 мкм), що свідчить про стирання зміцненої зони, яка утворилась при шліфуванні сталі 40X, отже одержана нами мікротвердість приповерхневих шарів металу – це результат трибологічних перетворень металу в динамічних умовах навантаження.

Розглянемо встановлені закономірності зміни мікротвердості приповерхневих шарів металу залежно від контактного навантаження для відстаючого зразка (рис. 2).

По-перше, для всіх контактних поверхонь, незалежно від  $\sigma_{\max}$ , встановлений позитивний градієнт механічних властивостей по глибині, однак якщо при  $\sigma_{\max}$  450 МПа та 570 МПа  $\Delta H_{50}$  при максимальному початковому зростанні мікротвердості вглиб металу відносно поверхні складає 3000 МПа та 4100 МПа відповідно, то при  $\sigma_{\max}$  680 МПа даний показник складає лише 50 МПа. По-друге, ступінь зміцнення найвищих поверхневих шарів сталі 40X залежить від контактного навантаження і становить 6000:7000:8400 МПа відповідно при  $\sigma_{\max}$  450, 570 та 680 МПа. По-третє, ширина локалізації пластичної деформації в тонких приповерхневих шарах, яка охоплює зміцнені та розміцнені ділянки металу по глибині складає 4,5:6,5:7 мкм відповідно при  $\sigma_{\max}$  450, 570 та 680 МПа.

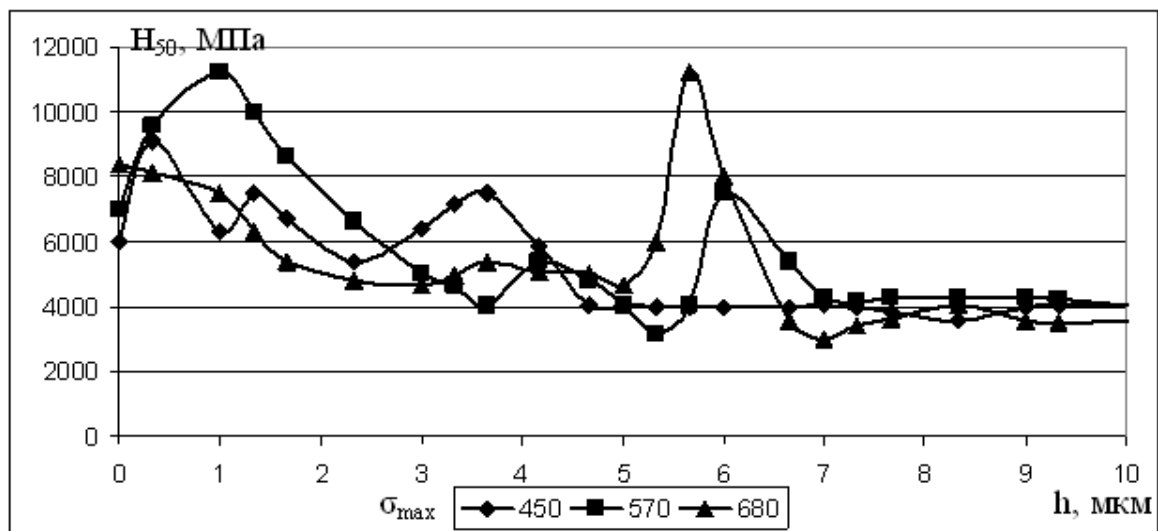


Рисунок 2 – Зміна мікротвердості приповерхневих шарів відстаючого зразка сталі 40X при  $\sigma_{max} = 450, 570, 680$  МПа

Відомо, що підвищення пластичної деформації при терті в тонких приповерхневих шарах призводить до градієнту густини дислокацій, адсорбція та хемосорбція поверхнево-активних речовин обумовлює зменшення напруг руйнування металу, дані явища підсилюються в місцях концентрації напруг, особливо поблизу дислокаційних скупчень [4]. Оскільки змашувальний матеріал активно приймає участь в усіх вищезазначених процесах завдяки протіканню окислювально-полімеризаційних процесів та комплексоутворення, розглянемо описані зміни мікротвердості приповерхневих шарів металу з позиції формування на активованій поверхні металу стійкої адаптованої плівки мастильного матеріалу до динамічних умов навантаження. При  $\sigma_{max} = 450$  МПа не відбувається в процесі наробітки за даних умов експерименту формування міцного граничного шару на контактних поверхнях, в 50% циклів спостерігається деструкція сформованих граничних плівок, внаслідок чого реалізується безпосередній металевий контакт поверхонь. За таких умов при багаточисловому навантаженні, за наявності проковзування в контакті, накопичуються мікронапруги та прихована енергія деформації [5], що проявляється в трьох піках зростання мікротвердості приповерхневих шарів з шириною 0,3 – 0,8 мкм, що відповідає товщині пачки ліній ковзання [6].

При  $\sigma_{max} = 570$  та  $680$  МПа інтенсифікуються процеси формування стабільної граничної плівки (при  $N \geq 900$  циклах та  $N \geq 1250$  циклах відповідно), яка містить велику концентрацію поверхнево-активних окислювально-полімеризаційних компонентів в відпрацьованій оливі, що призводить до зниження напруг руйнування металу внаслідок адсорбційного зменшення міцності поверхневих шарів та зростання зносу контактних поверхонь. Поверхнево-активні речовини граничного шару полегшують вихід дислокацій на поверхню деформованого металу, зменшуючи накопичувальні внутрішні напруги та приховану енергію деформації, що проявляється в наявності двох піків збільшення мікротвердості приповерхневих шарів металу при  $\sigma_{max} = 570$  МПа (на відстані 1 мкм та 6 мкм по глибині) та одного піку при  $680$  МПа (на відстані 5,5 мкм по глибині). Полегшення зсувоутворення в присутності ПАР в кінцевому рахунку призводить до значного зміцнення тонкого приповерхневого шару внаслідок сильних викривлень решітки поверхневих зерен [7], однак дане явище спостерігається лише при  $\sigma_{max} = 570$  МПа – максимальний ступінь наклепу спостерігається на відстані 1 мкм від поверхні, при  $\sigma_{max} = 680$  МПа зона наклепу незначна, що обумовлено як постійним стиранням поверхневих шарів внаслідок зносу (лінійний знос відстаючої поверхні при  $\sigma_{max} = 680$  МПа на 26% перевищує аналогічний показник при  $\sigma_{max} = 570$  МПа), так і підвищеною твердістю поверхневих шарів металу ( $\Delta H_{50} = 1400$  МПа, в порівнянні з мікротвердістю при  $\sigma_{max} = 570$  МПа) внаслідок протікання інтенсивнішої пластичної деформації поверхневих шарів металу при збільшенні навантаження, що призводить до реалізації критичного пружнонапруженого стану в поверхневих об'ємах металу [8].

Проаналізуємо кінетику зміни мікротвердості приповерхневих шарів металу для випереджаючої поверхні (рис. 3).

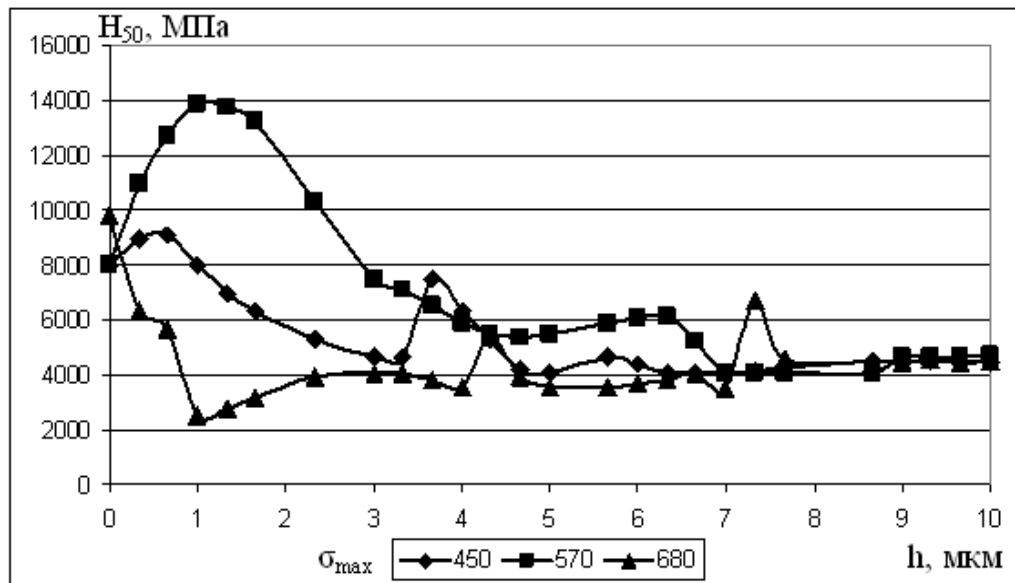


Рисунок 3 – Зміна мікротвердості приповерхневих шарів випереджаючого зразка сталі 40X при змащуванні відпрацьованою оливою Honda ATF-Z1 ( $\sigma_{max} = 450, 570, 680$  МПа)

По-перше, як і для відстаючої поверхні, незалежно від контактного навантаження, встановлений позитивний градієнт зміни механічних властивостей по глибині, а ступінь максимального зміцнення складає 1000:6000:200 МПа при  $\sigma_{max}$  450, 570 та 680 МПа відповідно. По-друге, чіткої кореляції між зміцненням найвищих приповерхневих шарів сталі 40X залежно від навантаження, як це спостерігається для відстаючої поверхні, не встановлено: мікротвердість даної зони становить 8000 МПа при  $\sigma_{max}$  450 і 570 МПа та 9800 МПа при  $\sigma_{max}$  680 МПа. По-третє, повністю співпадають показники оцінки ширини локалізації пластичної деформації по глибині металу як для відстаючої так і для випереджаючої поверхонь, зокрема для останньої при  $\sigma_{max}$  450, 570 та 680 МПа даний параметр становить 4,5:6,5:7,5 мкм.

Отже, для випереджаючої поверхні встановлені аналогічні закономірності щодо реалізації зовнішнього тертя в контакт (позитивний градієнт зміни механічних властивостей сталі), зміцнення поверхневих шарів металу та зростання ширини зони локалізації мікронапруг з підвищенням навантаження, як і для відстаючої поверхні, однак є деякі особливості динаміки зазначених процесів, які і обумовлюють, на нашу думку, підвищенні зносостійкості випереджаючої поверхні. Зокрема, збільшення мікротвердості найвищих приповерхневих шарів металу на 2000:1000:1400 МПа відповідно при  $\sigma_{max}$  450, 570 та 680 МПа внаслідок зменшення ступеня розклинюючої дії оливи при еластогідродинамічному мащенні в результаті різновекторної направленості сил тертя для контактуючих поверхонь забезпечує зменшення зносу випереджаючої поверхні, незалежно від навантаження, в середньому, на 47%, в порівнянні з відстаючою поверхнею.

При  $\sigma_{max}$  450 МПа, незважаючи на однакову ширину проникнення пластично-деформованих змін в приповерхневі шари контактуючих поверхонь, для випереджаючого зразка встановлено зменшення площин ліній ковзання, що характеризує зниження ступеня прихованої енергії деформації. На нашу думку, це обумовлено найменшим інтенсивним зносом контактної поверхні, в порівнянні зі всіма досліджуваними зразками сталі 40X, – 0,65 мкм, що припадає на найбільш зміцнену зону початкового металу, яка утворилась при шліфуванні поверхні. Отже, при терті, хоча ця ділянка і розмінюється, в середньому на 1200 МПа, однак вона забезпечує достатній міцнісний бар'єр щодо накопичення мікронапруг в нижчезрозташованих приповерхневих шарах металу.

При  $\sigma_{max}$  570 МПа поверхнево-активні компоненти відпрацьованої оливи інтенсифікують процеси, обумовлені ефектом Ребіндера, що призводить до збільшення твердості наклепаного шару для випереджаючої поверхні  $\Delta H_{50} = 3000$  МПа, в порівнянні з відстаючою, а його ширина має найбільші значення – 1,8 мкм, що перешкоджає поширенню внутрішніх напруг по глибині металу, і, як наслідок, забезпечується підвищення зносостійкості даної поверхні.

При  $\sigma_{max}$  680 МПа для випереджаючої поверхні реалізуються умови критичного пружньо-напруженого стану приповерхневих шарів металу, які були описані і для відстаючої

поверхні, однак відмітимо зростання прихованої енергії деформації, що проявляється в коливаннях ступеня зміцнення – розміцнення приповерхневих шарів металу по глибині та збільшення ширини зони розповсюдження змін металу на 0,5 мкм, в порівнянні з відстаючою поверхнею. На нашу думку, ведучим чинником, який впливає на дані процеси, є найбільша інтенсивність зміцнення поверхневих шарів металу: відмітимо, що лише для даної контактної поверхні при напрацюванні  $1 < N < 1250$  циклів наробітки спостерігається поступове зростання мікротвердості поверхневих шарів металу, незважаючи на інтенсивний знос даної поверхні (лінійний знос випереджаючої поверхні при  $\sigma_{\max}$  680 МПа на 12% перевищує аналогічний показник при  $\sigma_{\max}$  570 МПа) в результаті адсорбційного пониження міцності металу при адсорбції ПАР відпрацьованої оливи. Однак, інтенсивний вихід дислокацій на поверхню, домінування пластичної складової компоненти при збільшенні навантаження, суттєве зменшення розклинюючого ефекту компонентів оливи внаслідок різновекторної направленості сили тертя та швидкості кочення (даний параметр, на нашу думку, є найважливішим), призводять до зміцнення найвищих поверхневих шарів сталі 40Х з послідовним різким падінням мікротвердості до 2500 МПа ( $\Delta H_{50} = 7500$  МПа), що призводить до збільшення концентрації внутрішніх напруг та активізує роботу дислокаційних джерел [9], які розташовані вглибині металу, внаслідок чого і збільшується ширина локалізації пластичної деформації в приповерхневих шарах випереджаючої поверхні.

**Висновок.** Аналіз зміни мікротвердості приповерхневих шарів металу при багаточисловому навантаженні контактних поверхонь встановив, що на відстаючій та випереджаючій поверхнях при  $\sigma_{\max}$  450 МПа локалізація пластичної деформації в приповерхневому об'ємі металу в більшій мірі залежить від міцнісних характеристик сталі 40Х, тоді як при  $\sigma_{\max}$  570 МПа та 680 МПа активація пластичної деформації поширюється на більшу об'ємну глибину металу внаслідок зменшення критичних напруг його руйнування при адсорбції поверхнево-активних компонентів відпрацьованої оливи та внаслідок прояву пружньо-напруженого стану приповерхневих шарів металу при його інтенсивній пластичній деформації.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Рыбакова Л.М. Структура и износостойкость металла / Л.М. Рыбакова, Л.И. Куксенова. – М.: Машиностроение. – 1982.
2. Гормаков А.Н. Исследование триботехнических характеристик материалов. Учебно-методическое пособие / А.Н.Гормаков. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005 – 21 с.
3. Дмитриченко М.Ф. Триботехніка та основи надійності машин. Навчальний посібник / М.Ф.Дмитриченко, Р.Г.Мнацаканов, О.О.Мікосянчик. – К.: ІНФОРМАВТОДОР, 2006. – 216 с.
4. Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материала / В.П. Алехин. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
5. Sush N.P. // Wear, 1973. Vol. 25, №1. P. 111-124.
6. Липатов Ю.С. Взаимопроникающие полимерные сетки / Ю.С. Липатов, Л.М. Сергеева. – К.: 1979.
7. Лихтман В.И. Физико-химическая механика металлов / В.И. Лихтман, Е.Д. Щукин, П.А. Ребиндер. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 303 с.
8. Пинчук В.Г. Некоторые структурные предпосылки трещинообразования при трении / В.Г. Пинчук, В.Ф. Концевой // Трение и износ, том VII, №1. – 1986. С. 129 – 135.
9. Пинчук В.Г. Особенности изменения дислокационной структуры никеля при трении / В.Г. Пинчук, Б.А. Савицкий, А.С. Булатов // Поверхность, физика, химия, механика, 1983. – №9. – С. 72-75.

#### REFERENCES

1. Rybakova L.M. Structure and wear resistance of metal. L.M. Rybakova, L.I. Kuksenova. - M.: Mechanical Engineering, - 1982. (Rus)
2. Gornakov A. N. Investigation of tribological characteristics of materials. Textbook. A.N. Gornakov. - Tomsk: Publishing house of TPU, 2005 - 21 c. (Rus)
3. Dmitrichenko N.F. Tribotekhnika and bases of reliability of machines. Train aid. N.F.Dmitrichenko, R.G.Mnacakanov, O.A.Mikosyanchik. – K.: INFORMA VTODOR, 2006. – 216 p. (Rus)
4. Alekhin V.P. Physics of strength and plasticity of the surface layers of material. V.P. Alekhin. - M.: Nauka, 1983. - 280 S. (Rus)
5. Sush N.P. Wear, 1973. Vol. 25, №1. P. 111-124. (Eng)
6. Lipatov Y.S. Interpenetrating polymer network. Y.S. Lipatov, L.M. Sergeeva. - K.: 1979. (Rus)
7. Lichtman V.I. Physico-chemical mechanics of metal. V.I. Lichtman, E.D. Shchukin, P.A., Rebinder. - M.: Izd-vo an SSSR, 1962. - 303 S.. (Rus)

8. Pinchuk V.G. Certain structural prerequisites of crack formation in friction. Century, Pinchuk, B.G. Friction and wear, vol VII, No. 1. - 1986. S. 129 - 135. (Rus)
9. Pinchuk V.G. Particularly changes in the dislocation structure of Nickel in friction. Pinchuk V.G., B.A. Sawicki, A.S. Bulatov. Surface physics, chemistry, mechanics, 1983. No. 9. - S. 72-75. Landman U. Atomic Scale Issues in Tribology: Interfacial Junctions and Nano-Elastohydrodynamics. U. Landman, W.D. Luedtke, J. Gao. Langmuir. – 1996. – Vol. 12. P. 4514 – 4524. (Rus)

### РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Вплив контактної навантаженості на мікротвердість приповерхневих шарів досліджуваних матеріалів / М.Ф.Дмитриченко, О.М.Білякович, А.М.Савчук, Ю.О.Туриця, О.А.Міланенко, О.І.Куш, // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

У статті представлені результати досліджень, які виконували на роликів, виготовлених зі сталі 40X при максимальних контактних навантаженнях по Герцу 450, 570 та 650 МПа. Мазильний матеріал – трансмісійна олива Honda ATF-Z1.

Об’єкт дослідження – міцнісні характеристики приповерхневих шарів контактних поверхонь.

Метою роботи було дослідження впливу трибологічних процесів на міцнісні характеристики приповерхневих шарів контактних поверхонь.

Метод дослідження – дослідження мікротвердості поверхневих шарів проводили за стандартною методикою на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні 50г.

Визначено, що інтенсивний вихід дислокацій на поверхню, домінування пластичної складової компоненти при збільшенні навантаження, суттєве зменшення розклинюючого ефекту компонентів оливи внаслідок різновекторної направленості сили тертя та швидкості кочення (даний параметр, на нашу думку, є найважливішим), призводять до зміцнення найвищих поверхневих шарів сталі 40X з послідовним різким падінням мікротвердості до 2500 МПа. Аналіз зміни мікротвердості приповерхневих шарів металу при багатоцикловому навантаженні контактних поверхонь встановив, що на відстаючій та випереджаючій поверхнях при  $\sigma_{\max}$  450 МПа локалізація пластичної деформації в приповерхневому об’ємі металу в більшій мірі залежить від міцнісних характеристик сталі 40X, тоді як при  $\sigma_{\max}$  570 МПа та 680 МПа активація пластичної деформації поширюється на більшу об’ємну глибину металу внаслідок зменшення критичних напруг його руйнування при адсорбції поверхнево-активних компонентів відпрацьованої оливи та внаслідок прояву пружнонапруженого стану приповерхневих шарів металу при його інтенсивній пластичній деформації.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** КОНТАКТНА ПОВЕРХНЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, ПАРА ТЕРТЯ, ПРИПРАЦЮВАННЯ, ШОРСТКІСТЬ, МАСТИЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ.

### ABSTRACT

Dmitrichenko N.F., Bilyakovich O.N., Savchuk A.N., Turitsa Y.A., Milanenko A.A., Kusch A.I. Impact load on the contact surface microhardness layers investigated materials. Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The article presents the results of research conducted on rollers made of steel 40X maximum contact stress on gerco 450, 570, and 650 MPa. Lubricant - gear oil Honda ATF-Z1.

The study the strength characteristics of the surface layers of the contact surfaces.

The aim of this work was to study the influence of tribological processes on mechanical properties of the surface layers of the contact surfaces.

Method of research - the study of microhardness of the surface layers was performed by standard methods on the microhardness tester PMT-3 at a load of 50g.

Determined that the intense output of dislocations on the surface, the dominance of the plastic component components when the load increases, a significant decrease in wedging effect of the components of the oil due to the different orientation of the friction force and rolling velocity lead to the strengthening of high surface layers of steel 40X with a subsequent sharp drop in microhardness up to 2500 MPa.

Analysis of changes in the microhardness of the surface layers metal under cyclic load of the contact surfaces has determined that the backward and forward looking surfaces at 450 MPa  $\sigma_{\max}$  localization of plastic deformation in the near-surface volume of metal in a greater degree depends on the strength characteristics of steel 40X, while  $\sigma_{\max}$  570 MPa and 680 MPa activation of plastic deformation is distributed

in a large volume the depth of the metal due to the decrease of critical stresses its destruction by adsorption of surface-active components of the waste oil and due to manifestations uruguayround state of the surface layers of metal when it is severe plastic deformation.

KEYWORDS: THE CONTACT SURFACE OF THE LOAD, A PAIR OF FRICTION, BREAKING, ROUGHNESS, LUBRICANT.

#### РЕФЕРАТ

Дмитриченко Н.Ф. Влияние контактной нагрузки на микротвердость приповерхностных слоев исследуемого материала / Н.Ф.Дмитриченко, О.Н.Білякович, А.Н.Савчук, Ю.А.Турица, А.А.Міланенко, А.И.Куц, // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2015. - Вып. 2 (32).

В статье представлены результаты исследований, проводившихся на роликах, изготовленных из стали 40X при максимальных контактных нагрузках по Герцу 450, 570 и 650 МПа. Смазочный материал - трансмиссионное масло Honda ATF-Z1.

Объект исследования – прочностные характеристики приповерхностных слоев контактных поверхностей.

Целью работы было исследование влияния трибологических процессов на прочностные характеристики приповерхностных слоев контактных поверхностей.

Метод исследования – исследование микротвердости поверхностных слоев проводили по стандартной методике на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 50г.

Определено, что интенсивный выход дислокаций на поверхность, доминирование пластической составляющей компоненты при увеличении нагрузки, существенное уменьшение расклинивающего эффекта компонентов масла вследствие разновекторной направленности силы трения и скорости качения приводят к укреплению высоких поверхностных слоев стали 40X с последующим резким падением микротвердости до 2500 МПа.

Анализ изменения микротвердости приповерхностных слоев металла при циклической нагрузке контактных поверхностей установил, что на отстающей и опережающей поверхностях при  $\sigma_{\max}$  450 МПа локализация пластической деформации в приповерхностном объеме металла в большей степени зависит от прочностных характеристик стали 40X, тогда как при  $\sigma_{\max}$  570 МПа и 680 МПа активация пластической деформации распространяется на большую объемную глубину металла вследствие уменьшения критических напряжений его разрушения при адсорбции поверхностно-активных компонентов отработанного масла и вследствие проявления упругонапряженного состояния приповерхностных слоев металла при его интенсивной пластической деформации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КОНТАКТНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ, НАГРУЗКА, ПАРА ТРЕНИЯ, ПРИРАБОТКА, ШЕРОХОВАТОСТЬ, СМАЗОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ.

#### АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 318.

Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, професор кафедри «Технології аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Україна, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Савчук Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

Турица Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: yuliya\_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

Міланенко Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

Куц Олексій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к.102.

**AUTHORS:**

Dmytrychenko Nykolay F., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 318.

Bilyakovych Oleg N., associate professor, National Aviation University, associate professor department of technologies of air-ports, e-mail: oleg65@voliacable.com, tel. (044)4067694, Ukraine, 03680, Kyiv, b. Cosmonaut of Komarova, 1, of. 1.409.

Savchuk Anatoliy N, associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Turytsia Yuliya A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: yuliya\_tur@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Milanenko Aleksandr A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: milanmasla@gmail.com, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

Kushch Aleksey I., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: kushch\_oleksiy@bigmir.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102.

**АВТОРЫ:**

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 318.

Биликович Олег Николаевич, кандидат технических, профессор, Национальный авиационный университет, профессор кафедры «Технологий аэропортов», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Украина, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409.

Савчук Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: tolik\_savchuk@bigmir.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

Турица Юлия Александровна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: yuliya\_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

Миланенко Александр Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

Кушч Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: kushch\_oleksiy@bigmir.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к.102.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Гутаревич Ю.Ф., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедры двигателей и теплотехники, Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технических наук, Национальный авиационный университет, профессор кафедры экологии та технологий аэропортов, Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Gutarevich Y.F. Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of motors and heating, Kyiv, Ukraine.

Tamargazin O.A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Aviation University, professor department ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine.