

Колесников В.А., Балицкий\* А.И., Погорелов О.А.  
г. Луганск, г. Львов\*

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЧАСТИЦ ИЗНОСА СТАЛЕЙ (ПО МОРФОЛОГИИ), ОБРАЗОВАВШИХСЯ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ

*На основе результатов собственных исследований, сделана приблизительная классификация частиц износа (по морфологии), образовавшихся в условиях сухого трения качения сталей. Проведен литературный обзор имеющейся информации о классификации металлических частиц износа, с соответствующими фотографиями и иллюстрациями.*

**Ключевые слова:** сталь, высокоазотистая сталь, трение качения, наводораживание поверхности, продукты износа, частицы износа, триботехническое материаловедение.

**Постановка проблемы.** Разрушение металлических сплавов в условиях трения, сопровождается отделением материала, который называют - частички износа или продукты износа. Под частицами износа можно понимать – «металлические частицы», которые входили в состав металлической матрицы материала (феррита или аустенита и т.д.), а под продуктами износа можем понимать, помимо частиц износа, еще и остатки смазочного материала, сульфиды, нитриды, различные неметаллические частицы, которые выкрошились в условиях трения. Следует учитывать, что в условиях трения, свойства контактируемых поверхностей меняются, по сравнению с первоначальным состоянием, особенно сильное влияние может оказывать внешняя среда (смазочный материал).

Результаты по исследованию продуктов износа, направлены на решение прикладных задач связанных с прогнозированием износостойкости материалов, а также с надежностью и долговечностью машин и оборудования.

**Цель работы** – на основании собственных данных о результатах экспериментов по выявлению износостойкости сталей сделать классификацию частиц износа образовавшихся в условиях трения качения.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Исследование частиц и продуктов износа сделано в таких работах [4 - 21].

Электронно-микроскопическое исследование частиц износа, извлеченных из различных фрикционных сочленений, позволило выявить четыре их основных вида, которые схематически представлены на рис. 1. [11, 12, 13]. Здесь же схематически показано состояние поверхностных слоёв, соответствующее образованию каждого вида частиц износа. Частицы износа в виде миниатюрных спиралей, петель, петель и гнутой проволоки (**cutting wear**) (рис. 1, а), аналогичные мелким стружкам при резании, характерны для микрорезания или абразивного износа. Неожиданное увеличение концентрации таких частиц в очередной маслянной пробе – сигнал близкого повреждения машины. Частицы такого типа образуются в результате абразивного изнашивания, когда вместе с песком присутствуют и другие виды абразива [13]. Частицы имеют ширину 2.. 5  $\mu\text{m}$  и длину 25...100  $\mu\text{m}$ .

При нормальных условиях работы большинство частиц износа имеет форму пластин разной толщины (например, **severe sliding**). На рис. 1, б состояние поверхности, приводящее к образованию таких частиц износа, взято в соответствии с теорией износа отслаиванием [12, 14]. Согласно этой теории при трении скольжения максимум плотности дислокаций, приводящих к образованию и распространению трещин, лежит не на поверхности, а на некотором расстоянии от нее, определяемом условиями трения и свойствами материала.

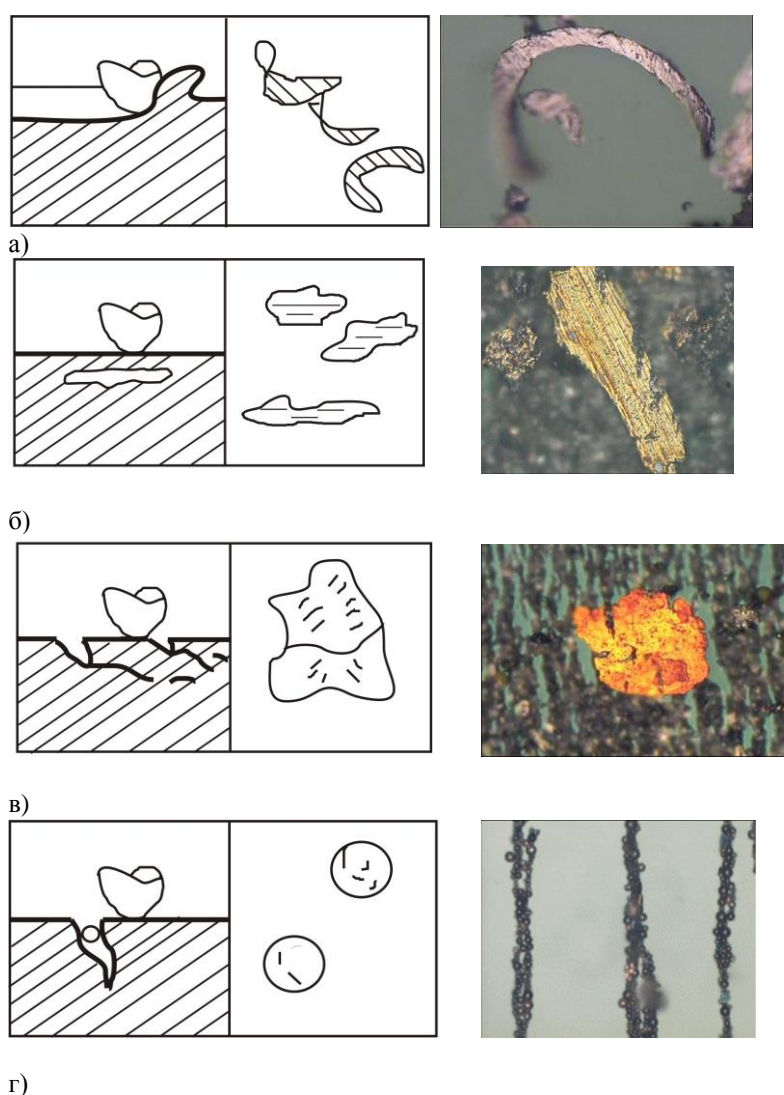
Длина у таких частиц может достигать более чем 15  $\mu\text{m}$ , а отношение длины к ширине колебаться от 5 до 30  $\mu\text{m}$ . На поверхности частиц присутствуют цвета побежалости, что свидетельствует о повышении температуры в зоне контакта [13].

Поверхностная усталость, которая является результатом очень высоких давлений, обычно приводит к образованию частиц (**bearing wear particles**), похожих на осколки (рис. 1, в), причем три их взаимно перпендикулярных размера приблизительно равны.

Эти частицы достигают размером не более 100  $\mu\text{m}$  и образуются в результате микро-выкрашивания. Такие частицы имеют гладкую поверхность и форму неправильной окружности. Отношение всей площади к толщине 10:1 [13].

При исследовании шариковых подшипников с помощью сканирующего электронного микроскопа в усталостных трещинах обнаружены мельчайшие сферические частицы (**spherical particles**) (рис. 1, з), аналогичные частицы встречаются и на стекле феррографа [12, 15]. Присутствие сферических частиц отмечается и при трении скольжения, а также при абразивной обработке поверхностей при скоростях вылета частиц, больших 100 м/с.

Наличие продуктов (частиц) износа способствует некоторому повышению коэффициента трения, в отдельных случаях коэффициент трения почти не зависит от наличия или отсутствия частиц износа, а иногда частицы износа, действуя подобно шарикам, снижают трение. Факторами, влияющими на сохранение частиц износа в зоне трения, могут являться площадь трения, наличие канавок или пазов на поверхности, коэффициент взаимного перекрытия [16].



г)  
Рис.1. Схематическое изображение основных видов частиц износа и механизма их образования [12, 13]

Согласно современным представлениям, существуют четыре типа частиц, которые образуются в условиях трения качения и усталостного износа (**rolling contact fatigue**): раздробленные (отколотые, разбитые) частицы (**microspall particles**), ламинарные (слоистые, пластинчатые, лепестковые) частицы (**laminar particles**), изрезанные (лохматые, коренастые) частицы (**chunky particles**) и сферические частицы (**spherical particles**) [18 - 21].

На рис. 2 представлены микрочастицы, которые являются результатом микровыкрашивания на ранней стадии усталости в условиях трения качения. Удаление этих частиц с поверхности материала обычно вызывает небольшой «узор» без видимой точечной коррозии или выкрашивания. По форме данные частички напоминают «пластины». Размеры их колеблются от 10 до 30  $\mu\text{m}$ .

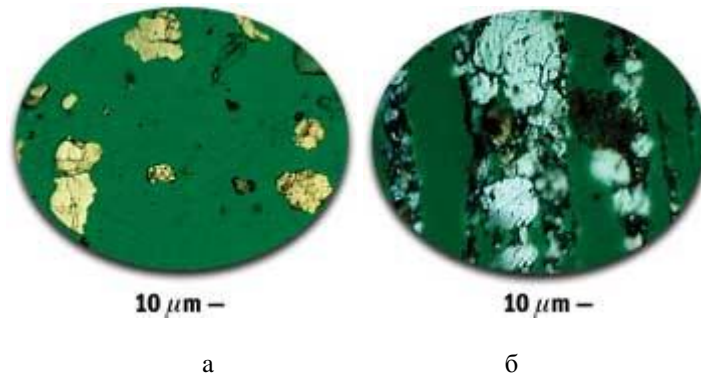


Рис. 2. Отколотые частицы (**microspall particles**). Фотография через цветной фильтр микроскопа (**filtergrams**) – а. Феррограмма (**ferrogram**) - б [18]

Ламинарные частицы (**laminar fatigue particles**) (рис. 3) наиболее характерны для подшипников качения, они образуются в результате усталостного износа. Эти частицы могут быть разбиты на более мелкие (рис. 3, б), путем дробления в зоне контакта трибосопряжения. Размер частиц такого типа более 50  $\mu\text{m}$ .

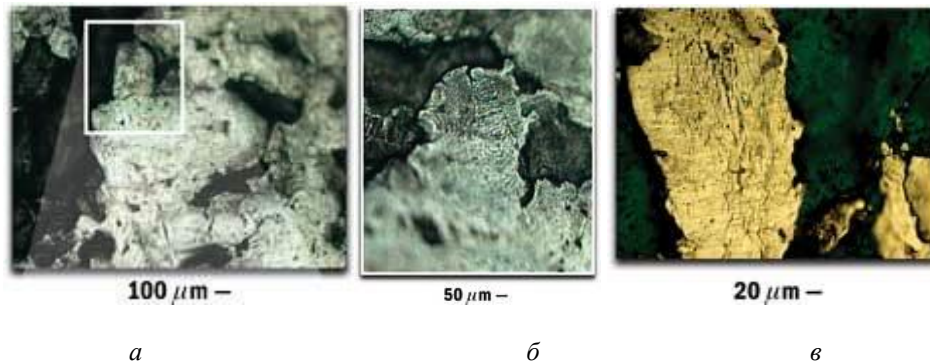


Рис. 3. Ламінарні (**laminar fatigue particles**) частки підшипників кочення

Рис. 3. Ламинарные (**laminar fatigue particles**) частицы подшипников качения [18]

В таких частицах присутствуют отверстия. Типичный размер частиц варьируются от 20 до 50  $\mu\text{m}$ , а отношение наибольшего размера к толщине соотносится как 30:1 [13].

Изрезанные глубоко отслаиваемые частицы (**chunky deep-spalling particles**) представлены на рис. 4. Их образование является результатом точечного выкрашивания и дальнейшего ухудшения поверхности трения. На данном этапе, усталостные трещины

проникают и распространяются вглубь материала, под углом примерно 45 градусов к направлению скольжения [20]. Таким образом, распространения усталостных трещин изменяет направление разрушения материала. Наличие частиц, такого вида является важным «сигналом», характеризующим возрастание интенсивности разрушения.

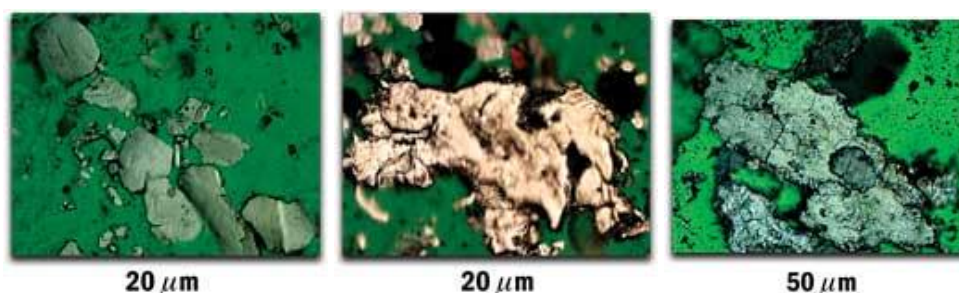


Рис. Глибоко зрізані відшаровані частинки

Рис. 4. Изрезанные глубоко отслаиваемые частицы

Для частиц такого типа имеются две физические особенности, которые образуются в результате движения частицы между контактирующими телами. Большинство частиц имеют толщину от 5 до 20  $\mu\text{m}$ , а иногда даже толще. Они и имеют низкое соотношение сторон 10-к-1, как показано на рис. 4, а и 4 б. В результате усталостного изнашивания, целостность частицы разрушается, в результате сколов. На границе контакта металл-металл происходит нагрев частицы с образованием на её поверхности окислов.

Еще один вид частиц образовавшихся в результате глубокого выкрашивания это частицы внешним видом напоминающие «галечку» (**pebble-like particles**) (рис. 5). Этот вид частиц при разрушении не испытывал давления со стороны контактирующих поверхностей. Галечно-подобные частицы имеют размеры от 10  $\mu\text{m}$  до нескольких сотен микрометров и соотношение сторон 5-к-1 и 1-к-1.

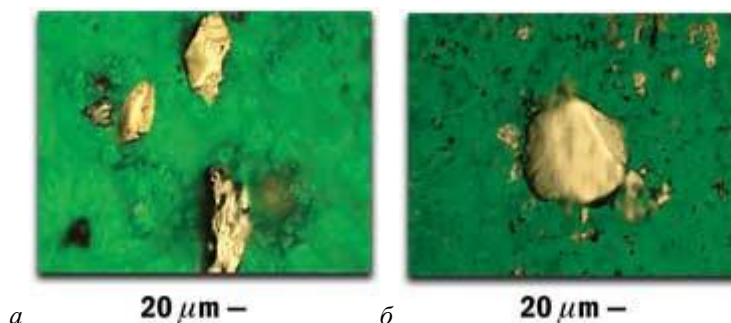


Рис. 5. Галечно-подобные частицы извлеченные из масляной смазки подшипников качения, размер которых варьируется от 50  $\mu\text{m}$  до 200  $\mu\text{m}$ . Соотношение сторон 5-к-1- а. Соотношение сторон 1-к-1- б.

Сферические усталостные частицы (**spherical fatigue particles**) (рис. 6) образуются не только в начале распространения усталостной трещины, но и от других видов износа на разных стадиях. Небольшие сферические частицы образуются размером менее 5  $\mu\text{m}$  при износе подшипников качения. Частицы размером более 5  $\mu\text{m}$  характерны для других видов износа и разрушения, например, при кавитации [21]. На рис. 6. можно увидеть длинные нити шариков. Наличие этих маленьких сферических частиц указывает о наступлении ранней точечной коррозии на поверхности.

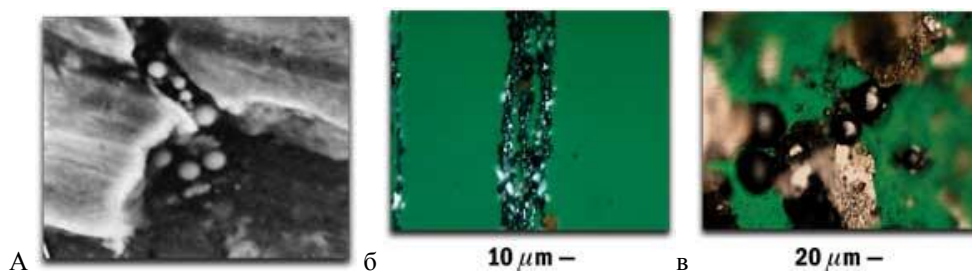


Рис. 6. Сферические усталостные частицы (**Spherical Fatigue Particles**) Небольшие сферические частицы

Подсчитано, что во время отказа подшипника качения, в результате усталостного износа создаются несколько миллионов частиц сферической формы. Как полагают большие сферические частицы (более  $10\ \mu\text{m}$ ) не создают усталостных трещин. Они создаются в условиях внешнего трения, сварки, появления борозд и т.д. Если они смешиваются с крупными ламинарными или изрезанными частицами, то они образуются на глубокой стадии выкрашивания (рис. 5, в). Размеры крупных сферических частиц могут колебаться от  $50\ \mu\text{m}$  до  $100\ \mu\text{m}$ . Поверхность этих частиц демонстрирует признаки перегрева и плавления.

Еще один вид частиц износа, которые образовались в условиях разрушения зубчатых колес - **gear wear** [13]. Такие частицы имеют много общего с частицами, которые образовались при износе подшипников качения. В зависимости от механизма образования частицы соотношение между длиной и толщиной колеблется 4:1 и 10:1. В результате растягивающих напряжений на поверхности передач возникают усталостные трещины, которые распространяются вглубь зубьев до выкрашивания частиц.



Рис. 7. Частица образовавшаяся при износе шестерен и зубчатых колес в редукторе

Повреждения или скоринг (**scoring particles**) частицы вызваны слишком высокими нагрузками и / или скоростями. Частицы, как правило, обладают шероховатой поверхностью. Некоторые из крупных частиц имеют на своей поверхности страты (**striations**), что указывает на скольжение в результате контакта. В результате повышения температуры в трибосопряжении, возникают задиры, образуются окислы, и появляются цвета побежалости, которые окрашивают поверхность частицы, например, в синий цвет.

#### Результаты собственных исследований.

Химический состав и свойства исследуемых сталей приведены в табл. 1. Высокоазотистая сталь типа P900\* имела аустенитную микроструктуру (рис.1,а).

Трибологические испытания проводили на стационарной лабораторной установке СМТ – 1 (2070). Скорость скольжения нижнего ролика составляла 1480 оборотов в минуту, а верхнего 1240 (проскальзывание составляло 15%). Нижний ролик (диаметр 42 мм) изготовлен из стали 1.0503 (Германия) С 45/Ск 45 (DIN), 1045 (США) (HRC = 60 ед.), аналог стали 45. А верхний ролик из высокоазотистой стали P900 твердостью 55 HRC. Линейная скорость верхнего ролика составляла 2,27 м/с, а нижнего 3,08 м/с.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей

№ п/п	Марка	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	N
1.	P900*	0.06	0.52	19.4	17.5	0.13	2.08	0.14	0.97
2.	Сплав 2	0.08	0.38	19.0	17.8	1.18	0.13	0.12	0.58
3.	1.0503**	0.42-0.5	0.17-0.37	–	0.25	0.25	–	–	–

- \* т.е. сталь типа P900
- \*\*S до 0.04%, P до 0.035, C до 0.25, Cu до 0.25, As до 0.08.

Ширина роликов составляла 1 см. Потери массы образцов определяли взвешиваем на аналитических весах RADWAG WAA 160 с точностью 0,0001 г. Структуру сталей исследовали металлографическим, рентгеновским и электронно-микроскопическим методами анализа. Структурно-фазовый анализ проводили на установке ДРОН-3, в излучении ( $CuK_{\alpha}$ ).

Наводороживание сплавов проводили электролитическим способом при плотности тока 0,5 А на см<sup>2</sup>, в растворе серной кислоты.

Исследование продуктов износа проводили с помощью микроскопа Neophot 2 с подключением к нему ноутбука и цифровой камеры Canon EOS 30D. Это позволило определить размеры частичек износа и сфотографировать их в различных режимах освещения. Поверхности трения снимали на электронном микроскопе EVO-40XVP с системой микроанализа INCA Energy 350.

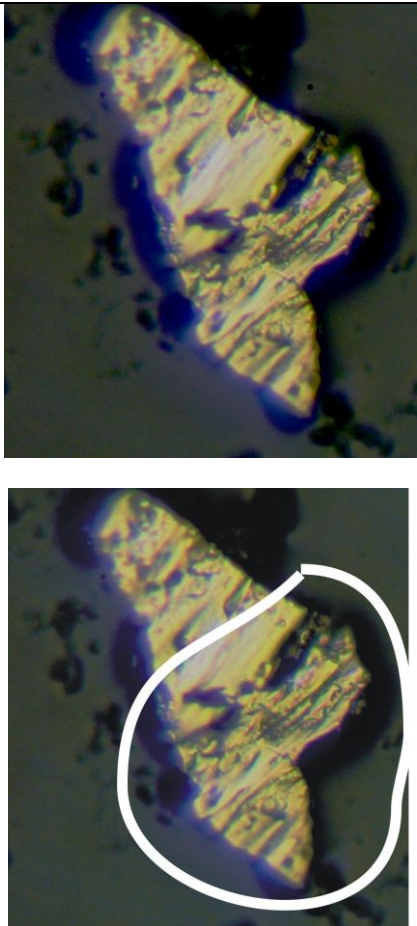
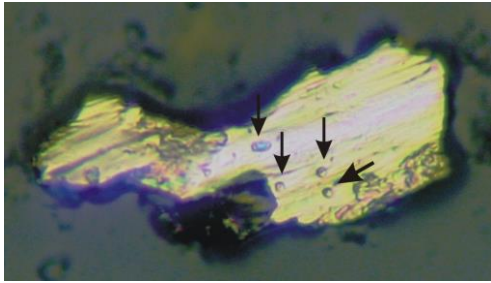
Частицы износа образовались в условиях трения качения наводороженной стали и конструкционной стали. Учитывая, что аустенитные стали, являются немагнитными, полученные частички износа, сепарировали и отделяли магнитом.

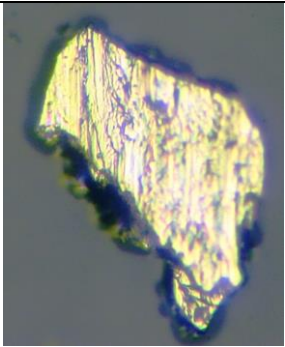
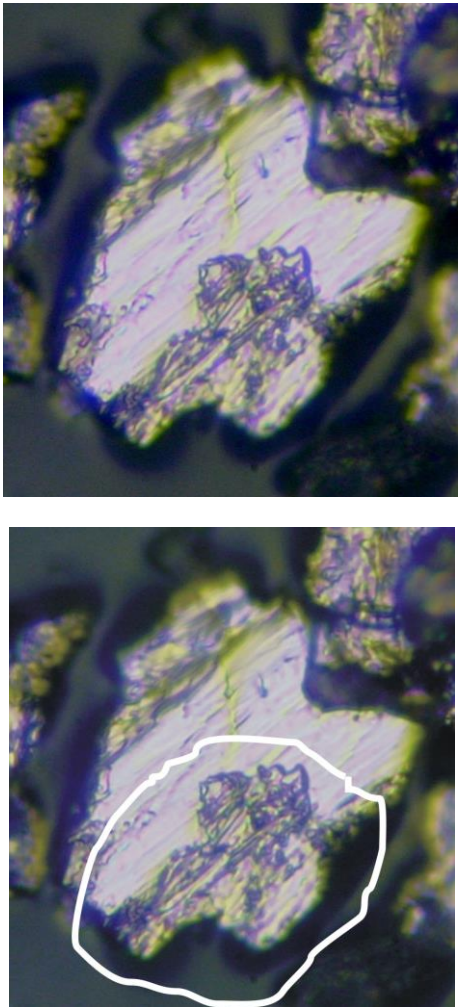
На основе результатов собственных исследований введем классификацию частиц износа по морфологии, которые образовались в условиях трения качения (табл. 2).

Таблица 2

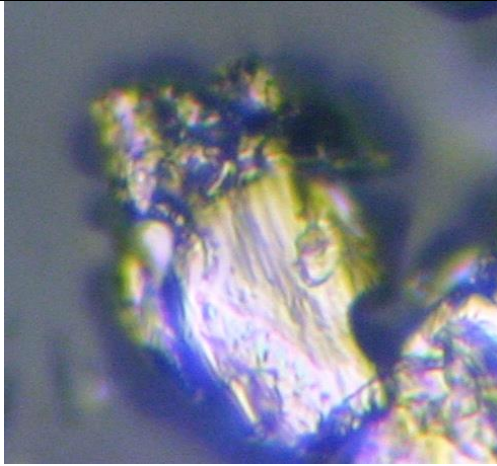
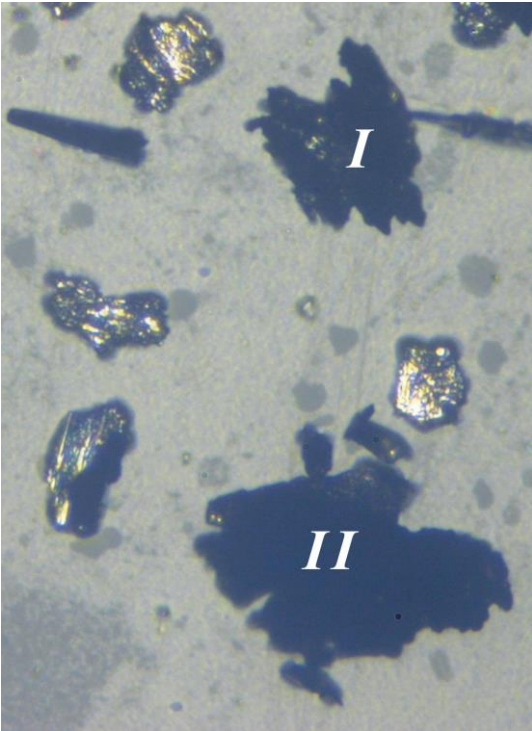
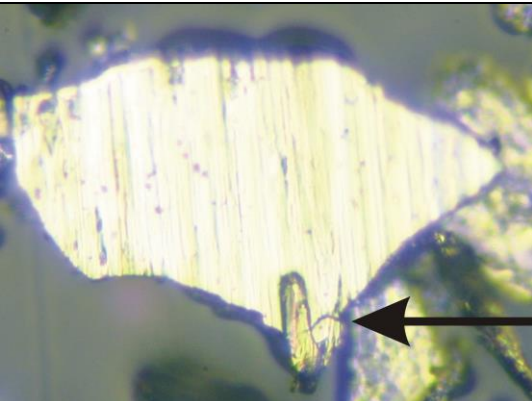
Классификация частиц износа (по морфологии) образовавшихся в условиях трения скольжения

№ п/п	Наиболее типичный вид частички износа	Краткое описание
1.		Частицы износа, которые имеют плоскую форму поверхности (90 % площади), без ступенчатого микро-рельефа. При попадании света микроскопа, они имеют металлический блеск (желтый или белый цвет). Через всю частицу проходят линии (в

		<p>одном направлении). Внешний край частички на фотоснимке не имеет «рваного микрорельефа»</p>
2.		<p>Частицы, которые на своей поверхности имеют ступенчатый характер разрушения (например, 40 % от всей площади). Разрушение прошло, как хрупкое, а не пластичное. Скорее всего, этот вид разрушения, более энергетически затратный, чем у частиц с гладкой поверхностью.</p>
3.		<p>Частицы, которые на своей поверхности имеют следы ямок (указаны черными стрелочками), предположительно в ямках находились неметаллические частицы, которые могли быть концентраторами и инициаторами зарождения и распространения трещин.</p>
4.		<p>Частицы, которые на своей поверхности имеют сложный микрорельеф, который не</p>

		<p>является ярко-выраженным ступенчатым и не является плоским (гладким) микрорельефом. На поверхности частицы отсутствует гладкий микрорельеф. <b>Площадь такого микрорельефа приближается к 100 %.</b></p>
5.		<p>Частица, у которой на поверхности имеется сложный характер микрорельефа (нижняя часть частицы), который существенно отличается от ступенчатого микрорельефа. Данный вид разрушения очень похож на тепловое схватывание, произошедшее в результате вырывания материала. Чем больше частиц с таким микрорельефом, тем интенсивнее происходили процессы теплового схватывания.</p>



6.		<p>Частица, у которой на поверхности имеется сложный характер микрорельефа (верхняя часть частицы). Видны следы излома.</p>
7.		<p>Частица, у которой на поверхности внешний контур поверхности имеет сильно разорванный микрорельеф. Такие частички обозначены римскими цифрами <i>I, II</i>.</p>
8.		<p>Частички, у которых зафиксированы трещины на боковой поверхности.</p>

Помимо данной классификации, можно ввести и другие виды классификаций табл. 3.

Таблица 3

Классификация частиц износа

№ п/п	Вид классификации	Примечание
1.	<b>ПО МОРФОЛОГИИ</b>	Подробное изучение вида морфологии позволит идентифицировать стадию процесса разрушения поверхностного слоя материала в условиях изнашивания
2.	<b>ПО РАЗМЕРАМ</b>	В самом общем случае позволит охарактеризовать вид разрушения
3.	<b>ПО ВИДУ РАЗРУШЕНИЯ</b>	Можно ввести энергетические критерии разрушения
4.	<b>ПО МОРФОЛОГИИ, РАЗМЕРАМ И ВИДУ РАЗРУШЕНИЯ</b>	Позволит ввести комплексный подход по прогнозированию поведения материала детали в условиях трения

Разрушение материала в условиях трения качения, можно рассматривать и с механической точки зрения, характерно для крупных частиц износа, на стадии процесса приработки, когда неровности одной детали цепляются за неровности второй детали.

Образование частиц износа может происходить в результате многократного взаимодействия поверхностных слоев детали, когда одни и те же участки поверхности контактируют между собой множественное число раз. В результате частица материала отделяется от поверхности в условиях усталостного износа. Зная объемные величины продуктов износа можно вычислить, например, какой объем материала отделился за один оборот ролика.

Также можно ввести тесную корреляцию между микроструктурой сплава и размерами частиц износа. Для некоторых участков возможно, размер частиц износа будет коррелировать с параметрами микроструктуры, например с размером зерен. Следовательно, разрушение материала произошло частично по границам зерен. По нашему мнению такой вид разрушения будет характерен для катастрофических видов износа (например, в условиях теплового или термического схватывания материала), при повышенных нагрузках и удельных давлениях. Однако, известно, что подповерхностные слои материала, существенным образом отличаются от слоя материала матрицы [22, 23].

Необходимо учесть, что частица износа может разрушаться, не только отделяясь от материала детали, но и взаимодействуя с поверхностными слоями детали и другими частицами износа. Очевидно, что в этом случае морфология частицы износа будет существенно отличаться от той, которую частица приобрела, просто выкрошившись и отделившись от поверхности.

Пятно контакта на поверхности трения может менять своё расположение в зависимости от процессов, протекающих в зоне трения. Например, скорость скольжения и удельные давления будут оказывать существенное влияние на интенсивность процессов разрушения. Одновременно, в поверхностных и подповерхностных слоях будут происходить изменения: образование пленок окислов, образование новых структурных составляющих (например, для метастабильных сплавов – возможно образование мартенсита деформации), наклеп поверхностного слоя, перестройка структурных составляющих, перенос материала от одной поверхности на другую.

Также следует учитывать, что в условиях трения качения и скольжения при повышении температуры, могут развиваться процессы теплового схватывания, которые сопровождаются вырыванием фрагментов материала.

Данные аспекты разрушения рассматривались применительно, только к сухому трению, если же в процессе трения присутствует еще смазочный материал, тогда необходимо учитывать его влияние на данные процессы [23, 24].

Предварительное наводороживание сплавов или наводороживание сплавов в условиях трения, также оказывает существенное влияние на интенсивность процессов разрушения и морфологию продуктов износа [1 -3, 25 - 29].

Создание новых материалов, таких как, наноструктурированные стали [29 - 33], позволит снизить интенсивность износа, а также изменит саму морфологию продуктов износа. Очевидно, что размер зерен наноструктурированных сталей, даже в случае разрушения материала, по границам зерен будет существенным образом отличаться от разрушения обычных сталей.

**Выводы.** Приведена классификация продуктов износа сталей (учитывающая их морфологию), которые образовались в условиях трения качения.

### Литература

1. 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. (<http://www.springerlink.com/content/k8k1g827475q4251>).
2. Kolesnikov V.O. Investigation of the wear products of high-nitrogen steel after hydrogenation // *Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa XA/2010. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture – OLPAN*, 2010, 10A,271 - 275 p. <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot10a/Kolesnikov.pdf>.
3. Колесников В.А., Балицкий А.И., Хмель Я. Особенности морфологии продуктов износа высокоазотистых сталей до наводороживания и после, в условиях сухого трения // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля* // Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2009. – № 6(136). – Частина 2. – С.185 - 192.
4. Гаркунов Д.Н. Триботехника (Износ и безизносность) Учебник. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: «Издательство МСХА», 2001. - 616 с.
5. Маленко П.И. Анализ современных методов диагностики состояния поверхностей трущихся элементов узлов трения машин // *Сборник научных трудов по итогам 8-ой международной научно-технической Интернет-конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении»*. Брянск, 2008. – С. 44 -47.
6. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учебник для вузов/И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; Под ред. Д.Г. Громаковского; Самар. гос. техн. ун-т. Самара, 2000. 268 с.
7. Безвербный А.В. Имитационно-диагностическая модель кинетики накопления в системе смазки судового дизеля частиц продуктов износа / А.В. Безвербный, А.В. Надежкин // *Транспортное дело России*. – Спб. – 2006. - № 5. – С. 111 – 121.
8. Надежкин А.В. Структурно-функциональная схема диагностического комплекса при решении задач трибомониторинга судовых дизелей // *Актуальные проблемы раз-*

вита и эксплуатации поршневых двигателей в транспортном комплексе Азиатско-тихоокеанского региона // Материалы Международной научно-технической конференции «Двигатели 2008». - С. 291 – 296.

9. Dmitriev A.I. Multilevel simulation of friction and wear using numerical methods of discrete mechanics and phenomenological theory // A.I. Dmitriev, A. Yu. Smolin, V.L. Popov and S.G. Psakhie . – Physical Mesomechanics. – 2008. - № 4. – С. 15 – 24.

10. Швецов А.Н. Частицы износа в контактных парах // Современные наукоёмкие технологии. – 2005. - № 11. – С. 96 – 97.

11. Scott D., Westcott V.C. Predictive Maintenance by Ferrography. – Wear, 1977, v. 44, № 1.

12. Марченко Е.А. О природе разрушения поверхности металлов при трении. М., Наука, 1979. - 120 С.

13. R. Dalley Lubricant/Wear Particle Analysis [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.predictusa.com/pdf-files/oilandwear.pdf>.

14. Sun N.P. The Delamination Theory of Wear. – Wear, 1973, v. 25, N1.

15. Scott D., Seifert W.W., Westcott V.C. The Particles of Wear. – Scientific American, 1974, v. 230, N 5.

16. Чичинадзе А.В. Полимеры в узлах трения машин и приборов, М. Машиностроение 1988, 328 с.

17. Методы диагностики машин по анализу работающего масла [Электронный ресурс]. ООО Химотолог. Режим доступа: [http://himmotolog.ru/?page\\_id=629](http://himmotolog.ru/?page_id=629).

18. Dr. Jian Ding Determining fatigue wear using wear particle analysis tools [Электронный ресурс]. Machinery lubrication . Режим доступа: <http://www.machinerylubrication.com/Read/526>.

19. Pall Corporation. (1994). *Contamination Control and Filtration Fundamentals*. East Hill, New York.

20. Jin, X. and Kang, N. (1989). *A Study on Rolling Bearing Contact Fatigue Failure by Macro-Observation and Micro-Analysis*. Proceedings of the International Conference on Wear of Materials, Denver, Colorado.

21. Anderson, D. (1982) *Wear Particle Atlas* (Revised). Report NAEC. Naval Air Engineering Center, Advanced Technology Office, Support Equipment Engineering Department. pp. 92-163.

22. 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. <http://www.itee.radom.pl>.

23. 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 2. The generalized scheme of the steels and grey-iron behaviour during sliding friction // Problemy eksploatacji.- 3 (70)/2008.-s.91-102. <http://www.itee.radom.pl>.

24. Триботехнические свойства азотистых марганцевых сталей в условиях трения качения при добавлении в зону контакта порошков (GaSe)  $[x]In[1-x]$  [Текст] / А. А. Балицкий, В. А. Колесников, О. Б. Вус // Металлофизика и новейшие технологии. - 2010. - Т. 32, N 5. - С. 685-695.

25. Аптекарь, М. Д. Трибохимическоматериаловедческий вектор исследований работы узлов трения [Текст] М. Д. Аптекарь., А. И. Балицкий, **В. А. Колесников**// Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 12-13 травня 2009 р”. Краснодон, 2009. С. 95 - 99.

26. Балицкий А.И., Колесников В.А., Хмель Я. Исследование продуктов износа высокоазотистых сталей // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції “Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 12-13 травня 2009 р”. Краснодон, 2009. С. 105 - 110.

27. Колесников В.А., Калинин А.В., Балицкий А.И., Хмель Я. Необходимость учета влияния водорода на износостойкость материалов в тормозных парах трения автомобилей // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2009. – № 11(141). – Частина 1. – С.62 - 66.
28. Колесніков В.О., Калінін О.В., Манченко М. В. Вплив воденьвмісних середовищ на зношування вузлів тертя навантажених механізмів / XXI відкрита науково-технічна конференція молодих науковців і спеціалістів КМН – 2009 // Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – Львів. – 2009. – С.254 – 257.
29. Колесников В.А. Исследование триботехнических свойств высокоазотистых марганцевых сталей после наводороживания // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Електронне наукове фахове видання, 2009. – № 5 <http://nbuv.gov.ua/e-journals/Vsunud/2009-5E/09kvaspn.htm>.
30. Колесников В.А., Балицкий А.И. Повышение водородной стойкости холоднодеформированных высокоазотистых сталей – как резерв ресурсосбережения материалов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Луганськ: Видавництво СХУ.- 2011. – С. 81 – 87. Режим доступа: [http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Res\\_tech/2011/kolebali.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Res_tech/2011/kolebali.pdf).
31. Колесников В.А. Наноструктурированные стали и сплавы. Часть 1. Общие сведения // Наукові записки Даліського університету електронний журнал Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2011. – № 2. Режим доступу: [http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_2/11kvasis.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_2/11kvasis.pdf).
32. В.А. Колесников Новые наноструктурированные высокоазотистые марганцевые стали // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Електронне наукове фахове видання, 2009. – № 5. Режим доступа: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/vsunud/2009-5E/09kvavms.htm>. V.A. Kolesnikov. New nanostructured of High nitrogen manganese steel // Visnik of the Volodymyr Dal East Ukrainian National University, 2009. – № 5 <http://nbuv.gov.ua/e-journals/Vsunud/2009-5E/09kvavms.htm>.
33. Колесников В.А., Балицкий А.И. Новые наноструктурированные сплавы – очередной шаг к экологической безопасности планеты // Збірник наук. Праць СХУ ім. В. Даля, № 1 (2). Прикладна екологія. - Луганськ: вид-во СХУ ім. В. Даля, 2010.– С. 137 - 142.

*Колесніков В.О., Балицький О.І., Погорелов О.О. Класифікація частинок зносу сталей (за морфологією), що утворилися в умовах тертя кочення.*

*На основі результатів власних досліджень, зроблена приблизна класифікація частинок зносу (по морфології), що утворилися в умовах сухого тертя кочення сталей. Проведено літературний огляд наявної інформації про класифікацію металевих частинок зносу, з відповідними фотографіями та ілюстраціями.*

**Ключові слова:** *сталь, високоазотиста сталь, тертя кочення, наводнення поверхні, продукти зносу, частки зносу, триботехнічне матеріалознавство.*

*Kolesnikov V.O., Balitskii O.I., Pogorelov O.O. The classification of particles wear of steel (for morphology) formed under conditions rolling friction.*

*Based on the results of our research, made a rough classification of all vessels of the wear particles (for morphology) formed under conditions of dry friction bearing steels. Performed a literature review of available information on the classification of metallic wear particles, with relevant photos and illustrations.*

**Key words:** *steel, high-nitrogen Steels, rolling friction, surface hydrogenation, wear products, wear particles, tribological materials science.*

**Колесніков В.О.,** к.т.н., доц., зав. кафедри інженерних дисциплін, зам. декана з наукової роботи Краснодонського факультету інженерії та менеджменту СХУ ім. В.Даля,

**Балицький О.І.**, д.т.н. проф., зав. відділом водневої стійкості матеріалів Фізико механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів.

**Погорелов О.О.**, д.т.н. проф., кафедри комп'ютерних наук СНУ ім. В.Даля.

*Рецензент: Г.М.Кожем'якін, зав. каф. мікро- та наноелектроніки, д.т.н., проф., сумісник кафедри прикладного матеріалознавства*

*Рецензент: Ульшин В.О. докт.техн.наук, професор СНУ ім. В.Даля*

*Стаття подана  
12.11.11*

Вітерок: 15.10.2019, 16:43  
Діагн. Дан. Гісто | RSS



## НАУКОВА БІБЛІОТЕКА Східноукраїнського національного університету імені Володимира Дала



### Меню сайту

- Новини
- Про бібліотеку
- Інформаційні ресурси
- Послуги та сервіси
- Передплачені бази даних
- На допомогу науковцям
- На допомогу освітньому процесу
- На допомогу куратору
- Методична робота
- Публікації співробіт...
- Фотоальбоми
- Зворотний зв'язок
- Інші віртуальні ресурси

### Наукові вісті Далівського університету

Електронне наукове фахове видання

2019 р.	№ 16			
2018 р.	№ 14	№ 15		
2017 р.	№ 12	№ 13		
2014 р.	№ 11			
2013 р.	№ 9	№ 10		
2012 р.	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
2011 р.	№ 2	№ 3	№ 4	
2010 р.	№ 1			

### SEO оптимізація

### Вхід на сайт



### Пошук

### Календар

« Жовтень 2019 »

Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд
1	2	3	4	5	6	

Наукові вісті Далівського університету  
№4 2011 рік.

ЗМІСТ  
CONTENTS

PDF, full text	
	<b>Вашенко В.Ю., Зелік М.Ю., Датченко О.О.</b> <b>МОЖЛИВОСТІ ПАКЕТУ АВАРІЙНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ERD COMMANDER</b>
	<b>Вашенко В.Ю., Зелік М. Ю., Датченко О.О.</b> <b>СЛОЖНОСТИ И НЕДОСТАТКИ КОНТРОЛЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ</b>
	<b>Вашенко В.Ю., Мазур В. А.</b> <b>ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ</b>
	<b>Вильховецкий А.В., Сафронов К.Н.</b> <b>СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, МОНИТОРИНГА И ЗАЩИТЫ ДЛЯ НИЗКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID</b>
	<b>Гапонов А.В., Додонов А.В., Дядичев А.В., Белозерова С.А.</b> <b>ОФФЛАЙНОВЫЕ WEB ПРИЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ HTML5</b>
	<b>Гапонов А.В., Приходько А.В.</b> <b>МЕТОДЫ ВВОДА ДАННЫХ НА СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВАХ С СЕНСОРНЫМ ЭКРАНОМ</b>
	<b>Грязев А.А., Терещенко Т.М.</b> <b>ВНЕДРЕНИЕ СЕТЕЙ WIMAX В ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОРГОВЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ</b>
	<b>Дядичев В.В., Додонова В.В.</b> <b>КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ БУХГАЛТЕРСЬКОГО ОБЛІКУ</b>
	<b>Дядичев В.В., Дремач М.Є., Ніколаєвич Р.О.</b> <b>СТАНДАРТИ ТА ВИМОГИ ДО ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТИ</b>
	<b>Дядичев В.В., Капуста Л.В.</b> <b>СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТИ</b>
	<b>Дядичев В.В., Кильдейчик А.А., Пугачева Е.А.</b> <b>ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО УЗЛА ПЛАСТИКАЦИИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЛИТЬЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ</b>
	<b>Дядичев В.В., Сафронов К.М.</b> <b>МЕТОДИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СТРУКТУР</b>
	<b>Дядичев В.В., Стоянченко С.С.</b> <b>АНАЛІЗ ТИПОВИХ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СТРУКТУР</b>
	<b>Дядичев В. В., Погорелов О.О.</b> <b>АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТИ</b>
	<b>Дядичев В.В., Терещенко Т.М., Вільховченко Є.О.</b> <b>ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ БУХГАЛТЕРСЬКОГО ОБЛІКУ</b>
	<b>Колесников В. А., Балицкий А. И., Погорелов О. А.</b> <b>КЛАССИФИКАЦИЯ ЧАСТИЦ ИЗНОСА СТАЛЕЙ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В УСЛОВИЯХ ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ, ПО МОРФОЛОГИИ</b>
	<b>Колесников А.В., Ващенко В.Ю.</b> <b>РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ</b>
	<b>Колесников А. В., Верховод Н. В.</b> <b>РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОДСИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА</b>
	<b>Колесников А.В. Гапонов А.В.</b> <b>АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА</b>
	<b>Колесніков А.В., Глухова Т.Л.</b> <b>СУЧАСНІ ЗАСОБИ І МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОКУМЕНТООБІГУ</b>
	<b>Колесніков А.В. , Деревянко С.О., Левицький Ю.Г., Ромашка Е.В.</b> <b>РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РОБОТИ ПРИЙМАЛЬНОЇ КОМПІСІЇ У ВІЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ</b>



	<p>Колесніков А.В., Жаріков В.В.  <u>ПОШУКОВА СИСТЕМА ОБРОБКИ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ, НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ РОБІТ ТА ДЕРЖАВНИХ СТАНДАРТІВ У ГАЛУЗІ ВИЩОЇ ОСВІТИ</u></p>
	<p>Колесніков А.В., Жуковський А.В.  <u>ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБЛІКУ НАУКОВО- ДОСЛІДНИХ, НАУКОВО-МЕТОДИЧНИХ РОБІТ І ДЕРЖАВНИХ СТАНДАРТІВ У ГАЛУЗІ НАУКИ ТА ВИЩОЇ ОСВІТИ</u></p>
	<p>Колесников А.В. , Ромашка Е.В.  <u>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МЕТОДАМИ ГОЛОСОВОЙ БИОМЕТРИИ</u></p>
	<p>Колесников А.В., Рыбцев И.В.  <u>МОДЕЛЬ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ РЕГИОНА</u></p>
	<p>Летюка И.А., Терещенко Т.М.  <u>АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ АВТОРСКИХ ПРАВ</u></p>
	<p>Летюка И.А.  <u>АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ CASE-СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ.</u></p>
	<p>Пугачева Е.А., Кильдейчик А.А., Мазур В. А, Беликов М. Г.  <u>ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ WINDOWS</u></p>
	<p>Шишкин Р.В., Канаев С.Ф., Добрицын В.А.  <u>ТЕНЗОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ</u></p>
	<p>Шулика А.Г., Шулика О.Ю., Дядичев А.В.  <u>ВНЕДРЕНИЕ SCADA-СИСТЕМЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ДОБЫЧИ ВОДЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ</u></p>

Колесников В.А., Балицкий А.И., Погорелов О.А. Классификация частиц износа сталей (по морфологии), образовавшихся в условиях трения качения // Научные вестники Дальневосточного университета // Электронный журнал СВУ им. В.Даля, 2011. – № 4.

Класифікація частинок зносу сталей (по морфології), що утворилися в умовах тертя кочення.

Classification of wear particles of steels (according to morphology) formed under rolling friction.

*Колесніков В.О., Балицький О.І., Погорелов О.О. Класифікація частинок зносу сталей (за морфологією), що утворилися в умовах тертя кочення.*

*На основі результатів власних досліджень, зроблена приблизна класифікація частинок зносу (по морфології), що утворилися в умовах сухого тертя кочення сталей. Проведено літературний огляд наявної інформації про класифікацію металевих частинок зносу, з відповідними фотографіями та ілюстраціями.*

***Ключові слова:** сталь, високоазотиста сталь, тертя кочення, наводнення поверхні, продукти зносу, частки зносу, триботехнічне матеріалознавство.*

*Kolesnikov V.O., Balitskii O.I., Pogorelov O.O. The classification of particles wear of steel (for morphology) formed under conditions rolling friction.*

*Based on the results of our research, made a rough classification of all vessels of the wear particles (for morphology) formed under conditions of dry friction bearing steels. Performed a literature review of available information on the classification of metallic wear particles, with relevant photos and illustrations.*

***Key words:** steel, high-nitrogen Steels, rolling friction, surface hydrogenation, wear products, wear particles, tribological materials science.*

[http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011\\_4/11kvakpm.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Nvdu/2011_4/11kvakpm.pdf)

[http://library.snu.edu.ua/index/naukovi\\_visti\\_dalivskogo\\_universitetu/0-63](http://library.snu.edu.ua/index/naukovi_visti_dalivskogo_universitetu/0-63)

[https://www.researchgate.net/publication/336563916\\_Naukovi\\_visti\\_Dalivskogo\\_universitetu\\_No4\\_2011\\_rik](https://www.researchgate.net/publication/336563916_Naukovi_visti_Dalivskogo_universitetu_No4_2011_rik)

[https://kolesnikov.ucoz.com/load/naukovi\\_visti\\_dalivskogo\\_universitetu\\_4\\_2011\\_rik/1-1-0-146](https://kolesnikov.ucoz.com/load/naukovi_visti_dalivskogo_universitetu_4_2011_rik/1-1-0-146)

[https://researchworker.ucoz.ru/load/publikacii/naukovi\\_visti\\_dalivskogo\\_universitetu\\_4\\_2011\\_rik/3-1-0-264](https://researchworker.ucoz.ru/load/publikacii/naukovi_visti_dalivskogo_universitetu_4_2011_rik/3-1-0-264)

[https://www.researchgate.net/publication/336564032\\_Kolesnikov\\_VA\\_Balickij\\_AI\\_Pogorelov\\_OA\\_Klassifikacija\\_chastic\\_iznosa\\_stalej\\_po\\_morfologii\\_obrazovavsihsa\\_v\\_usloviah\\_trenia\\_kace\\_nia\\_Naukovi\\_visti\\_Dalivskogo\\_universitetu\\_Elektronij\\_zurnal\\_SNU\\_im\\_VDala\\_20](https://www.researchgate.net/publication/336564032_Kolesnikov_VA_Balickij_AI_Pogorelov_OA_Klassifikacija_chastic_iznosa_stalej_po_morfologii_obrazovavsihsa_v_usloviah_trenia_kace_nia_Naukovi_visti_Dalivskogo_universitetu_Elektronij_zurnal_SNU_im_VDala_20)

[https://kolesnikov.ucoz.com/load/klassifikacija\\_chastic\\_iznosa\\_stalej\\_po\\_morfologii\\_obrazovavshikhsja\\_v\\_uslovijakh\\_trenija\\_kachenija/1-1-0-147](https://kolesnikov.ucoz.com/load/klassifikacija_chastic_iznosa_stalej_po_morfologii_obrazovavshikhsja_v_uslovijakh_trenija_kachenija/1-1-0-147)

[https://researchworker.ucoz.ru/load/publikacii/klassifikacija\\_chastic\\_iznosa\\_stalej\\_po\\_morfologii\\_obrazovavshikhsja\\_v\\_uslovijakh\\_trenija\\_kachenija/3-1-0-265](https://researchworker.ucoz.ru/load/publikacii/klassifikacija_chastic_iznosa_stalej_po_morfologii_obrazovavshikhsja_v_uslovijakh_trenija_kachenija/3-1-0-265)