

УДК 621.891

DOI: 10.18372/0370-2197.3(104).18982

В. І. ДВОРУК

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна,

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНОГО РОЗМІРУ АБРАЗИВНИХ ЧАСТОК ГРУНТУ НА ЗАКОНОМІРНОСТІ РУЙНУВАННЯ НИЗЬКОЛЕГОВАНОЇ СТАЛІ ПРИ ЗНОШУВАННІ

Наведено результати вивчення закономірностей руйнування та їх впливу на зносостійкість низьколегованої сталі 65Г у незміцненому стані, а також після зміцнення термічною та електроерозійною обробкою при русі в ґрунтах різного фракційного складу. Підтверджено, що в таких умовах на поверхні зношування реалізується явище наявності критичного розміру абразивних частинок (CPS). Роль геометричного розміру частинок у формуванні зносостійкості сталі полягає в регулюванні активних деформаційних та утомних процесів на поверхні зношування за рахунок зміни рівня силової дії на неї. Вплив фракційного складу ґрунту на зносостійкість здійснюється через реолого-утомний параметр в такій залежності: чим більший реолого-утомний параметр, тим вище зносостійкість сталі. Отже, в міцнісній основі механізму зношування визначальним є механічний компонент контактної взаємодії. Тому при виборі марки низьколегованої сталі для виготовлення деталей машин та інструменту, призначених для експлуатації в ґрунтах різного фракційного складу, необхідно керуватися її ранжуванням за реолого-утомним параметром. Вплив фракційного складу ґрунту на формування реолого-утомного параметра здійснюється, головним чином, через циклічну в'язкість деформування підшару нелінійних ефектів в околах вершин тріщин поверхневого шару у такій залежності: чим вище циклічна в'язкість, тим нижче реолого-утомний параметр сталі. Напруження, що циклічно повторюється при абразивному зношуванні викликає у вказаному підшарі два протилежних явища, що протікають одночасно: зміцнення й знеміцнення. При цьому дія процесу знеміцнення в ґрунтах різного фракційного складу є більш ефективною, ніж зміцнення. В області закритичних геометричних розмірів абразивних частинок інтенсивність знеміцнення суттєво знижується через зростання ефективності дії зміцнення за рахунок додаткового внеску дисперсійного твердіння. Проте це не тягне за собою якісних змін процесу зношування.

Ключові слова: абразивне зношування, ґрунт, фракційний склад ґрунту, розмір абразивних частинок, втома, деструкційна деформація, пластично-деструкційна деформація, втома тріщина, зносостійкість, реологічний параметр, реолого-утомний параметр, в'язкість руйнування, розмір області нелінійних ефектів, циклічна в'язкість деформування, зміцнення, знеміцнення, дисперсійне твердіння

Вступ. При русі деталей машин та інструменту в ґрунтовому середовищі, що містить абразив, відбувається інтенсивне зношування металу, яке супроводжується швидкою зміною їх геометричних розмірів та форми. Причиною високої агресивності цього виду зношування є специфічний процес контактування абразиву, при якому далеко не кожна його частинка на поверхні тертя здатна вступати у взаємодію з металом, а швидкість відносного переміщення частинок значно менше швидкості поступального руху деталі або

інструмента. Крім того, більшість частинок мають округлу форму і, здійснюючи складний рух, можуть не лише з високою швидкістю ковзати, але й обертатись або перекочуватись поверхнею тертя допоки не займуть по відношенню до неї, а також одна до одної більш стійке положення. У зв'язку з цим, моделлю ґрунтового середовища може бути тверде тіло з вельми шорсткою поверхнею (де роль нерівностей грають абразивні частинки) і активним рухомим шаром [1].

При взаємодії з поверхнею тертя нерівності такого тіла з певною силою вдавлюються в метал і поступально переміщуються уздовж його поверхні. На особливу увагу заслуговує той факт, що обидва зазначених етапи взаємодії нерівності з поверхнею проявляються одночасно, чим суттєво ускладнюється її характер. Руйнування поверхні при цьому здійснюється як за рахунок мікроріжучої так і деформуючої дії нерівностей. Мікроріжучі нерівності безпосередньо виробляють зношування, але їх порівняно небагато (0,07 - 7% від загальної кількості). Деформуючих нерівностей, тиск яких на площу контакту доводить зношуваний метал до границі текучості, значно більше. Вони безпосередньо зношування не виробляють, але багаторазовим деформуванням одних і тих самих ділянок поверхні сприяють їх руйнуванню від втоми. Отже, провідною формою абразивного зношування поверхні тертя при русі в ґрунті слід вважати механоутому за механізмами мало- і багатоциклової втоми [2].

Процес руйнування від втоми, що передує формуванню та відокремленню частинок зносу включає в себе стадії зародження й поширення утомних тріщин у мікрооб'ємах поверхневого шару деформованого металу. Тому його слід розглядати як кінетичний процес, що визначає утворення двох якісно різних зон в області кожної тріщини: зону внутрішньої поверхні тріщини та зону нелінійних ефектів на околі її вершини. Тоді в будь який момент контактної взаємодії, через монотонне зменшення деформації зсуву за глибиною від поверхні, структура поверхневого шару металу матиме шарову будову, що включає такі шари: деструкційного деформування; пластично-деструкційного деформування; пластичного деформування; пружного деформування, що переходить у недеформований метал [2].

Шар деструкційного деформування, в свою чергу, складається із зовнішнього (тріщинуватого) підшару й підшару нелінійних ефектів в околах вершин тріщин, що примикають до них.

Тріщинуватий підшар містить у собі найбільші дефекти у вигляді мікротріщин або джерел їх зародження, тобто зв'язок між окремими мікрооб'ємами в ньому ослаблений через порушення суцільності металу.

Підшар нелінійних ефектів представляє собою пластично деформований метал з сильно разорієнтованою структурою, що локалізується в областях просування тріщин. Таким чином, шар деструкційного деформування підпорядковується не законам механіки суцільного середовища, а законам механіки руйнування твердого тіла і, зважаючи на свою «пухкість», має найменшу міцність.

Всередині шару пластично-деструкційного деформування, який примикає до нього, переважає ротаційна фрагментована структура й рідкісні мікротріщини, що відбивають дисклинаційний характер деформації. У механізмі деформації, розташованого нижче шару пластичного деформування, провідну роль відіграють лінійні та точкові дефекти кристалічної будови, що формують структуру переважно дислокаційного типу. Пружно-деформований шар у плані

своїєї структури практично не відрізняється від недеформованого металу, що межує з ним. Така будова свідчить про одночасне протікання в кожному шарі двох самостійних процесів – деформування та руйнування, взаємозв'язок між якими змінюється зі збільшенням глибини розташування шару від поверхні. Так, у шарі деструкційного деформування переважають процеси руйнування, пластично-деструкційного деформування – великих пластичних деформацій, пластичного деформування – помірних пластичних деформацій, а пружного деформування – пружних деформацій. Зазначений взаємозв'язок контролюється діючими контактними напруженнями, що монотонно знижуються по мірі заглиблення в поверхневий шар і залежать від фізичних характеристик металу, зокрема, реолого-втомного параметра [2].

Рівень зовнішньосилової дії на поверхню тертя багато в чому визначається геометричним розміром частинок абразиву. Вивченню впливу цього чинника на зношування металів присвячено ряд наукових праць вітчизняних та зарубіжних дослідників. Аналіз й узагальнення їх результатів [3] показав (рис. 1), що у випадку контактування частинок невеликого розміру швидкість зношування металу зростає пропорційно до збільшення їх розміру. Відбувається це до досягнення ним критичної величини (CPS), після чого характер зазначеної залежності істотно змінюється і при подальшому збільшенні розміру частинок розвивається в одному з трьох напрямків: продовжує своє зростання, але з суттєво меншою інтенсивністю (3), залишається на досягнутому рівні (2), знижується (1)

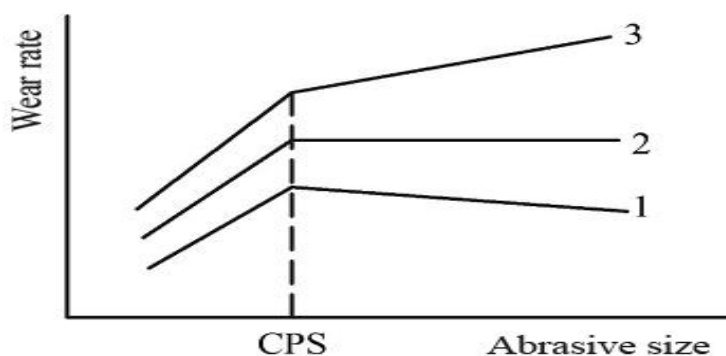


Рис.1. Схема залежності швидкості зношування металу від геометричного розміру абразиву

Явище CPS автор [3] пояснює тим, що абразив докритичного розміру через менш округлу форму частинок справляє, головним чином, мікроріжучу та мікроплавну, тоді як закритичного розміру – деформуючу дію. Істотним недоліком вказаної гіпотези є відсутність в ній урахування специфічних особливостей взаємодії ґрунту зі зношуваною поверхнею. У зв'язку з чим вона повною мірою може бути придатною для пояснення вказаного явища при інших видах зношування, зокрема, закріпленим абразивом. Проте, у цій самій роботі [3] зазначається, що результати дослідження впливу геометричного розміру абразиву на зношування закріпленим абразивом не можуть бути повною мірою використані при зношуванні незакріпленим абразивом.

Головною відмінністю взаємодії ґрунту з поверхнею, що зношується, порівняно із закріпленим абразивом, є її переважно втомний характер.

Зародження й поширення утомних тріщин в металевих матеріалах обумовлюється пластичною деформацією, кількісною мірою якої може бути ширина петлі гістерезису (циклічна в'язкість деформування [4]) за цикл зміни навантаження при заданому рівні напружень.

Закономірності ширини петлі гістерезису дозволяють дійти висновку, що циклічні напруження при зношуванні викликають в структурі поверхневого шару металу два протилежних процеси, що протікають одночасно: зміцнення та знеміцнення [4].

При цьому, в деструкційному шарі ефективність знеміцнення істотно переважає зміцнення. Тому, ймовірніше за все явище CPS пояснюється факторами, що зумовлюють знеміцнення й зміцнення металу цього шару. Однак, відомості щодо вказаних процесів при зношуванні у зв'язку з впливом на них фактора геометричного розміру абразивних частинок надто нечисленні й обмежені, що вказує на необхідність подальшого вивчення цього питання.

Враховуючи вище викладене, метою даного дослідження є вивчення закономірностей впливу геометричного розміру абразивних частинок на характеристики руйнування низьколегованої сталі у зміцненому та знеміцненому стані при зношуванні.

Матеріали та методи досліджень. Об'єктом дослідження була конструкційна низьколегована сталь 65Г, хімічний склад якої наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваної сталі

Марка сталі	Склад, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	B
65Г	0,65	1,11	0,27	0,035	0,035	0,25	0,25	0,22	-

Таблиця 2

Режим термічної обробки досліджуваної сталі

Марка сталі	Гартування			Відпуск	
	Температура нагрівання, °С	Тривалість витримки, min.	Гартувальне середовище	Температура нагрівання, °С	Тривалість витримки, min.
65Г	820	30	Масло	470	60

Зразки із вказаної сталі виготовляли у формі пластин розміру (70 × 70 × 6) мм.

Частину зразків не піддавали зміцнюючій обробці, а решту зміцнювали термічною (ТО) й електроерозійною (ЕО) обробкою в режимах, що вказані у (табл. 2, 3).

Таблиця 3

Режим електроерозійної обробки досліджуваної сталі

№ п/п	Технологічний параметр	Величина
1	Сила струму, А	450
2	Напруга на дузі, V	45
3	Температура охолоджувальної рідини, К	308

Джерелом нагрівання при ТО була електрична муфельна піч СНОЛ7,2/1300 (НВП Термоінжиніринг, м. Харків).

ЕО зразків електроімпульсним способом проводили за допомогою установки моделі 01.10.016А (ІМА АПП НААН України, Київська обл., Фастівський р-н, смт Глеваха).

Незміцнені й зміцнені зразки піддавали випробуванням на вдавлювання та зношування тертям у ґрунті.

Випробування на вдавлювання проводили за допомогою універсального твердоміра «NOVOTEST Т-УД2» (ТОВ НТЦ «Промислове обладнання та технології», м. Новомосковськ). В результаті визначали твердість сталі за Роквелом у вихідному стані.

Випробування на зношування сталі при терті в ґрунті проводили модернізованим методом «крильчатки» на випробувальній установці [5], схему якої представлено на рис.2

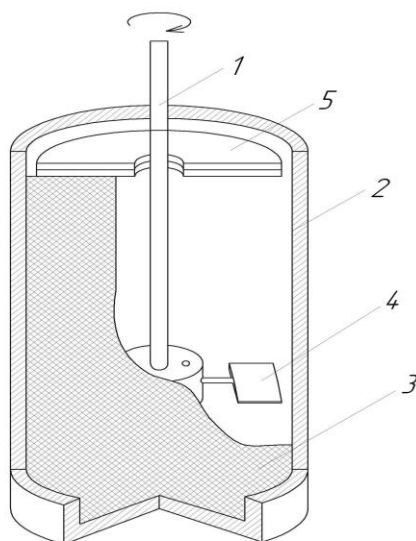


Рис. 2. Схема установки для випробування сталі на зношування при терті у ґрунті: 1 – вал-тримач зразків; 2 – циліндр; 3 – ґрунт; 4 – зразки; 5 – багатосекційний диск

Ґрунтом був кварцовий пісок різного фракційного складу (табл. 4).

Таблиця 3

Размір фракції ґрунту

№ фракції	1	2	3	4	5
Розмір фракції, мкм	50 -60	60 - 80	80 - 100	100 - 125	125 - 150

Кожну фракцію отримували шляхом просіювання піску через сито з відповідним розміром ячіюк. Твердість абразивних частинок становила 1000 – 1300 кг/мм².

Сутність випробувань полягала у обертанні зразка зі сталі, зануреного у ґрунт зазначеного фракційного складу. Режим випробувань: тиск ґрунту на зразок $P = 122,6$ кПа, швидкість обертання зразка $V = 125, 28$ м/хв, шлях тертя зразка $L = 500$ км. У процесі зношування вимірювали силу тертя $F_{тр}$ між зразком та ґрунтом. Зношування зразка G вимірювали методом зважування на електронних аналітичних терезах CP 34001 S (фірма «Sartorius (Німеччина)). Мірою зносостійкості була величина, зворотна зносу G .

Аналіз процесу руйнування сталі при зношуванні в ґрунті проводили із застосуванням таких характеристик: критичного коефіцієнту інтенсивності напруження (в'язкості руйнування) K_{1c} , розміру області нелінійних ефектів на околицях вершин тріщин h_p , реологічного параметру $R = K_{1c} / h_p^{1/2}$, циклічної в'язкості деформування $\Delta \epsilon$ а також істинної деформації ϵ_{true} , які визначали засобами [6,7]. За допомогою зазначених характеристик визначали реолого-утомний параметр досліджуваної сталі $R_f = R (\epsilon_{true} / 2 \Delta \epsilon)^2$ [8]. Отримані результати експериментів опрацьовували методами математичної статистики.

Аналіз результатів та обговорення. Дані щодо зміни трибомеханічних та реологічних властивостей досліджуваної сталі у ґрунтах досліджуваного фракційного складу представлені в таблиці 4.

Звідки видно, що під впливом частинок абразиву невеликого розміру зносостійкість сталі знижується пропорційно до збільшення їх розміру. Відбувається це до досягнення ним критичної величини (CPS), яка складає близько 100 – 110 мкм, після чого, подібно до схеми (рис. 1), характер зазначеної залежності істотно змінюється і при подальшому збільшенні розміру частинок розвивається в таких напрямках: продовжує своє зниження, хоча і з помітно меншою інтенсивністю, для сталі в незміцненому стані і стабілізується - у зміцненому стані після ТО та ЕО.

Результати зіставлення вказують на відсутність чутливості характеристик опору деформуванню (твердість HRC) та руйнуванню (реологічний параметр R) при статичному навантаженні до формування зносостійкості ϵ сталі при русі в ґрунтах різного фракційного складу. У той час, як між характеристикою опору руйнуванню при втомному навантаженні - реолого-втомним параметром R_f і зносостійкістю ϵ в міру збільшення діаметра d частинок встановлено такий корелятивний зв'язок: чим більше діаметр частинок, тим менше реолого-втомний параметр і зносостійкість сталі. Наочне уявлення щодо характеру зазначеного зв'язку дає рис. 3.

Отже, зносостійкість сталі у грунтах досліджуваного фракційного складу контролюється реолого-утомним параметром.

Таблиця 4

Залежність трибомеханічних та реологічних властивостей незміцненої та зміцненої сталі від фракційного складу ґрунту

Стан сталі	Размір фракції, μkm	Трибомеханічні властивості		Реологічні властивості	
		Твердість, HRC	Зносостійкість, ε , kg^{-1}	Реологічний параметр, R , GPa	Реолого-утомний параметр, R_f , TPa
Незміцнений	50 - 60	23	58,8	4	4,52
	60 - 80	23	44,4	4	3,41
	80 - 100	23	37	4	2,83
	100 - 125	23	33	4	2,54
	125 - 150	23	30	4	1,54
Зміцнений ТО	50 - 60	52	76,9	4	7,12
	60 - 80	52	58,8	4	5,54
	80 - 100	52	49	4	4,59
	100 - 125	52	44,8	4	4,19
	125 - 150	52	44,8	4	4,19
Зміцнений ЕО	50 - 60	62	174	4	13,5
	60 - 80	62	125	4	9,6
	80 - 100	62	95,2	4	7,3
	100 - 125	62	85	4	5,8
	125 - 150	62	85	4	5,8

Виходячи з викладеного вище, можна констатувати, що в міцнісній основі механізму зношування при терті ковзання в грунтах досліджуваного фракційного складу провідну роль грає опір зародженню та поширенню утомних тріщин на межі шарів деструкційного і пластично-деструкційного деформування (дивись вище), а механічний компонент контактної взаємодії є визначальним. Безпосередньою причиною такої локалізації утомних тріщин є стан плоскої деформації, що виникає на вказаній межі при контактній взаємодії і сприяє підвищенню діючих тут максимальних напружень до рівня утричі вищого, ніж на поверхні [8]. Окрім цих напружень, в металі одночасно виникають та діють залишкові напруження через нерівномірність його деформування. В результаті циклічної дії вказаних напружень на межі шарів деструкційного і пластично-деструкційного деформування металу зароджується і поширюється серія радіальних, осьових, та бокових утомних тріщин, при перетині яких, відокремлюються частинки зносу [9].

Таким чином, зносостійкість низьколегованих незміцнених й зміцнених сталей у ґрунтах різного фракційного складу доцільно ранжувати за реолого-утомним параметром.

Оскільки реолого-утомний параметр включає в себе ряд фізичних величин, науковий і практичний інтерес представляє закономірності зміни цих величин, а також роль, яку відіграє кожна з них у формуванні реолого-утомного параметра, а, отже, зносостійкості сталі при варіюванні фракційного складу ґрунту.

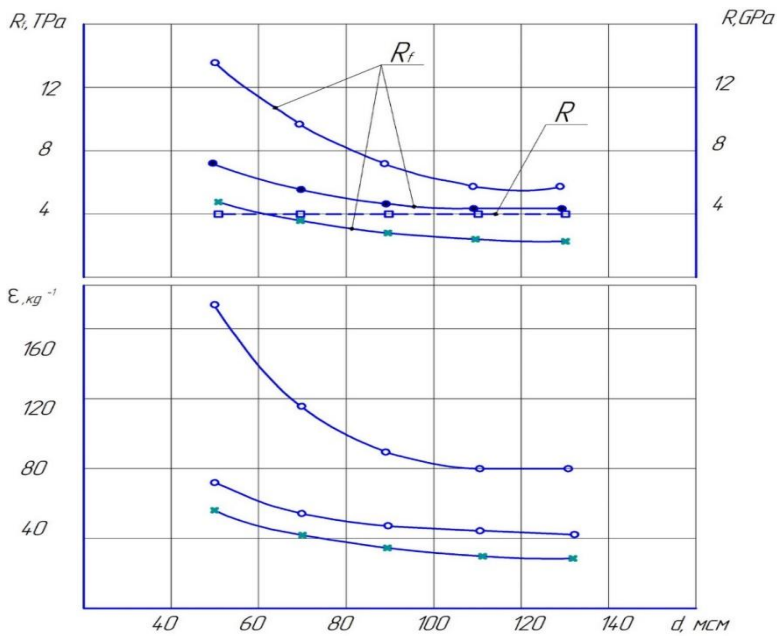


Рис. 3. Зіставлення зносостійкості (ϵ) з реологічним параметром (R) і реолого-утомним параметром (R_f) сталі 65Г після зношування в ґрунтах різного фракційного складу (d): \times - сталь 65Г, незміцнена; \circ - сталь 65 Г, зміцнена ТО; \bullet - сталь 65 Г, зміцнена ЕО

На рис. 4 і 5 представлені закономірності істинної деформації ϵ_{true} (рис. 4) й циклічної в'язкості деформування $\Delta\epsilon$ (рис. 4), в'язкості руйнування K_{1c} (рис. 5) й розміру пластичної зони в околах вершин тріщин h_p (рис. 5) сталі у незміцненому та зміцненому стані зі зміною фракційного складу ґрунту.

Звідки видно, що істинна деформація ϵ_{true} (рис. 4), в'язкість руйнування K_{1c} (рис. 5) та розмір пластичної зони h_p (рис. 5) є нечутливими до зміни геометричного розміру частинок абразиву d , тоді як циклічна в'язкість деформування $\Delta\epsilon$ зростає у міру збільшення останнього (рис. 4).

Отже, провідну роль у формуванні реолого-утомного параметра і зносостійкості сталі при зношуванні в ґрунтах різного фракційного складу грає циклічна в'язкість деформування.

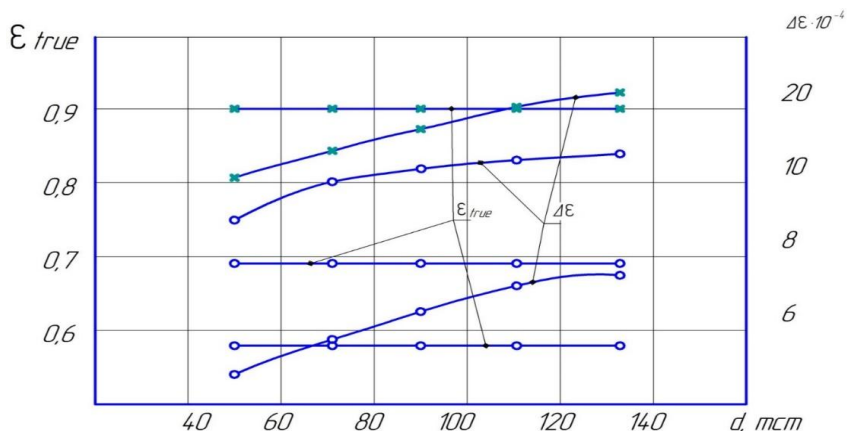


Рис. 4. Зміна істинної деформації (ϵ_{true}) та циклічної в'язкості деформування ($\Delta\epsilon$) сталі 65Г після зношування у ґрунтах різного фракційного складу (d): × - сталь 65Г, незміцнена; ○ - сталь 65 Г, зміцнена ТО; ● - сталь 65 Г, зміцнена ЕО

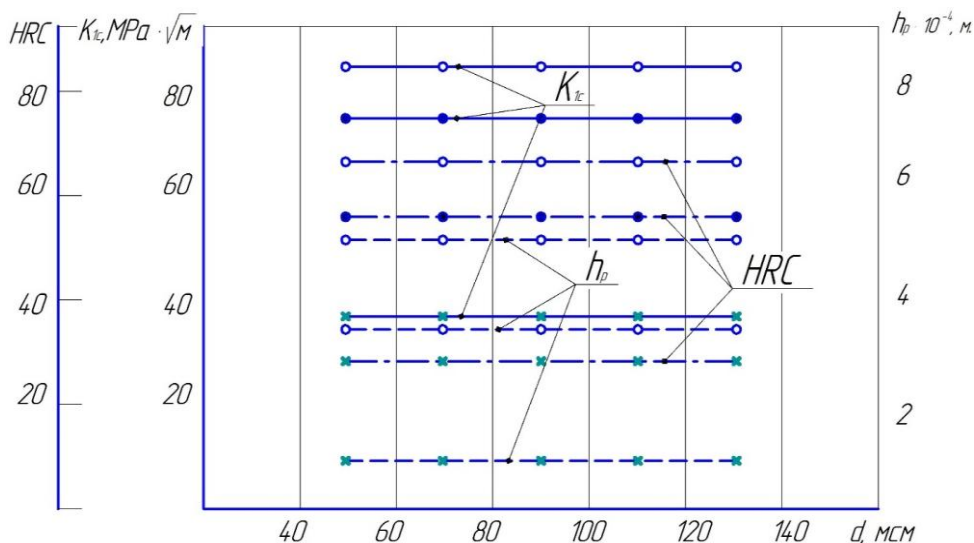


Рис. 5. Зміна в'язкості руйнування (K_{1c}), твердості (HRC) та розміру області нелінійних ефектів в околицях тріщин (h_p) сталі 65Г після зношування у ґрунтах різного фракційного складу (d): ○ - сталь 65Г, незміцнена; ● - сталь 65 Г, зміцнена ТО; × - сталь 65 Г, зміцнена ЕО

Циклічне напруження при абразивному зношуванні викликає в підшарі нелінійних ефектів в околах вершин тріщин поверхневого шару (див. вище) два протилежних явища, що протікають одночасно: зміцнення й знеміцнення. Обидва вони пов'язані з вихідним структурним станом підшару та його зміною під дією циклічних пластичних деформацій, утворенням та перерозподілом залишкових мікронапружень, а також виникненням та розвитком мікропошкоджень.

Зі встановленої закономірності зростання циклічної в'язкості деформування $\Delta\epsilon$ по мірі збільшення розміру фракції абразиву d (рис. 4) випливає, що дія знеміцнення під час зношування є більш ефективною, ніж зміцнення. Процес знеміцнення, при цьому, виникає через розвиток точкових, лінійних,

поверхневих й об'ємних дефектів, а також внутрішніх напружень в металі, тоді як зміцнення пов'язується з впливом чинника наклепу, що утворює перешкоди, які гальмують рух та розвиток вказаних дефектів в металі.

Привертає на себе увагу помітне зниження інтенсивності знеміцнення металу після досягнення критичного розміру фракції абразиву (CPS) (рис. 4). Особливо виразно цей ефект проявляється у сталі зміцненої ТО та ЕО. Пояснюється він зростанням ефективності зміцнення за рахунок додаткових до наклепу чинників. Для незміцненої сталі таким чинником, швидше за все, може бути динамічне деформаційне старіння – блокування дислокацій рахунок дифузії до них атомів вуглецю й азоту. У сталі, підданій ТО та ЕО - дисперсійне твердіння, зумовлене частковим розпадом мартенситу. В обох випадках не виключено також утворення білих шарів термомеханічного походження, що складаються з мартенситу, продуктів його розпаду, залишкового аустеніту, карбідів, нітридів, оксидів.

При абразивному зношуванні зміцненої сталі можливий прояв будь-якого із згаданих чинників як окремо так і у різних комбінаціях. Однак через високу твердість мартенситної основи пластична деформація не може бути істотною, у зв'язку з чим вона не здатна викликати суттєвий наклеп та динамічне деформаційне старіння. Тому основним фактором зміцнення ТО та ЕО сталі скоріше за все є дисперсійне твердіння. Незважаючи на зниження інтенсивності руйнування під впливом зазначених факторів додаткового зміцнення, якісних змін процесу зношування металу, при цьому не спостерігається.

Висновки.

1. При зношуванні у ґрунтах різного фракційного складу на робочій поверхні низьколегованої сталі в незміцненому та зміцненому стані реалізується явище наявності критичного розміру абразивних частинок (CPS), величина якого становить 100-110 мкм.

2. Роль геометричного розміру частинок у формуванні зносостійкості сталі полягає в регулюванні активних деформаційних та втомних явищ на поверхні тертя за допомогою рівня силової дії на поверхню зношування.

3. Вплив фракційного складу ґрунту на зносостійкість здійснюється через реолого-утомний параметр в такій залежності: чим більший реолого-утомний параметр, тим вище зносостійкість сталі. Виходячи з цього, визначальним у міцнісній основі механізму зношування слід визнати механічний компонент контактної взаємодії. Тому при виборі марки низьколегованої сталі для виготовлення деталей машин, що експлуатуються у ґрунтах різного фракційного складу, а також способу її зміцнення слід керуватися ранжуванням за реолого-утомним параметром.

4. В міцнісній основі механізму зношування при терті ковзання в ґрунтах різного фракційного складу провідну роль грає опір зародженню та поширенню радіальних, осьових та бічних утомних тріщин на межі шарів деструкційного і пластично-деструкційного деформування, де виникає стан плоскої деформації, що зумовлює суттєве підвищення діючих максимальних напружень.

5. Роль фракційного складу ґрунту у формуванні реолого-утомного параметра здійснюється, головним чином, через циклічну в'язкість

деформування в підшарі нелінійних ефектів в околах вершин тріщин поверхневого шару у такій залежності: чим вище циклічна в'язкість, тим нижче реолого-утомний параметр сталі.

6. Напруження, що циклічно повторюється при абразивному зношуванні викликає у підшарі нелінійних ефектів в околах вершин тріщин поверхневого шару два протилежних явища, що протікають одночасно: зміцнення й знеміцнення. Дія процесу знеміцнення при цьому є більш ефективною, ніж зміцнення.

7. В області закритичного розміру фракції абразиву інтенсивність знеміцнення сталі як у незміцненому стані, так і підданій ТО та ЕО істотно знижується через зростання ефективності дії зміцнення за рахунок дисперсійного твердіння. Однак якісних змін процесу зношування металу в цих випадках не спостерігається.

Список літератури

1. Dvoruk V. I., Borak K. V., Buchko I. A. (2022) Destruction of Steel, by the Work-Hardened Speed Electrothermal Treatment at Wear by Friction of Skidding at the Non-Rigid Envisaged Abrasive, *Journal of Friction and Wear*, Vol. 43, No. 3, P. 255–264
2. Dvoruk V. I., Borak K. V., Buchko I. A., Kirienko N. A. (2022) Influence of Soil Type on Breaking of Low-Alloy Steels during Wear, *Journal of Friction and Wear*, Vol. 43, No. 6, P. 383–390
3. Coronado J.J. (2012) Effekt of abrasive size on wear, *Abrasion resisnance of materials*, P. 167-184
4. Трощенко В.Т., Красовский А.Я., Покровский В.В., Сосновский Л.А., Стрижало В.А. (1994) Сопротивление материалов деформированию и разрушению: [Справочное пособие]: Часть 2 - Киев: «Наукова думка», С. 702
5. Дворук В.І. (2020) Спосіб дослідження матеріалів та покриттів на зносостійкість та визначення коефіцієнта тертя ковзання сталь — абразивна маса: пат. 142596 Україна, G01N 3/00; № u2019 02358; заявлено 11/03/2019; опубліковано 25.06.2020. Бюл. № 12
6. Дворук В. И. (1997) Научные основы повышения абразивной износостойкости деталей машин. — Киев: «КМУГА», С. 101
7. Дворук В.І. (2018) Метод абразивного зношування для визначення ефективної поверхневої енергії кристалів, *Проблеми трибології*, Вип. 90, № 4, С. 22-31
8. Дворук В.І. (2015) Моделювання зношування металів при русі в абразивній масі, *Проблеми трибології*, Вип. 75, № 1, С. 77—85
9. Evans A.G. (1978) Impact damage in ceramics, *Fracture Mechanics of Ceramics: - New York: Plenum Press*, Vol. 3. P. 303 – 331

Стаття надійшла до редакції 28.08.2024.

Дворук Володимир Іванович – докт. техн. наук, професор, професор кафедри загальної та прикладної фізики, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +3804067166, E-mail: volodymyr.dvoruk@npp.nau.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-5881-7441>

V. DVORUK

THE INFLUENCE OF THE GEOMETRIC DIMENSIONS OF THE ABRASIVE SOIL PARTICLES ON THE REGULARITY OF DESTRUCTION OF LOW-ALLOY STEEL DURING WEAR

The results of the study of patterns of destruction and their influence on the wear resistance of low-alloy steel 65G in the unstrengthened state, as well as after strengthening by thermal and electroerosion treatment during movement in soils of different fractional composition, are presented. It has been confirmed that under such conditions the phenomenon of the presence of a critical size of abrasive particles (CPS) is realized on the wear surface. The role of the geometric size of the particles in the formation of the wear resistance of steel consists in the regulation of active deformation and fatigue phenomena on the wear surface by changing the level of force acting on it. The influence of the fractional composition of the soil on wear resistance is carried out through the rheological-fatigue parameter in the following dependence: the greater the rheological-fatigue parameter, the higher the wear resistance of steel. Therefore, the mechanical component of the contact interaction is decisive in the strength basis of the wear mechanism. Therefore, when choosing a brand of low-alloy steel for the manufacture of machine parts intended for operation in soils of different fractional composition, it is necessary to be guided by its ranking according to the rheological-fatigue parameter. The role of the fractional composition of the soil in the formation of the rheological-fatigue parameter is carried out mainly through the cyclic viscosity of deformation in the sublayer of nonlinear effects in the vicinity of the crack tips of the surface layer in the following dependence: the higher the cyclic viscosity, the lower the rheological-fatigue parameter of steel. The stress that is cyclically repeated during abrasive wear causes in the sublayer of nonlinear effects in the vicinity of the crack tips of the surface layer two opposite phenomena that occur simultaneously: strengthening and weakening. At the same time, the action of the weakening process in soils of different fractional composition is more effective than strengthening. In the region of the subcritical geometric dimensions of the abrasive particles, the intensity of hardening is significantly reduced due to the increase in the effectiveness of the hardening action due to the additional contribution of dispersion hardening. However, this does not entail qualitative changes in the wear process.

Key words: abrasive wear, soil, fractional composition of soil, size of abrasive particles, fatigue, destructive deformation, plastic-destructive deformation, fatigue crack, wear resistance, rheological parameter, rheological-fatigue parameter, fracture toughness, size of the region of nonlinear effects, cyclic deformation viscosity, strengthening, weakening, dispersion hardening electric spark coating, acoustic emission, wear intensity, stress-strain state.

References

1. Dvoruk V. I., Borak K. V., Buchko I. A. (2022) Destruction of Steel, by the Work-Hardened Speed Electrothermal Treatment at Wear by Friction of Skidding at the Non-Rigid Envisaged Abrasive, *Journal of Friction and Wear*, Vol. 43, No. 3, R. 255–264
2. Dvoruk V. I., Borak K. V., Buchko I. A., Kirienco N. A. (2022) Influence of Soil Type on Breaking of Low-Alloy Steels during Wear, *Journal of Friction and Wear*, Vol. 43, No. 6, R. 383–390

-
3. Coronado J.J. (2012) Effekt of abrasive size on wear, Abrasion resistance of materials, P. 167-184
 4. Troshchenko V.T., Krasovskiy A.Ia., Pokrovskiy V.V., Sosnovskiy L.A., Stryzhalo V.A. (1994) Soprotivlenye materialov deformatsionnoy i razrusheniynoy: [Spravochnoe posobie]: Chast 2 - Kyev: «Naukova dumka», S. 702
 5. Dvoruk V.I. (2020) Sposib doslidzhennia materialiv ta pokryttiv na znosostiikist ta vyznachennia koefitsienta tertia kovzannia stal — abrazyvna masa: pat. 142596 Ukraina, G01N 3/00; № u2019 02358; zaiavleno 11/03/2019; opublikovano 25.06.2020. Biul. № 12
 6. Dvoruk V. Y. (1997) Nauchnye osnovy povysheniya abrazyvnoi yznosostoikosti detalei mashyn. — Kyev: «KMUHA», S. 101
 7. Dvoruk V.I. (2018) Metod abrazyvnoho znoshuvannia dlia vyznachennia efektyvnoi poverkhnevoi enerhii krystaliv, Problemy trybolohii, Vyp. 90, № 4, S. 22-31
 8. Dvoruk V.I. (2015) Modeliuvannia znoshuvannia metaliv pry rusi v abrazyvni masi, Problemy trybolohii, Vyp. 75, № 1, S. 77—85
 9. Evans A.G. (1978) Impact damage in ceramics, Fracture Mechanics of Ceramics: - New York: Plenum Press, Vol. 3. P. 303 – 331

Volodymyr Dvoruk – Doctor. Sc., Professor, Professor in General and Applied Physics Department, National Aviation University, Ukraine, 03058, Kyiv, Lubomir Husar ave., 1, tel.number: +3804067166, E-mail: volodymyr.dvoruk@npp.nau.edu.ua, <http://orcid.org/0000-0001-5881-7441>