УДК 621.9.029/927.76

В. Ю. Сухенко, канд. техн. наук, доц.

ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ М'ЯСОРІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
suhenko@ukr.net

З урахуванням закономірностей фізики твердого тіла та фізико-хімічної механіки матеріалів досліджені процеси утворення і руху дислокацій при терті і деформуванні моно- і полікристалічних твердих тіл у технологічних середовищах м'ясоподрібнювальних машин, що може бути надійним підґрунтям при виборі сталей для різальних інструментів і способів їх зміцнення.

Вступ і постановка завдання. Стабільне виконання поставлених перед м'ясопереробною промисловістю завдань здебільшого залежить від надійності та довговічності технологічного обладнання. Наприклад, через недостатню стійкість ріжучих інструментів вовчків і кутерів порушується ритм виробництва, погіршується якість фаршу та збільшуються енергетичні затрати [1].

Аналітичний огляд виконаних досліджень показав, що на сьогоднішній день майже відсутні дані при причини виходу з ладу різального інструменту м'ясоподрібнювальних машин, нема обґрунтувань щодо використання для його виготовлення матеріалів, відсутні статистичні та експериментальні дані, які дозволяють визначити основні причини швидкого виходу інструментів з ладу [0; 0].

Виконаний нами протягом 2011 р. аналіз працездатності м'ясорізального інструменту у вовчках на 10-ти м'ясопереробних підприємствах м. Києва показав, що для виготовлення ножів і ґраток відсутні не лише конкретні марки сталей, захисних покриттів, методи їх зміцнення, але не визначені навіть групи придатних сталей, а тому ножі і ґратки вовчків виготовляються на підприємствах з будь-яких сталей – від конструкційних до високолегованих інструментальних. В нормативній документації на інструменти обумовлена лише твердість ножів (52HRCe) і ґраток (61HRCe). Обумовлюється також нормативний термін служби – 200 год, який на жодному з обстежених підприємств не досягається.

М'ясопереробне обладнання випускається малими серіями, що приводить до застосування широкої номенклатури ножів і ґраток. Тільки на м'ясопереробних підприємствах Києва застосовують більше 25-ти типорозмірів м'ясопереробних інструментів з 11-ти марок сталей, які мають різний строк служби. З великої кількості ножів, замінених у групі обстежених великих і малих м'ясопереробних підприємств більша частина випала на інструментальну вуглецеву сталь У8А та загалом на інструментальні сталі – 1709 ножів. Друга за чисельністю група – це леговані сталі, які мають у своєму складі 0,4% мас. вуглецю і сталі, леговані до 13% хромом та нікелем (табл. 1).

Таблиця 1

Показники експлуатаційної надійності м'ясорізальних ножів вовчків із різних марок сталей

Марка сталі	Кількість замінених ножів за 2011р., шт.	Відсоток від загальної кількості ножів, які витримали нормативний строк служби (+) і були зняті достроково (–)		Середній термін служби ножів, год
		«+»	«–»	
У8А	792	26,5	73,5	166,2
ХВГ	465	24,8	75,2	165,3
95Х18Л	451	54,3	45,7	162,2
40Х2НЛ	147	31,3	68,7	168,8
40ХНЛ	113	45,1	54,9	171,0
40Х13	119	52,9	47,1	180,6
65Г	51	66,7	33,3	178,2

Гарантований термін служби м'ясоподрібнювальних інструментів вовчків повинен становити 200 год, у т.ч. до наступного заточування – 24 год. За результатами проведеного нами дослідження строк служби ножів не перевищував 168 год, а середній термін їх безперервної роботи обмежувався 13,8 год. Середньорічна потреба у ножах на обстежених підприємствах коливалась в межах від 45 до 110 шт., в залежності від типу обладнання і ступеня його завантаження.

Номенклатурний ряд використовуваних сталей для виготовлення ножів, складений нами у відповідності з частотою їх застосування, виглядає так: У8А, У12А, У10А, ХВГ, 95Х18Л, 40Х13, 45,

40Х, 40ХНЛ, 40Х2НЛ, 65Г. Найбільша стійкість характерна для ножів із сталей 40Х13 і 65Г. З огляду на вартість їх виготовлення перевагу треба віддати сталі 65Г.

Було установлено, що відсутня єдина концепція, обгрунтовуюча використання тих чи інших марок сталей для виготовлення ножів. Наприклад, ножі, виготовлені з вуглецевих інструментальних сталей, були замінені через прискорений знос різальних лез, хоча високий вміст вуглецю мав би забезпечити їх належну твердість і зносостійкість. Не покращились суттєво експлуатаційні характеристики ножів з високим вмістом хрому. Не забезпечило також належного підвищення зносостійкості і економне легування сталей (див. табл. 1). Очевидно, причину швидкого зношування сталей необхідно шукати не лише у доцільному виборі легуючих елементів, але також у особливих властивостях м'ясної сировини, дія якої на різальні інструменти майже не досліджена. Корозійно-активні середовища (КАС) м'ясопереробних виробництв, діючи на деталі обладнання, зокрема на подрібнювальні інструменти, спричиняють надзвичайно швидке їх спрацювання, що впливає на ритмічність роботи підприємств, завдає їм великих економічних збитків та погіршує якість харчової продукції [2]. Тому потрібно знайти взаємозв'язки властивостей КАС зі швидкістю спрацювання інструментів.

Мета роботи – дослідити вплив КАС в м'ясоподрібнювальних машинах на субмікроструктуру і зносостійкість поверхонь твердих тіл (інструментів) при їх терті та деформуванні і, на цьому підґрунті, дати науково обґрунтовані рекомендації щодо вибору сталей і способів їх зміцнення для досягнення високого опору спрацюванню різальних інструментів.

Методика досліджень, використані матеріали, середовища і установки. Плівки вторинних структур, бар'єрні і сорбовані шари на металах, у переважній більшості випадків мають вирішальний вплив на характер деформування і руйнування поверхонь тертя різальних інструментів та мають напівпровідникові властивості [3; 4], причому багато оксидів мають ГЦК структуру, як і монокристали фториду літію [5], які були використані в дослідженнях.

Для цих монокристалів, як і для інших твердих тіл подібної кристалічної структури, характерні найбільші значення напружень Пайєрлса-Набарро та енергії дефектів упаковки [5]. Таким чином, при їх використанні, практично виключається вплив границь зерен, випа-

дкових деформацій і релаксації дислокаційної структури після розвантаження зразків.

Перед випробуванням на тертя зразки монокристалів полірували алмазними пастами і оксидами хрому до R_a = 0,08…0,16 мкм, відпалювали при 500ºС протягом 6-ти год., а потім піддавали хімічному полірування для повного зняття наклепаного шару. Вихідна щільність дислокацій в монокристалах не перевищувала 10^3 $см^{-2}$. У всіх описаних випадках субмікроструктуру деформованої зони виявляли селективним травленням на дислокації [6; 7]. Монокристали фториду літію були вибрані для досліджень завдяки простоті їх обробки і доброму виявленню дислокацій методом хімічного травлення.

Для створення напруженого стану зразки монокристалів перед дослідом стискали в струбцині у напрямках {100} і {010}. Зусилля стискання контролювали тензометричним методом. У такому стані монокристали деформували індентором у мікротрибометрі конструкції О.Є. Новицького і М.А Сологуба [8], по свіжосколотих площинах {001} паралельно і перпендикулярно до стискаючих напружень. У першому випадку дотичні (стискаючі, розтягуючі) і нормальні напруження, у напрямку прикладення попередніх стискаючих напружень, обумовлюють плоско-напружений стан деформованої зони. У другому випадку ці зусилля діють у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, створюючи нерівномірний об'ємно-напружений стан поверхневого шару зразків. Експерименти проводили при стискаючих напруженнях, що відповідають середині першої дільниці залежності «напруження-деформація» монокристалів фториду літію (1,92 МПа) поблизу критичного зсувного напруження (4,1 МПа). Вибір цих значень пояснюється тим, що деформація в межах першої дільниці деформаційної кривої мало залежить від стану поверхні монокристала. У цьому випадку щільність дислокацій пропорційна прикладеному напруженню. Деформація при напруженнях, відповідаючих другій дільниці кривої, залежить від умов на поверхні, а дислокації вихідної структури майже не впливають на її характер [9].

Досліди проводили при терті індентора по зразку без змащування, у дистильованій воді (pH 7,0), яка є основою у хімічному складі м'яса, а також у м'ясному соку, відпресованому з одного зразка мускульної тканини парної телятини 2-ї категорії через 2 годи-

ни після забою (pH 7,4) і через 240 годин (після повного завершення автолізу при температурі 0ºС) (pH 5,5). Перед використанням у дослідах м'ясний сік піддавали трьохразовому фільтруванню через бельтингову тканину і попередньо промитий та калібрований на ситах річний пісок.

Хімічний склад м'яса (табл. 2) і кислотно-лужний баланс (pH) м'ясного соку був визначений в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК НУБіП України.

Таблиця 2

Хімічний і вітамінний склад телятини 2-ї категорії (на 100 г продукту)

Вода, г	Білки, г	Жири, г	Зола, г	Na, мг	K, мг	Ca, мг	Mg, мг	P, мг	Fe, мг	B1, мг	B2, мг	PP, мг	A	C
78,0	20,4	0,9	1,1	112	357	13	25	213	3	0,15	0,24	6,0	Сл.	Сл.

М'ясні соки телятини з різними термінами автолізу заливались в електрохімічну комірку дослідної установки (мікротрибомера) відразу після приготування і набрання ними температури 18-20ºС (кімнатної, яка регулювалась кондиціонером). Було проведене вивчення впливу властивостей м'ясного соку, природи і структури монокристалічних і полікристалічних матеріалів, їх плоско- та об'ємно-напруженого стану на механо-фізичні процеси при терті ковзання, а також на дислокаційну структуру деформованої зони.

В якості контртіла при терті по монокристалу був використаний сферичний індентор із сталі ШХ15 (HRC_e 62) з радіусом при вершині 1,5 мм (КТ-1,5). При терті індентор притискався до зразка з зусиллям, пропорційним установленому на ньому вантажу.

Відомо чимало методів виявлення тонкої структури кристалів [6]. При їх порівнянні стає зрозумілим, що роздільна здатність фігур травлення у 3-8 разів вища, ніж при застосуванні інфрачервоної мікроскопії, рентгенографії, авторадіографії. В результаті визначення максимально можливої щільності дислокацій виявилось, що найбільш досконалими є метод фігур травлення і просвічувальна електронна мікроскопія, але остання має ряд недоліків, які знижують її можливості та цінність. До цих недоліків відноситься релаксація напружень, перерозподіл і аннігіляція дислокацій

в процесі виготовлення тонких фольг, складність проведення досліджень. Виявлення дислокацій селективним травленням не має цих недоліків. Простота і доступність, висока роздільна здатність і точність, можливість проводити спостереження безпосередньо на масивних зразках була беззаперечним аргументом на користь вибору цього методу досліджень.

Для вивчення дислокаційної структури монокристали фториду літію хімічно травили в 10%-вому розчині хлорного заліза. Для отримання недеформованих поверхонь їх розколювали при температурі рідкого азоту.

Щільність дислокацій на досліджуваних поверхнях монокристалів розраховували за співвідношенням:

$$N_d = \frac{n_{cp} \cdot M^2}{S_M}, \qquad (1)$$

де N_d – щільність дислокацій, см$^{-2}$; n_{cp} – середня кількість ямок травлення на матовому склі приладу (фотографії); M – збільшення приладу; S_M – площа матового скла приладу (фотографії), см^2.

Вплив КАС на розвиток пружно-пластичних деформацій у сталях при терті ковзання визначали методом фотопружності на зразках із відпаленої сталі 65Г, яка є перспективною для виготовлення м'ясорізальних інструментів, за методикою П.В. Назаренка [10]. Досліди проводили при терті без змащування, у дистильованій воді, а також у кислому pH 5,5 і лужному 7,4 середовищах м'ясного соку при відносній швидкості ковзання 2×10^{-3} м/с і нормальному навантаженні на зразки 60Н на лабораторній установці, в якій передбачена можливість зміни у широких межах тиску на фрикційному контакті, а також реєстрації сили тертя тензометричним методом [10].

Результати досліджень. При терті ковзання металів у КАС в результаті сорбційних та електрохімічних процесів на їх поверхнях утворюються адсорбовані шари і плівки вторинних структур, властивості яких залежать від хімічного складу і pH робочих середовищ, природи і структури металів, умов роботи вузлів тертя. Вони, в значній мірі, визначають характер зношування спряжених поверхонь [11]. Сорбційні та електрохімічні процеси змінюють фізико-хімічні властивості і тонку структуру твердих тіл, викликаючи до-

датковий потік дислокацій до поверхні внаслідок зниження поверхневого потенціального бар'єру за рахунок енергії реакції (хемомеханічний ефект) [11]. Вид руйнувань матеріалів залежить від величини і характеру напружень в них. Наприклад, відомо, що при всебічному нерівномірному стисканні, в залежності від величини головних напружень, матеріал може знаходитися у пластичному, крихкому чи перехідному стані. Під впливом напружень значно прискорюється взаємодія металів з середовищем, що, в свою чергу, полегшує процеси деформації (механіко-хімічний і адсорбційно-механічний ефекти) [12]. Багаточисельні і зазвичай взаємопов'язані форми впливу середовища на механічні властивості твердих тіл залежать від ряду чинників, з яких можна виділити основні: хімічний склад і pH робочих середовищ; електрохімічні властивості твердих тіл в конкретному середовищі, їх атомна будова і структура дефектів в об'ємі і на поверхні; умови деформування і їх вплив на електрохімічні властивості і структуру дефектів в тілах.

Для визначення впливу pH м'ясного соку на дислокаційну структуру поверхонь тертя експерименти проводили на монокристалах фториду літію при терті без змащування, у воді та у м'ясному соку з pH 5,5 та 7,4. Такі водневі показники соку характерні для яловичого м'яза за різних термінів автолізу. Кристали деформували на мікротрибометрі індентором КТ-1,5 при навантаженні 0,3 Н.

При терті без змащування на деформованих кристалах чітко виділяються лінії ковзання, утворені крайовими дислокаціями (рис. 1,а1) і розташовані у напрямку легкого ковзання {110} для даної сингонії. Їх довжина значно більша за половину ширини сліду індентора на поверхні зразка, а відстань між ними повторюється досить регулярно. На доріжці тертя, перпендикулярно до напрямку ковзання, спостерігали виступи (валки), що періодично повторюються.

Характер розташування ліній ковзання і валків на поверхні тертя свідчить про циклічність процесів і відповідному розповсюдженні пружно-пластичних хвиль напружень у зразках [12]. В перетині, перпендикулярному до ліній ковзання, в результаті взаємодії і виникнення нових дислокацій утворюється зона суцільних дислокацій. Максимальна її ширина знаходиться у приповерхневому шарі на глибині близько 50 мкм (рис. 1, *Іа*). Поза цією зоною дислокації шикуються у лінії, орієнтовані у напрямку легкого ковзання {110}.

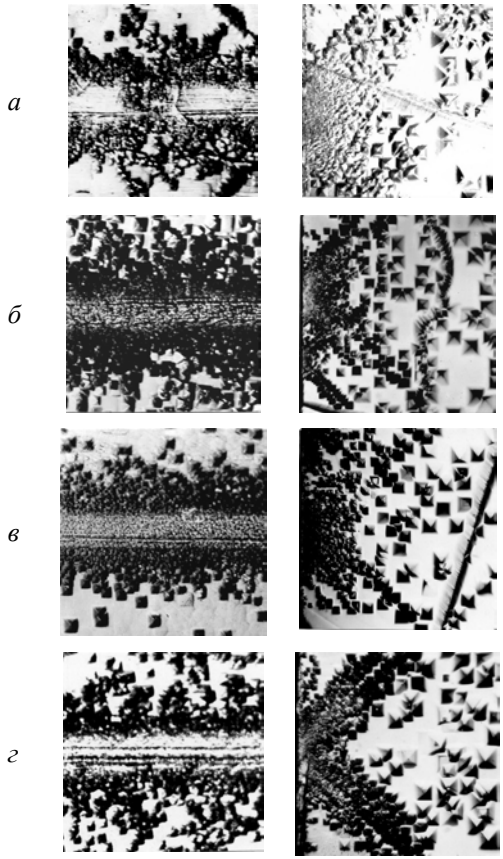


Рис. 1. Дислокаційна структура поверхонь тертя (*I*) і по глибині деформованої зони (*II*) в монокристалах фториду літію при терті без змащування (*а*), в дистильованій воді (*б*), кислому pH 5,5 (*в*) і лужному pH 7,4 (*г*) м'ясних соках

При терті у воді ширина деформованої зони більша, а нерівноважна концентрація дислокацій менша майже у 14 разів у порівнянні з тертям без змащування (рис. 2). При цьому довжина ліній ковзання і відстань між ними набагато менша і повторюються вони менш регулярно (рис. 1, *Iб*). Крім того, у воді об'єм деформованої зони менший,

а найбільша її ширина знаходиться значно ближче до поверхні (на відстані 3-4 мкм від неї), ніж при терті без змащування (рис. 1, *IIб*).

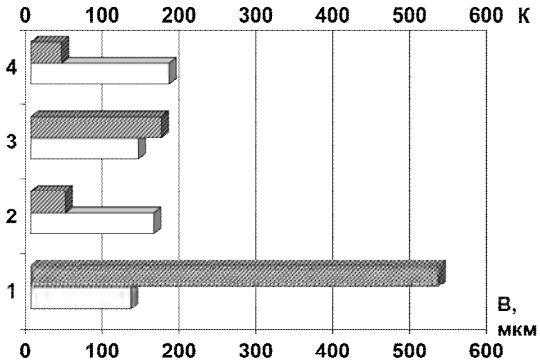


Рис. 2. Залежність ширини деформованої зони *В* (не заштриховано) і нерівноважної концентрації дислокацій К (заштриховано) в монокристалах фториду літію при терті без змащування (*1*), в дистильованій воді (*2*), кислому pH 5,5 (*3*) і лужному pH 7,4 (*4*) м'ясних соках

При терті у кислому м'ясному соку з pH 5,5 лінії ковзання на поверхні зразків ледве помітні. Зона деформацій має виразну межу, густина дислокацій у ній надзвичайно висока (рис. 1, *Iв*). Ширина цієї зони така ж, як і при терті без змащування (рис. 1, *IIб*).

Зі збільшенням pH соку з 5,5 до 7,4 ширина деформованої зони збільшується у 2 рази, а локальна концентрація дислокацій зменшується майже у 18 разів (рис. 2). В лужному середовищі поверхня зразків пластифікована на значній площі, а межа деформованої зони майже не вирізняється (рис. 1, *Iг*). Глибина цієї зони невелика (рис. 1, *IIг*).

При терті дільниці фактичного контакту поверхонь є джерелами хвиль механічних напружень. В результаті фотон-електронної взаємодії енергія хвиль напружень частково передається елементарним носіям зарядів, що призводить до їх зміщення у напрямку розповсюдження хвиль і виникнення електричного струму (акусто-електричний ефект). Густина цього струму, наприклад, за інтенсивності хвиль від 10^{-3} до 10 Вт/см^2 в натрії складала від 0,6 до 600 А/см^2. Опубліковані дослідження свідчать, що електричний струм може помітно впливати на напруження старту і усталену швидкість руху дислокацій

[13]. Тому є підстави вважати, що при терті без змащування рух дислокацій відбувається не лише під впливом механічних напружень, але також під впливом електричних струмів, виникаючих при деформації твердих тіл.

В рідких КАС змінюються пружні характеристики фрикційного контакту. У всіх досліджених нами випадках тертя в КАС зсувні процеси локалізуються у більш тонких поверхневих шарах порівняно з тертям без змащування (рис. 1–4). Плівки вторинних структур і адсорбовані чи бар'єрні шари по-різному впливають на поверхневу міцність матеріалів. В одних випадках вони знижують поверхневу енергію та зменшують приведене критичне зсувне напруження, збільшуючи тим самим швидкість деформації твердих тіл. При цьому робочі поверхні пластифіковані на значній площині, а нерівноважна концентрація дислокацій на них невелика.

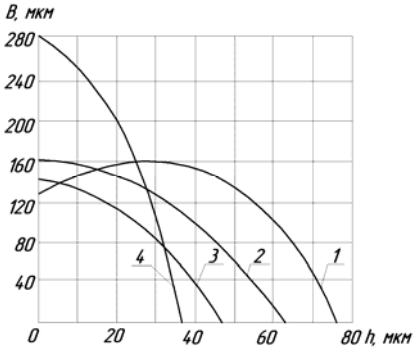


Рис. 3. Вплив умов тертя на ширину *B* і глибину *h* деформованої зони в монокристалах фториду літію при випробуваннях без змащування (*1*), в дистильованій воді (*2*), кислому pH 5,5 (*3*) і лужному pH 7,4 (*4*) м'ясних соках

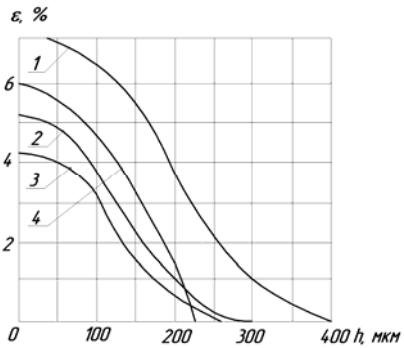


Рис. 4. Залежність відносної деформації ε і глибини деформованої зони h сталі 65Г (НВ 2,5 ГПа) від умов на фрикційному контакті (позначення на рис. 3)

Такі ефекти спостерігаються при терті у м'ясному соку з лужною реакцією. Ймовірно, у цьому випадку структура плівки і матричного матеріалу когерентні. Якщо плівка і матеріал підкладки мають різні параметри гратки і структуру, то сітка дислокацій невідповідності гальмує роботу підповерхневих джерел і є перепоною виходу і розрядженною на поверхні рухомих дислокацій, збільшу-

ючи межу текучості матеріалу [9]. В результаті на поверхнях тертя виникає висока локальна концентрація деформацій, яка може призвести до окрихчування поверхневого шару і утворення у ньому тріщин [11]. Це спостерігається на поверхнях тертя у кислому м'ясному соку, де надзвичайно висока нерівноважна концентрація дислокацій є причиною їх крихкого руйнування.

Для перевірки адекватності впливу КАС на монокристали і полікристалічні тіла визначали розвиток пластичної деформації при терті ковзання у відпаленій сталі 65Г, з якої часто виготовляють м'ясоподрібнювальні інструменти. Вплив КАС на розвиток пружно-пластичних деформацій сталі 65Г при терті ковзання визначали методом фотопружності [10]. З приведеного на рис. 4 графіка видно, що величина відносної деформації поверхонь збільшується, а глибина її розповсюдження зменшується при підвищенні pH м'ясного соку. Ці величини максимальні при терті без змащування. Аналогічно змінюються коефіцієнти тертя (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив робочих середовищ на коефіцієнти тертя

Умови випробувань	Коефіцієнт тертя
Без змащування	0,43
У дистильованій воді	0,30
У кислому м'ясному соку	0,22
У лужному м'ясному соку	0,18

При співставленні графіків на рис. 3 і 4 видно, що приведені на них залежності якісно подібні. Глибина зони суцільних дислокацій і її ширина в деформованих монокристалах відповідає глибині деформованої зони і відносної деформації поверхонь тертя зразків із сталі 65Г. Ці дані свідчать про можливість кореляції параметрів процесів деформування монокристалів і полікристалічних тіл.

Узагальнюючи викладене можна констатувати, що характер руйнування поверхонь тертя в КАС різний і залежить від їх властивостей. В кислому середовищі м'ясного соку реалізується крихке руйнування, а у лужному м'ясному соку – в'язке руйнування або диспергування. Локалізація зсувних деформацій у лужному м'ясному соку призводить до зменшення тангенційних зусиль, які обумовлюють цю деформацію. Тому сила тертя у такому середовищі менша за силу тертя у кислих середовищах.

Відомо, що можливість схоплювання визначається імовірністю контакту ювенільних поверхонь і активністю дислокацій, які на них виходять (величиною енергії, акумульованої кристалічною граткою) [14]. У зв'язку з цим вантажопідіймальність вузлів тертя має бути меншою в кислих середовищах.

Вплив КАС на дислокаційну структуру деформованих поверхонь різний і залежить від властивостей середовищ, характеру і рівня напружень у зразках.

При терті у дистильованій воді, з підвищенням стискаючих напружень, збільшується щільність дислокацій і ширина деформованої зони в плоско-напружених зразках (рис. 5, *I*). Лінії ковзання розташовані вздовж доріжки тертя у напрямку {110} на досить рівній відстані одна від однієї. В об'ємно-напружених зразках ширина деформованої зони більша, але помітно нижча нерівноважна концентрація дислокацій К (рис. 6):

$$K = N_d / N_c, \qquad (2)$$

де N_d – щільність дислокацій у деформованій зоні, см$^{-2}$; N_c – щільність дислокацій по вільному полю, см$^{-2}$.

У кислому середовищі зі збільшенням напружень ширина деформованої зони стає більшою, особливо в об'ємно - напружених зразках. На поверхнях монокристалів, випробуваних на першому рівні напружень, в плоско напруженому стані, видно подряпини, розташовані у напрямку руху індентора (рис. 5, *II*).

В об'ємно-напружених зразках, випробуваних на другому рівні напружень, на доріжці тертя під кутом 100–110º до напрямку ковзання утворюються тріщини, довжина яких більша за ширину сліду індентора. У цьому випадку нерівноважна концентрація дислокацій у деформованій зоні приблизно в 4 рази більша, ніж при випробуваннях плоско-напружених кристалів (рис. 6).

У лужному м'ясному соку збільшення стискаючих напружень сприяє зменшенню нерівноважної концентрації дислокацій на поверхнях тертя і незначному збільшенню ширини деформованої зони (рис. 6). Аналогічно змінюється характер деформації робочих поверхонь зразків при переході від плоского до об'ємно-напруженого стану (рис. 5, *III*).

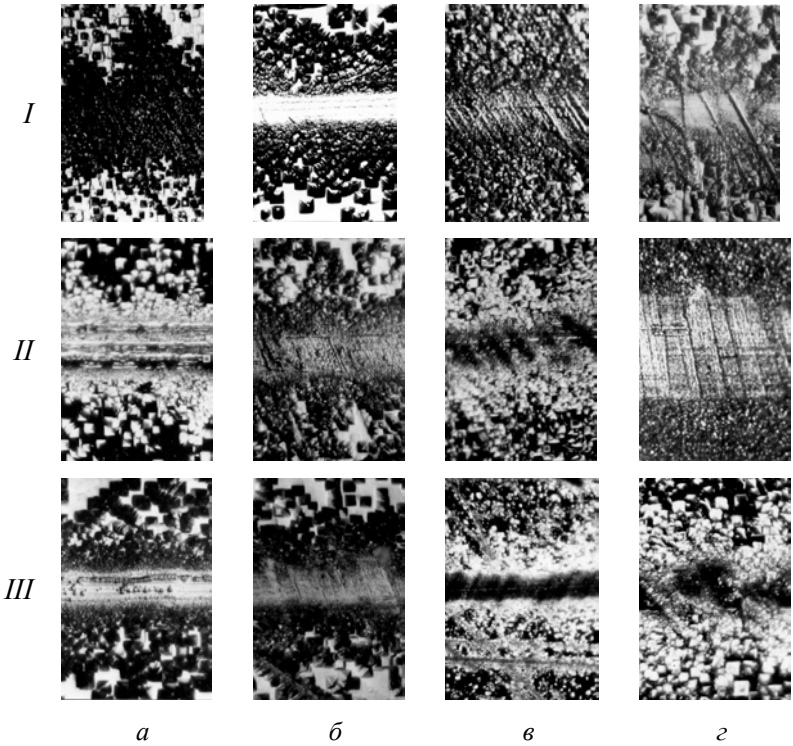
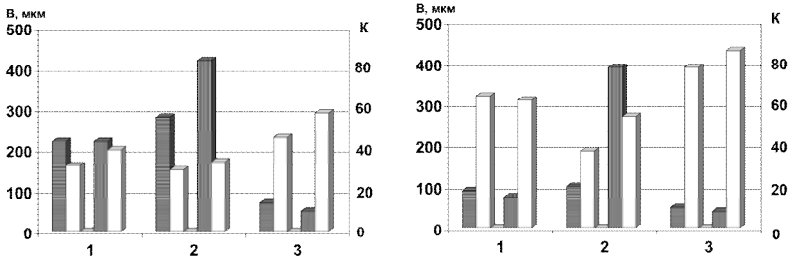


Рис. 5. Дислокаційна структура робочих поверхонь монокристалів фториду літію при терті в плоско- (*а*, *в*) і об'ємно-напруженому стані (*б*, *г*) на першому (*а*, *б*) і другому (*в*, *г*) рівні напружень в дистильованій воді (*I*), кислому pH 5,5 (*II*) і лужному pH 7,4 (*III*) м'ясному соку

Тут також очевидне пластичне відтискання матеріалу на доріжці тертя і висока густина полос ковзання. Відомо, що ступінь пластифікування поверхонь твердих тіл визначається кутом повороту блоків, величина якого обернено пропорційна відстані між дислокаціями вздовж меж блоків [15].

В кислому м'ясному соку при переході від плоского до об'ємного напруженого стану, а також при збільшенні рівня стискаючих напружень відбувається окрихчування поверхонь тертя і утворення на них тріщин. У відповідності з моделлю Зінера-Стро [15] деформація у твердому тілі локалізується у полосах ковзання, які грають роль в'язких включень у пружній матриці.



а *б*

Рис. 6. Ширина деформованої зони *B* (не заштриховано) і нерівноважна концентрація дислокацій *K* (заштриховано) при терті монокристалів фториду літію в плоско – (горизонтальні штрихи) і об'ємно-напруженому стані (вертикальні штрихи) на першому (*а*) і другому (*б*) рівні напружень у дистильованій воді (*1*), кислому pH 5,5 (*2*) і лужному pH 7,4 (*3*) м'ясному соку

У кислому середовищі соку висока локальна концентрація напружень головних дільниць полос ковзання не сприяє відновленню ковзання, а викликає втрату стійкості кристалічної гратки монокристалів. Причиною цього, ймовірно, є блокуючий вплив на тонку структуру зразків хемосорбованих і оксидних плівок. У цьому середовищі виникає сама висока зі всіх розглянутих випадків локальна концентрація дислокацій. На першому рівні напружень вона більша, ніж при терті у лужному м'ясному соку, у 5 разів, а на другому рівні напружень – в 11 разів.

Висока щільність дислокацій на поверхнях монокристалів у лужному м'ясному соку, на наш погляд, є наслідком зниження їх енергії активації. Утворювані на поверхні сорбовані шари і вторинні структури не є перепоною для виходу і розрядження дислокацій. У цьому середовищі поверхні зразків пластифіковані настільки інтенсивно, що на їх стан впливає не характер стискаючих напружень, а лише їх величина.

З аналізу впливу КАС на субмікроструктуру зразків виходить, що для зменшення крихкого руйнування поверхонь тертя різальних інструментів м'ясоподрібнювальних машин в кислих м'ясних соках необхідно використовувати матеріали з мінімальним рівнем напружень у кристалічній гратці. Це, наприклад, нормалізовані або покращені сталі. У лужних середовищах поверхневі шари металів повинні мати підвищену твердість зі значними макро- і мі-

кронапруженнями, що може зменшити їх спрацювання в результаті диспергування. Для цього можна використовувати хіміко-термічну обробку, термо- і електромеханічне зміцнення, наклепування, обробку на білий шар тощо [1].

Прийнято вважати, що стійкість різального інструменту корелює зі зносостійкістю інструментального матеріалу. Тому для виготовлення інструментів, подрібнюючих м'ясну сировину з лужною реакцією, можна рекомендувати тверді і навіть крихкі матеріали і покриття, а у разі обробки сировини з кислою реакцією – матеріали в'язкі і пластичні. З урахуванням того, що м'ясна сировина, в залежності від терміну автолізу, може бути у кислому, лужному і нейтральному стані та може перероблятися на одній і тій же м'ясорізальній машині, то підібрати сталь, яка б мала одночасно високий рівень твердості і пластичності, або забезпечити такі властивості за рахунок її термічної обробки досить важко. У цьому випадку перспективними можуть бути захисні зносостійкі евтектичні покриття на різальних інструментах, нанесені з використанням концентрованих джерел енергії [16], вакуумні іонно-плазмові покриття дискретного типу (острівні, мозаїчні, перфоровані, стільникові) [17] та інші покриття, які, завдяки своїй будові, поєднують у властивостях твердість, пластичність і корозійну стійкість у лужних, нейтральних і кислих середовищах та високу зносостійкість при терті.

Висновки:

1. М'ясні соки, незалежно від їх кислотно-лужного балансу (величини pH) сприяють локалізації деформації у більш тонких поверхневих шарах твердих тіл у порівнянні з тертям без змащування.

2. Підвищення pH м'ясних середовищ з 5,5 до 7,4 викликає збільшення відносної деформації робочих поверхонь твердих тіл і зменшення глибини деформаційної зони.

3. В кислому м'ясному соку висока локальна концентрація дислокацій призводить до крихкого руйнування м'ясоподрібнювальних інструментів. М'ясний сік з лужною реакцією викликає адсорбційне пластифікування, а при деформуванні – диспергування їх робочих поверхонь.

4. Вплив КАС на поверхневу міцність твердих тіл проявляється у зміні їх поверхневої енергії і перерозподілі дисипативних

складових енергії деформації, викликаному сорбційними процесами і окиснюванням.

5. Перспективними для зміцнення м'ясоподрібнювальних інструментів можуть бути зносостійкі евтектичні покриття та покриття дискретного типу, які забезпечують поєднання необхідної міцності і пластичності, що дозволяє отримати задовільну зносостійкість інструментів при переробці м'ясної сировини з різним терміном автолізу.

Список літератури

1. *Сухенко Ю.Г.* Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: Підручник / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко; під ред. професора Сухенка Ю.Г. – К.: НУХТ, 2010. – 547с.

2. *Чижикова Т.В.* Машины для измельчения мяса и мясных продуктов: [Текст] / Т.В. Чижикова.– М.: Легкая промышленность, 1982. – 302с.

3. *Каданер Л. И.* Защитные пленки на металлах [Текст] / Л. И. Каданер. – Харьков: Изд-во Харьк.ун-та, 1956. – 283 с.

4. *Оше Е.К.* Метод определения характера и степени отклонения от стехиометрии поверхностных окислов на металлах в растворах электролитов / Е.К. Оше, И.Л. Розенфельд // Сб. «Новые методы исследования коррозии металлов». – М.: Наука, 1956. – С.35-46.

5. *Алёхин В.Д.* Некоторые особенности микропластической деформации поверхностных слоев полупроводниковых кристаллов при температурах ниже и выше температурного порога хрупкости: [Текст] / В.Д. Алехин, М.Л. Шоршоров, Г.Г. Алиев и др. // В сб. «Металлофизика», К., «Наук. думка», 1973, Вып. 44, –С.41–42.

6. *Амелинкс С.* Методы прямого наблюдения дислокаций: [Монография] / С. Амелинкс; Пер. с англ. В.М.Кардонского. – М.: Мир, 1968. – 440с.

7. *Коваленко В.С.* Металлографические реактивы: [Справочник] / В.С. Коваленко. – М.: Металлургия, 1970. – 134с.

8. *Новицкий А.Е.* Микротрибометр для исследования электрохимических процессов при деформации поверхностного слоя металлов [Текст] / А.Е. Новицкий, М.А. Сологуб; Мин. высш. и ср. спец. обр-ния // Проблемы трения и изнашивания: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – К.: Техніка, 1981. – Вып.19, 1–109. –С.58–60.

9. *Набарро Ф.Р.Н.* Пластичность чистых монокристаллов / Ф.Р.Н. Набарро, З.С Базинский, Д.Б. Холт. Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1967.– 126 с.

10. *Назаренко П.В.* Исследование влияния упруго-пластических деформаций и структурных изменений на процессы внешнего трения и износостойкость. Автореферат дисс. . .докт. техн. наук. – К.: КИИГА, 1973. – 49 с.

11. *Костецкий Б.И.* Механохимические процессы при граничном трении / Б.И. Костецкий, М.Є. Натансон, Л.Л. Бершадский. – М.: Наука, 1972. – 170с.

12. *Боуден Ф.* Трение и смазка твердых тел: [Монография] / Ф. Боуден, Д. Тейбор; Пер. с англ. Под ред. д-ра техн. наук И. В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 543с.

13. *Постников С.Н.* Электрические явления при трении и резании: [Текст] / С.Н. Постников. – Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1975. – 280с.

14. *Костецкий Б.И.* Процесс схватывания металлов и критерии оценки его интенсивности / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский // Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техніка, 1972. Вып. 2. – С.74–77.

15. *Хоникомб Р.* Пластическая деформация металлов: [Монография] / Р. Хоникомб; Перевод с англ. под ред. докт. физ-мат. наук Б.Я. Любова. – М.: Мир, 1972. – 408с.

16. *Структуроутворення та* формування триботехнічних властивостей евтектичних покриттів / М.В. Кіндрачук, Ю.А. Куницький, О.І. Дудка, Ю.Г. Сухенко, В.М. Коржик. – К.: Вища школа, 1997. – 120 с.

17. *Антонюк В.С.* Основи підвищення працездатності різального інструменту шляхом формування зносостійких покриттів дискретного типу [Текст]: Дис...докт. техн. наук спец. 05.03.01 / В.С. Антонюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2006. – 309с.

Сухенко В.Ю. **Обоснование основ обеспечения износостойкости мясорежущих инструментов** // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С.76–92.

С учетом закономерностей физики твердого тела и физико-химической механики материалов исследованы процессы образования и движения дислокаций при трении и деформации моно- и поликристаллических твердых тел в технологических средах мясоизмельчительных машин, что может быть надежной основой при выборе сталей для режущих инструментов и способов их упрочнения.

Табл.: 3, рис. 6, список лит.: 17 наим.

Sukhenko V.Y. **Rationale for the foundations to ensure wear resistance of cutting tools meat**

Taking into account the laws of solid state physics and physical-chemical mechanics of materials studied the formation and motion of dislocations in friction and deformation of mono-and polycrystalline solids in industrial environments cutting tools meat machines, which can be a reliable basis for selection of steels for cutting tools and methods for their strengthening.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2012