

Шифр - «Епілам»

«Епіламування поверхні як спосіб пластифікації холоднокатаних
автолистових сталей»

ЗМІСТ

Вступ	3
1. Стан питання.....	5
2. Мета і задачі роботи	9
3. Матеріали та методики досліджень.....	10
4. Результати експериментальних досліджень	12
Висновки	21
Перелік використаних джерел.....	22

Вступ

Від загальної кількості металургійної продукції значну частку становить тонколистова сталь. Холоднокатані тонколистові маловуглецеві сталі широко використовуються у всіх галузях народного господарства. Їх виробництво складає більше 50% загального об'єму прокату, і, незважаючи на застосування нових конструкційних матеріалів, ці сталі як і раніше займають провідне місце в автомобілебудуванні, у виробництві сільськогосподарських та дорожньо - будівельних машин, в електротехнічній промисловості і будівництві, в побутовій техніці та інших галузях народного господарства. Деталі виготовляють холодним листовим штампуванням, яке є одним з основних видів обробки металу тиском, бо процес продуктивний, енергозберігаючий, характеризується малими відходами металу і може бути використаний для дуже широкої номенклатури виробів як за розміром, так і за конфігурацією. Так вага штампованих з листа деталей, наприклад, в автомобілебудуванні становить близько 65–70%, а у виробництві товарів народного споживання 95 – 98%. На підприємствах у цехах холодного штампування близько 90% продукції складають тонколистові холоднокатані (автолистові) сталі з вмістом вуглецю 0,08 % різних марок (08кп, 08пс, 08Ю).

Сучасні автоматичні високопродуктивні лінії холодного штампування виробів із тонколистових заготовок низьковуглецевої сталі потребують від неї глибокого та складного витягування у зв'язку з ускладненням геометричної форми штампованих деталей. В той же час підвищення рівня вимог до технологічної пластичності, передбачає необхідність збереження міцності сталі. Отже у практиці машинобудівних підприємств нерідко спостерігається недостатня штампуємість листових заготовок при виготовленні виробів, що пов'язано з відсутністю методів підвищення здатності до витяжки вже готового листа, і як результат до відчутних економічних втрат. Це визначає

актуальність робіт, спрямованих на пошук нових рішень, які забезпечать збільшення технологічної пластичності заготовок із вже готового сталевго листа для отримання необхідного ступеня деформації і потрібної категорії витягування без руйнування, і збереження при цьому достатньої міцності після штампування для зниження металоємності готової продукції.

.

Стан питання

В залежності від технологічної пластичності сталей 08кп, 08пс, 08Ю. їх здатність до штампування з витягуванням визначається за максимальною глибиною лунки без утворення тріщини при випробуваннях на видавлювання по Еріксену (ГОСТ 10510-80). За цим показником згідно ГОСТ 9045-93 [1] тонкий лист товщиною до 2 мм поділяється на 4 категорії: вельми особливо складного (ВОСВ), особливо складного (ОСВ), складного (СВ) і вельми глибокого (ВГ) витягування. Існує ще група ВОСВ-Т з підвищеною технологічною пластичністю. При цьому слід зауважити, що здатність до витягування відповідно категоріям СВ, ОСВ, ВОСВ і ВОСВ-Т забезпечується тільки для сталі 08Ю. Сталі 08пс та 08кп призначені тільки для однієї категорії ВГ.

На стадії виробництва листа його технологічна пластичність залежить від хімічного складу сталі та режиму рекристалізаційного відпалу: чим менше в сталі вуглецю і домішкових атомів, і чим нижча границя текучості $\sigma_{0,2}$ після відпалу, тим вона вища [2,3]. Рекристалізаційний відпал холоднокатаного прокату повністю знімає наклеп, метал набуває рівноважної структури, відновлюється його пластичність, покращується здатність до штампування. В той же час ця обробка потребує спеціального обладнання, значних витрат електроенергії, бо є довготривалою [4,5].

Однак у практиці нерідко має місце недостатня штампуємість листових заготовок, що призводить до значного браку і витрат металу. Застосовувати для підвищення пластичності повторний рекристалізаційний відпал в ковпакових печах недоцільно – процес призначений для великої маси металу, є довготривалим і енерговитратним. Використовувати ж лінії безперервного прискореного відпалу заготовок просто не можливо [2, 5].

Згідно сучасним уявленням поверхневий шар навантаженого виробу, який деформується, є самостійною підсистемою, грає важливу

функціональну роль і радикально впливає на рівні його пластичної течії та властивостей [6 - 9].

В огляді робіт [10] також наголошується, що обробка поверхні впливає на характер кривої розтягування, на процеси крихкого і втомного руйнування. Різниця в характері деформаційних кривих поверхневого шару і центральної частині зразка при розтягуванні відзначається і в інших дослідженнях [11].

Значна кількість [12-14] досліджень свідчить, що обробкою поверхні концентрованими потоками енергії можливо керувати властивостями як поверхні, так і всього об'єму матеріалу виробу. Переконливі результати досліджень [15] свідчать, що при іонно-променевому модифікуванні поверхні істотно підвищуються механічні властивості. При статичному розтяганні збільшилися значення $\sigma_{0,2}$ до 80 %, σ_B до 30 % і при цьому пластичність зросла майже в 2 рази. Границя витривалості σ_{-1} збільшилася більш ніж на 50% і довговічність на її базі - більш ніж в 5 разів. Підкреслюється можливість одночасного поліпшення зазвичай протилежних показників міцності і пластичності.

Спираючись на аналіз літературних джерел, в роботі досліджений вплив епіламування (ЕП) поверхні виробу на його деформаційну поведінку та формування властивостей. ЕП є одним із сучасних видів нанопокриттів, який полягає в обробці поверхневого шару виробу поверхнево активними фторвмісними речовинами, що звуться епілами [16].

Обробка поверхні ЕП приводить до формування плівки нанорозмірною товщини від 3 до 20 нм в залежності від якості підготовки поверхні (рівня шорсткості), структури матеріалу основи, умов і методів нанесення, хімічного складу композиції епілама і др. [17-19]. ЕП виконують за допомогою хладоновмісних розчинів (фторПАВ) які після покриття поверхні випаровуються, а саме речовина фторПАВ вступає в реакцію з поверхнею, формуючи моношар орієнтованих молекул у вигляді нанорозмірною плівки, яка кардинально змінює енергетичний стан поверхні твердого тіла. Молекули

щільно закріплені за рахунок сил хемосорбції з поверхнею і утворюють так звану структуру (частокол) Ленгмюра у вигляді спіралей з осями, направленими перпендикулярно до оброблюваних поверхонь (рис.2.1).

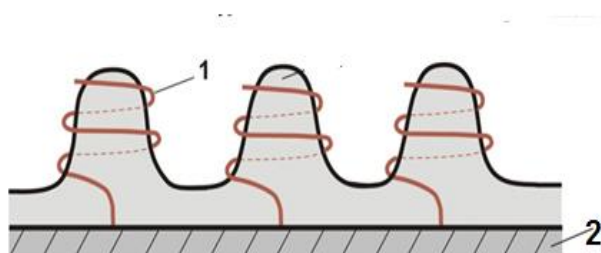


Рисунок 2.1 – Частокол Ленгмюра на епіламаній поверхні твердого тіла: 1 – молекула ПАВ, 2 – поверхня твердого тіла

Спіралеподібні молекули фторПАВ «висаджуються» на поверхню в місцях де є порушення кристалічної решітки. Внаслідок високої проникаючої здатності (дуже низького поверхневого натягу) вони заповнюють пори, мікротріщини, подряпини та інші місця концентрації напружень (рис. 2.2) і тим самим зменшують поверхневу крихкість. Епілами мають якості мікророзподілення, змінюють топографію поверхні, зменшують параметри мікрошорсткості, створюючи тим самим рівну поверхню високої чистоти.



Рисунок 2.2 – Заповнення епіламом мікропор и мікрокапілярів
1 – поверхня твердого тіла, 2 – ПАВ

ФторПАВ, заповнюючи усі пори і мікротріщини, ще і дегазує їх, витісняючи сконденсовані гази (водень, вуглекислий газ) та вологу, додатково пригнічуючи окрихчення матеріалу.

Одним з найважливіших переваг ЕП є те, що воно не змінює структуру оброблюваної твердої поверхні, а лише модифікує її, надаючи зносостійкі антифрикційні, антиадгезійні, антикорозійні, захисні (в тому числі від механічних впливів) і інші корисні властивості. Практично незмінними залишаються і геометричні розміри оброблюваних деталей, так як товщина плівок дуже мала - до 80Å (10^{-8} см) [20]. Епілами утворюють з металевими поверхнями єдине хімічне ціле (за рахунок утворення хемосорбційних і хімічних зв'язків), стримуючи основний удар на поверхні.

Епіламіруючі речовини, маючи широкий діапазон різних властивостей, широко застосовуються в багатьох галузях промисловості, в тому числі в авіа-, судно-, автомобіле- і верстатобудуванні, тракторному, залізничному і сільськогосподарському машинобудуванні, електронно, радіо- і приладобудуванні [16,17,20].

Об ефективності використання ЕП з метою підвищення зносостійкості виробів свідчать роботи [21 - 24]. Оцінка позитивного впливу ЕП при операціях штампування, вирубки та витяжки доведена авторами [25]: підвищується якість відштампованих та випресуваних виробів, знижується брак, підвищується продуктивність і в 2- 4 рази зростає стійкість інструменту.

Аналіз наукової літератури свідчить, що сфери застосування епіламів не вичерпуються наведеними прикладами. Що ж стосується впливу ЕП на деформаційну поведінку виробів та їх механічні і технологічні властивості, то такі дослідження до нас не проводилися.

Всі описані явища дозволяють очікувати, що ЕП, згладжуючи поверхню, ліквідує потенційні концентратори напружень та осередки руйнування, має сприяти підвищенню, механічних характеристик, особливо показників пластичності виробів, а також їх надійності і довговічності. З'ясуванню цих питань і присвячена дана робота.

2 Мета і задачі роботи

Метою роботи є підвищення технологічної пластичності при збереженні міцності виробів із холоднокатаної низьковуглецевої листової сталі шляхом поверхневого ЕП.

В роботі були поставлені наступні задачі:

- 1 – дослідити вплив ЕП на деформаційну поведінку і властивості листових зразків при розтяганні,
- 2 – визначити вплив поверхневого шару після ЕП на деформівність листових заготовок, які підлягають холодному штампуванню.

3 Матеріали і методики досліджень

Експерименти виконані на листових маловуглецевих холоднокатаних сталях 20 (товщина прокату 1,2 мм) і 08кп (товщина 0,5 мм). Поверхню сталевих зразків в стані постачання покривали нанорозмірною мономолекулярною плівкою епіламу - фтор поверхнево-активною речовиною (фтор ПАР) марки СФК-05. Нанесення фторПАР на поверхню виробів можна здійснювати різними способами: пензлем, тампоном, розпиленням в камерах, зануренням у розчин, вручну або в автоматизованих установках. Вибір способу нанесення визначається властивостями і розмірами виробів.

В наших експериментах епіламування проводили зануренням листових зразків на 10 хв в ванну із епіламом при температурі 50 - 55 °С для утворення тонкої щільної плівки на поверхні виробу.

Процес нанесення наноплівки фторПАВ складається з наступних операцій: знежирення і очищення поверхні від механічних забруднень → епіламірованіе → термофіксація → контроль [26].

.Зразки оброблені епіламом марки СФК-05 (ТУ 2412-002-13868195-2012), який складається з перфторполіефіру з кінцевою кислотною групою і розчинника. Як розчинник використовували суміш фторвуглеродів і фторхлоруглеводородів при співвідношенні компонентів: перфторполіефір 0,1-1,0%, азеотропна суміш 99,9 - 99,0%.

ЕП піддавали циліндричні зразки для випробувань на розтяг, а також плоскі зразки. ЕП циліндричних зразків призначених для розтягання здійснювали згідно ТН 1831010 в горизонтальному положенні в герметичній ємності при температурі 55 ° С протягом 15 хвилин (рис. 3.1, а, б). Плоскі зразки обробляли в вертикальному положенні (рис. 3.2, в, г). Термофіксацією плівки робили при температурі 110 ° С протягом 50 хвилин.



Рисунок 3.1 - Епіламірованіє зразків:: а, б - циліндричних;
в, г - плоских

Шорсткість и Профіль поверхні визначавши с помощью профілометра-профілографа TRa200 Із чутливістю датчика аналізатора 0,002 мкм, что дозволило оцініті топографію поверхні від 0,005 мкм. Похібка вимірювання R_a не перевищувала 10%.

Механічні характеристики визначавши при випробуванні на розтяг стандартних плоских зразків Із розміром p части $80 \times 12,5 \times 1,2$ мм. Здатність до вітягування оцінювали на зразках зі сталі 08кп розміром $50 \times 50 \times 0,5$ мм за методом Еріксену. Результати випробувань обробляли методами математичної статистики.

Металографічні дослідження проводили за стандарними методиками.

4 Результати експериментальних досліджень

З метою визначення впливу ЕП на показники пластичності плоскі зразки розміром $100 \times 20 \times 1,2$ мм зі сталі 20 у відпаленому стані піддавали випробуванням на розтяг. Діаграми розтягування наведені на рис. 4.1, залежності $\sigma = f(\epsilon)$ - на рис 4.2, механічні властивості - в табл. 4.1.

Результати досліджень свідчать, що ЕП при відносно незначному зниженні характеристик міцності (σ_B , $\sigma_{0,2}$ зменшуються на 4 % та 9 % відповідно) приводить до істотного збільшення показників пластичності, а саме відносного подовження на 44 % і відносного звуження на 57 %. У той же час, дійсне напруження руйнування S_k у зв'язку з виключно високою пластифікацією зростає на 12 %. Таким чином, справжня міцність листових заготовок вища ніж у листа в стані постачання.

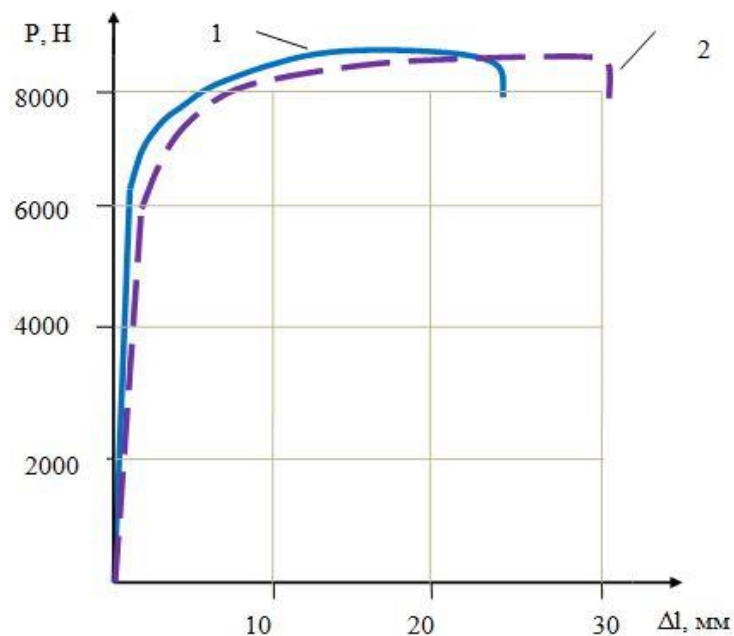


Рисунок 4.1 - Діаграми розтягування плоских зразків сталі 20 без епіламування (кр. 1) і після епіламування (кр. 2)

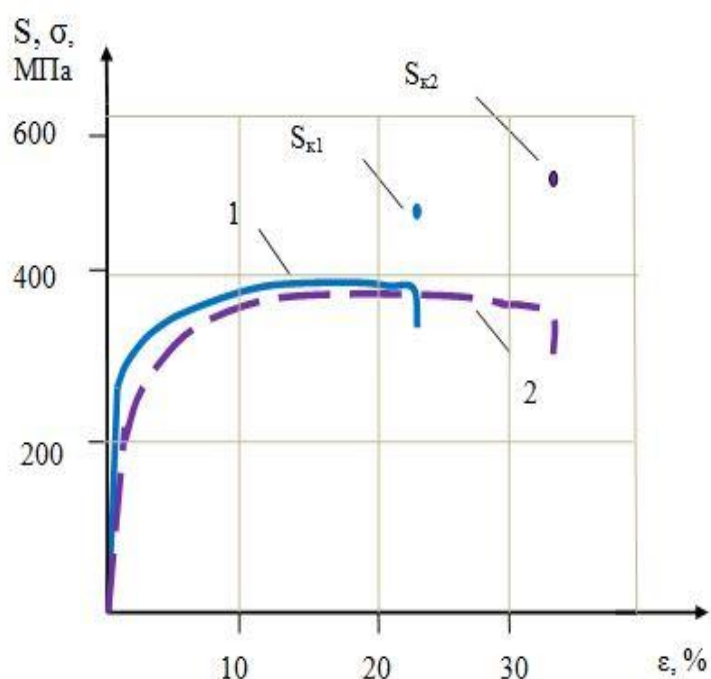


Рисунок 4.2 - Залежність «напруження – деформація» для плоских зразків сталі 20: 1 - без епіламування; 2 - після епіламування

Таблиця 4.1 Результати випробувань плоских зразків сталі 20 в різному стані

Стан	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$S_{до}$, МПа	δ , %	ψ , %
Без епіламування	375	290	480	25	21
Після епіламування	360	265	540	36	33

Значне збільшення пластичності підтверджує і зовнішній вигляд зразків після руйнування (рис. 4.3). Видно, що зразки після епіламірованія при випробуванні на розтяг подовжуються набагато істотніше, а місце зламу після епіламування більш деформоване.

Треба зазначити, що твердість листа при цьому залишилася незмінною (до ЕП $HV5 = 130 - 133$ МПа, після ЕП – $129 - 132$ МПа). Це свідчить про те, що зміна властивостей після обробки поверхні ЕП пов'язана не з

характеристиками матеріалу, а з іншою поведінкою листових зразків при деформації, що чітко ілюструють криві розтягування.

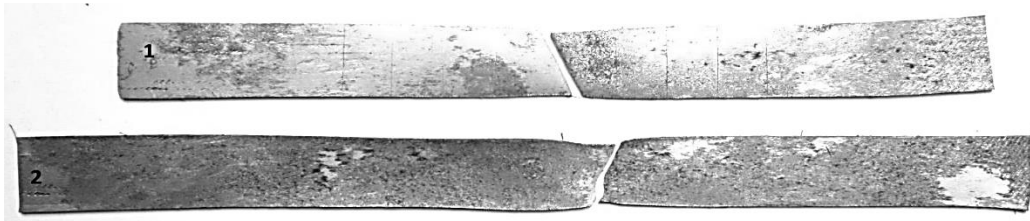


Рисунок 4.3 - Зовнішній вигляд плоских зразків стали 20 після випробувань на розтяг: 1 - вихідний; 2 - після епіламірованія

Як відомо, деформівність зразка з певного матеріалу істотно залежить від шорсткості його поверхні. Потрібно відзначити, що якість шліфування не було високою, про що говорить велика $Ra = 1,6$ мкм.

Оцінка профілей поверхні без епіламірованія і після нього (рис. 4.4) свідчить про суттєве зменшення шорсткості Ra після епіламірованія - з 1,6 мкм до 0,21 мкм. Потрібно відзначити, що якість шліфування не було високою, про що говорить велика Ra . Після епіламірованія фіксується значне згладжування профілю поверхні, видно, яке відбулося переважно за рахунок заліковування тріщин і глибоких западин. На загальному згладженому тлі реєструються лише окремі виступи (рис. 4.4, б).

У початковому стані на поверхні видно грубі ризики і подряпини - сліди шліфування. Епіламірованіє помітно згладжує поверхню. Особливо наочно це проявляється при дослідженнях, виконаних з використанням скануючого електронного мікроскопа (рис. 4.5).

З цих спостережень випливає, що товщина утворюється плівки значна, у всякому разі, не менше 1 мкм. До такого висновку можна прийти, порівнявши профіль, отриманий після епіламірованія, з профілем шліфованого зразка на висоті ~ 1 мкм (рис. 4.4, а).

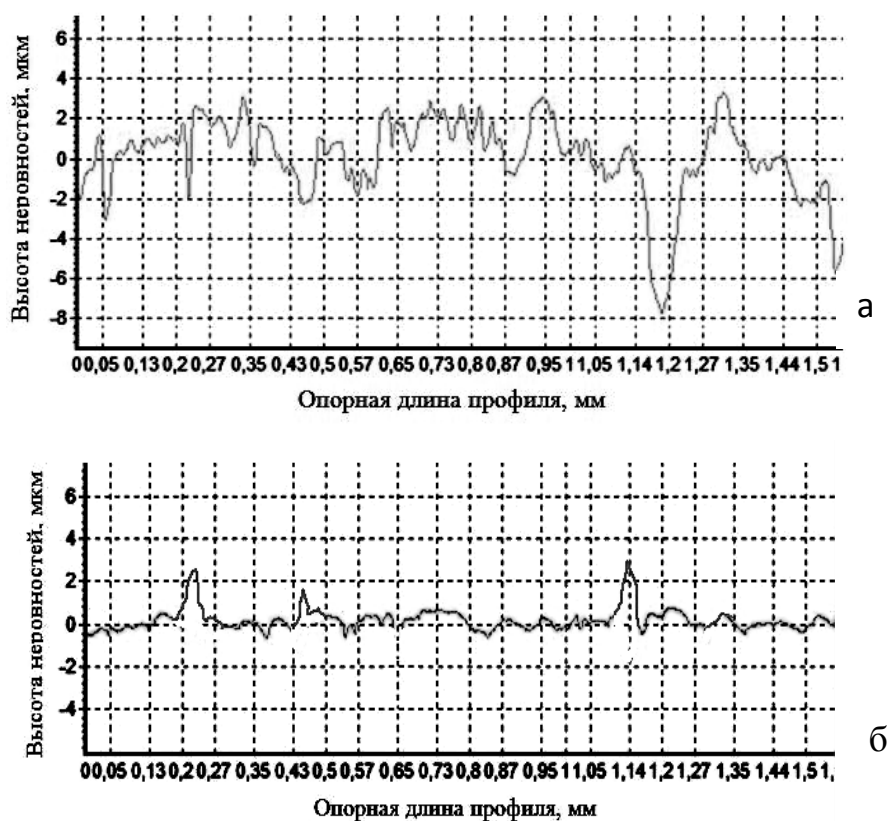


Рисунок 4.4 - Профілограми зразків отожженої сталі 20:

а - вихідний; б - після епіламірованія

У початковому стані на поверхні видно грубі ризики і подряпини - сліди шліфування. Епіламірованіє помітно згладжує поверхню. Особливо наочно це проявляється при дослідженнях, виконаних з використанням скануючого електронного мікроскопа (рис. 4.5).

З цих спостережень випливає, що товщина утворюється плівки значна, у всякому разі, не менше 1 мкм. До такого висновку можна прийти, порівнявши профіль, отриманий після епіламірованія, з профілем шліфованого зразка на висоті ~ 1 мкм (рис. 4.4, а).

Як зазначалося, епілами утворюють мономолекулярні плівки нанорозмірною товщини. Наші спостереження говорять про те, що отриманий після епіламірованія шар можна уявити, як ряд нанорозмірних плівок, що нашарувалися одна на іншу.

На рисунках 4.5 та 4.6 показані фотографії стану поверхні поверхні цих зразків до і після епіламування

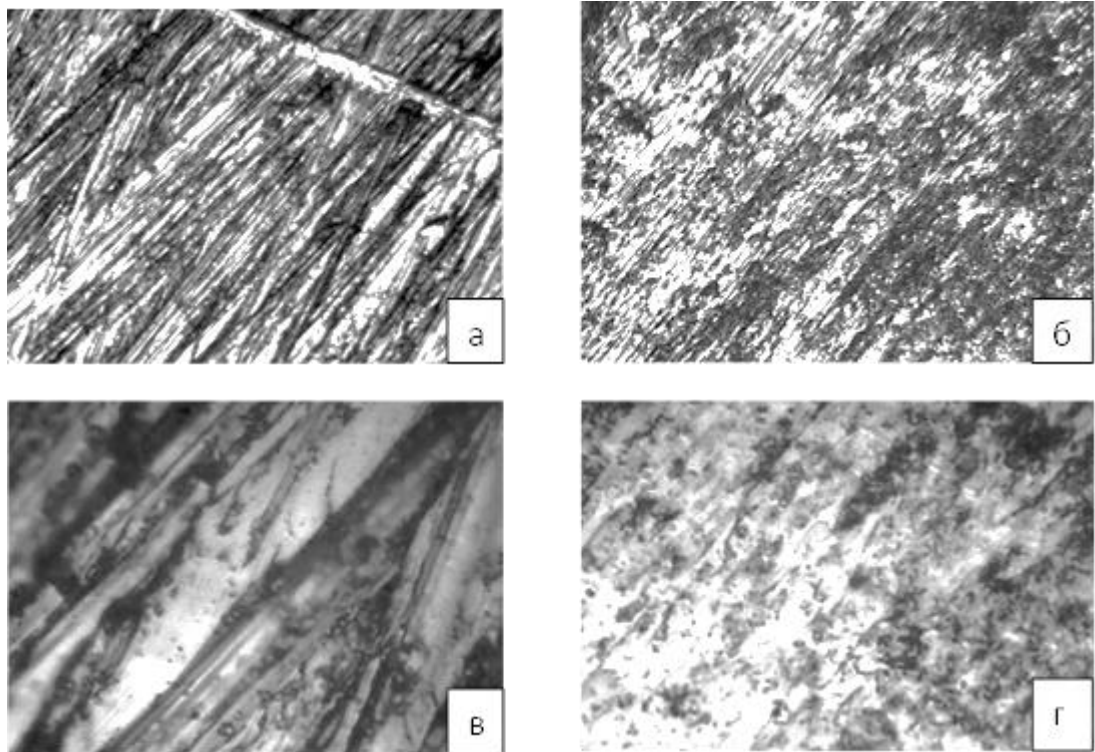


Рисунок 4.5 - Поверхня зразків зі сталі 20 після різної обробки: а, в - шліфування; б, г - епіламування;
а, б - $\times 200$; в, г - $\times 1000$

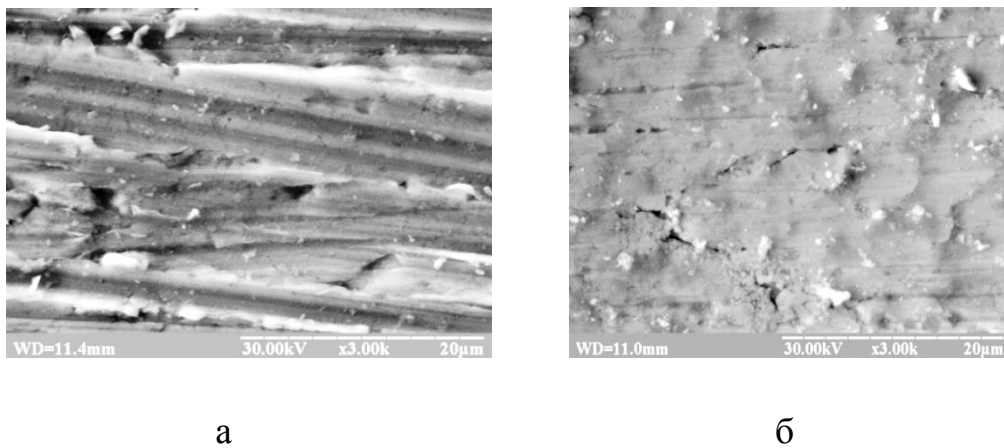


Рисунок 4.6 – Поверхня зразків зі сталі 20 після різної обробки: а - шліфування; б - епіламування; $\times 3000$

На рис.4.7 наведені криві «напруження σ -деформація ε » зразків сталі 20 в початковому стані і після ЕП. Значення механічних характеристик надані в таблиці 4.2.

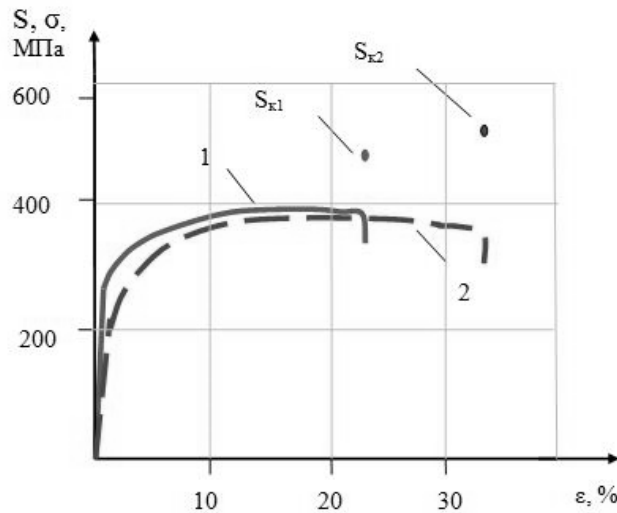


Рисунок 4.7. – Залежність «напруження – деформація» для зразків сталі 20
: 1 – до ЕП; 2 – після ЕП

Таблиця 4.2– Механічні характеристики зразків зі сталі 20 до та після ЕП

Стан	σ_b , Мпа	$\sigma_{0,2}$, Мпа	S_k , Мпа	δ , %	Ψ , %
Без ЕП	375	290	480	25	21
Після ЕП	360	265	540	36	33

Результати досліджень свідчать, що ЕП при відносно незначному зниженні характеристик міцності (σ_b , $\sigma_{0,2}$ знижуються на 4 % та 9 % відповідно) приводить до істотного збільшення показників пластичності, а саме відносного подовження на 44 % і відносного звуження на 57 %. У той же час, дійсне напруження руйнування S_k у зв'язку з виключно високою пластифікацією зростає на 12 %. Таким чином, справжня міцність листових заготовок вища ніж у листа в стані постачання.

Треба зазначити, що твердість листа при цьому залишилася незмінною (до ЕП $HV5 = 130 - 133$ МПа, після ЕП – $129 - 132$ МПа). Це свідчить про те, що зміна властивостей після обробки поверхні ЕП пов'язана не з характеристиками матеріалу, а з іншою поведінкою листових зразків при деформації, що чітко ілюструють криві розтягування на рис. 1.

Як відомо, деформівність зразка з певного матеріалу істотно залежить від шорсткості його поверхні. В вихідному стані лист мав велику шорсткість – $Ra = 1,6$ мкм (рис. 4.8, а).

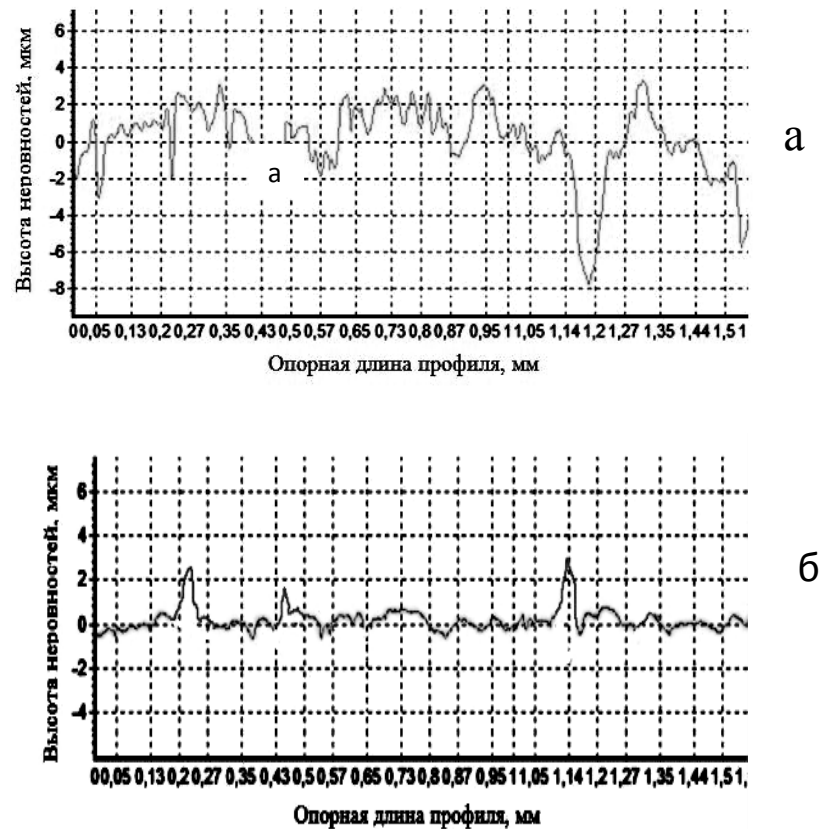


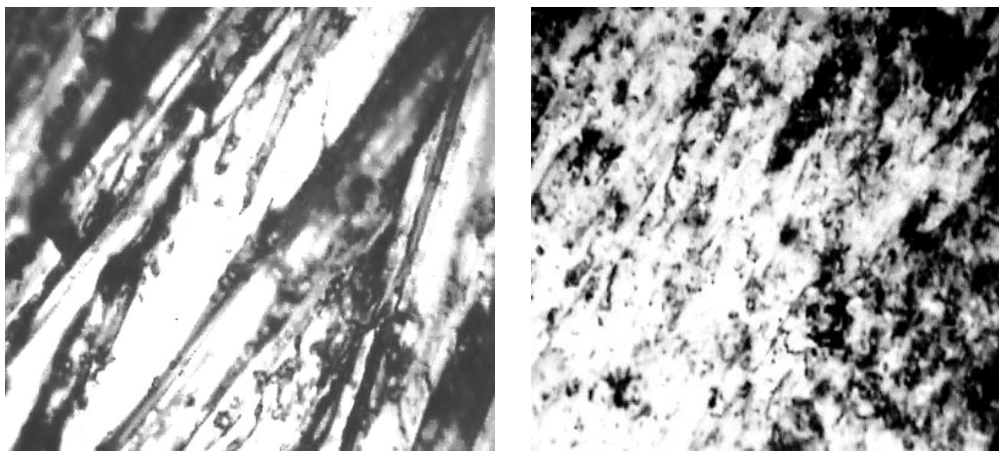
Рисунок 4.8. – Профілограми зразків сталі 20:

а – вихідний стан; б - після ЕП

ЕП істотно зменшило шорсткість до $0,21$ мкм. На загальному зглаженому тлі реєструються лише незначні окремі виступи (рис. 2б).

Загладженість поверхні також добре ілюструють дослідження, які виконані з використанням скануючого електронного мікроскопу (рис. 4.9).

Така різка зміна стану поверхні пояснюється тим, що епілами мають низький поверхневий натяг, за рахунок чого відбувається його затікання в найдрібніші нерівності поверхні і здійснюється «заліковування» поверхневих дефектів (западин, субмікроскопічні тріщин, пор), що подовжує стадію пружно-пластичного деформування металу.



а

б

Рисунок 4.9. – Поверхня зразків зі сталі 20 після різної обробки:

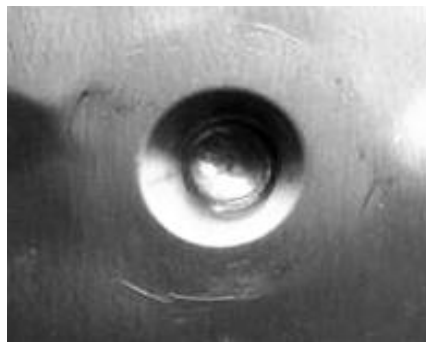
а – шліфування (вихідний стан); б - ЕП; x1000

Істотне покращення стану поверхні та значний ефект пластифікації зразків повинні вплинути на якість штампування. Для підтвердження цього сталевий лист зі сталі 08кп товщиною 0,5 мм після ЕП був випробуваний на видавлювання за методом Еріксена. Результати наведені в таблиці 4.3. Рисунок 4.10 ілюструє зовнішній вид зразків після випробувань на видавлювання

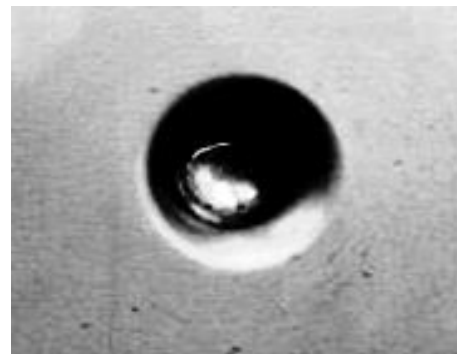
Треба зазначити, що після ЕП сталі 08кп глибина лунки при видавлюванні навіть перевищує вимоги категорії ВОСВ для сталі 08Ю, в якій менша кількість вуглецю та шкідливих домішок (особливо кисню).

Таблиця 4.3 – Дані випробувань на видавлювання листа сталі 08кп

Стан	Глибина лунки, мм	Категорія витягування
Вихідний	9,05	ВГ
Після ЕП	11,85	ВОСВ



а



б

Рисунок 4.10 –Зовнішній вигляд зразків зі сталі 08кп після випробувань на видавлювання за методом Еріксена:

а - стан постачання; б - після ЕП

Таке суттєве підвищення пластичності і здатності до витягування сталі дозволить різко збільшити ефективність процесу її холодного штампування - скоротити кількість переходів, знизити витрату штампового інструменту, підвищити продуктивність праці. При цьому слід очікувати поліпшення якості виробів і помітного зменшення браку. З огляду на дуже широке поширення холодного штампування в сучасному виробництві, отримані результати при практичному використанні принесуть значний економічний ефект. Нагадаємо, що до цих пір не існувало способів поліпшення

Висновки

1. ЕП поверхні зразків при випробуванні їх на розтягання істотно збільшує характеристики пластичності (відносного подовження на 44% і відносного звуження на 57%) без помітного зменшення показників міцності (σ_B і $\sigma_{0,2}$ знижуються на 4% та 9% відповідно). При цьому дійсне напруження руйнування S_K зростає на 12%. Таким чином, справжня міцність листових заготовок, незважаючи на таку значну пластифікацію, вище, ніж у листа в стані постачання.
2. Основною причиною пластифікації заготовок є заліковування поверхневих дефектів, що продовжує стадію пружно-пластичної деформації і ускладнює початок утворення зосередженої деформації, яка призводить до руйнування.
3. ЕП суттєво покращує штампування низьковуглецевих автолистових сталей. Здатність до витягування листа зі сталі 08кп зростає в 1,3 рази (від групи ВГ, регламентованої ГОСТ 9045-93, до значень, які перевищують вимоги ВОСВ для сталі кращої якості 08Ю), що значно підвищить ефективність процесу штампування, покращить якість виробів.
4. Суттєвою перевагою епіламування є зростання здатності до витягування не за рахунок знеміцнення листа, а навпаки, при збільшенні істинного опору руйнуванню.

Список використаних джерел

1. ГОСТ 9045-93 Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия.
2. Гусева С.С. Непрерывная термическая обработка автолистовых сталей / С.С. Гусева, В.Д.Гуренко, Ю.Д. Зварковский .М.: Металлургия, 1979. – 224 с.
3. Конспект лекцій з дисципліни "Вступ до спеціальності. Розділ «Обработка металів тиском»»" / Укладач С.В. Єршов. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 92 с
4. Ніколаєв В. О. Технологія виробництва сортового та листового прокату: підручник, частина 1. Запоріжжя: ЗДІА, 2000. 258 с.
5. Гладченкова Ю. С. Управление структурой и свойствами проката из низкоуглеродистых и низколегированных сталей для получения изделий методами штамповки: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.01. Москва, 2016.147 с.
6. Алехин В. П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов / Алехин В. П. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
7. Panin V. E. Multilevel wave model of a deformed solid in physical mesomechanics / Panin V. E., Grinyaev Yu. V., Panin A. V., Panin S. V. // Proceedings of the Sixth International Conference for Mesomechanics «Multiscaling in Applied Science and Emerging Technology. Fundamentals and Applications in Mesomechanics». – 2004. – P. 335 – 342.
8. Doshchechkina I. V Improving the plasticity of thin cold-rolled steel sheet for cold stamping / I. V. Doshchechkina, S. S. D'yachenko, I. V. Ponomarenko, I. S. Tatarkina //Steel in Translation.–2017.– Vol. 46, p. 364 - 367.

9. Панин В. Е. Эффект поверхностного слоя в деформируемом твердом теле / В. Е. Панин, А. В. Панин // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8. – № 5. – С. 7-15.
10. Степанов А. В. Явления искусственного сдвигообразования / А. В. Степанов // Журнал технической физики. – 1968. – Т. 18. – С. 741 – 778.
11. Мухин В.С. Инженерия поверхности деталей машин / В.С. Мухин, А.М. Смыслов // Вестник УГАТУ. – 2009, Т.12. – №4(33). – С.106 – 112.
12. Погребняк А. Д. Физико-химические и триботехнические свойства железа, оплавленного импульсной плазменной струей / А. Д. Погребняк, С. Н. Братушка, А. Д. Михалев // Трение и износ. – 2007. – Т. 28. – № 5. – С. 457 – 464.
13. Дяченко С.С. Новий аспект використання іонно-плазмової обробки / С. С. Дяченко, І. В. Пономаренко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2009. – № 5.
14. Дощечкіна І.В. Вплив стану поверхні на деформаційну поведінку виробів та покращення штампованості автолистового прокату / І.В. Дощечкіна, І. С.Татаркінв, В.В. Озарків // Вестник ХНАДУ. – вып. 82.–2018. – С.20 –27.
- 15.Гуров В. В. Повышение конструктивной прочности стальных изделий путем поверхностного модифицирования ионной бомбардировкой : автореферат дис. ... кандидата технических наук : спец. 05.16.01 «Материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов» – Москва, 2003. – 24 с.
16. Вохидов А.С. Многофункциональные защитные нанопленки фторПАВ эпилам: изменение свойств поверхностей./ А.С.Вохидов, Л. О., Добровольский // Материалы 11-й Международной конференции « Пленки и покрытия - 2013» , Санкт-Петербург, 2013.
- 17.Настоящее и будущее эпиламирования, Журнал «Новый Оборонный Заказ. Стратегии». –2010, – №4 (11). – 2015.

18. Вохидов А.С. Многофункциональные фторактивные нанопленки: актуальные проблемы / А.С.Вохидов, В.А. Мисюряев // Наноиндустрия. –№5 (51). –2015. – С. 40-45.

19. Вохидов А.С. Эпиламирование: эффективный метод создания нанопленок / А.С.Вохидов, Л. О., Добровольский // Наноиндустрия.–№4 (34). –2012. – С. 32-35.

20. Вохидов А.С. Эффективность применения эпиламирующих составов в промышленности / А.С.Вохидов,М.В. Мальков // Все регионы. – №1. –2020. – С. 9 –12.

21. Быков К.В., Гайдар С.М., Быкова Е.В. Повышение износостойкости поверхностей трибосопряжений в машинах // Техника и оборудование для села. — 2012. — № 8. — С. 43 — 48.

22. Вохидов А.С. Методы повышения износостойкости и ресурсосбережение за счет применения эпиламирующих составов / А.С. Вохидов, М.В. Мальков, В.Ю. Долганов // Трение и смазка в машинах и механизмах. –№1.–2007. – С. 9-12.

23. Хрипунов В.В. Работоспособность инструмента, упрочненного методом эпиламирования / В.В. Хрипунов, Т.В. Медведовских, В.А. Макарова, Е.Я. Никулин // Вестник машиностроения, 2000. – №5. – С 62 – 64.

24. Мовшович А. Я. Повышение износостойкости направляющих элементов штамповой оснастки методом эпиламирования / А.Я. Мовшович, Е.С.Дерябкина, М.Г.Ищенко, М.Е.Федосеева // Обработка материалов давлением. 2012. – № 4 (33). – С.232 – 236.

25. Волков А,О. Эпиламирование, как способ повышения надежности сельскохозяйственной техники./ А.О. Волков. Є.Є Пузенко// "Globus", 2017. –С. 63- 68.

.