

ЕПІЛАМУВАННЯ ПОВЕРХНІ ЯК СПОСІБ ПЛАСТИФІКАЦІЇ ХОЛОДНОКАТАНИХ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ

Дошечкіна І.В., Татаркіна І.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Установлено вплив епіламування поверхні на поведінку виробів у процесі розтягання та їх механічні властивості. Доведено також суттєве підвищення технологічної пластичності та покращення штампування низьковуглецевих автолистових сталей. Оцінена за методом Ерексона здатність листа зі сталі 08кп до витягування змінюється від групи ВГ до значень, що перевищують вимоги ВОСВ, які згідно з ГОСТ 9045-93 регламентуються тільки для сталі кращої якості 08Ю. Цей ефект пов'язаний зі зміною поведінки листа під час деформування (без зміни властивостей матеріалу листа) за рахунок покращення чистоти поверхні та «заліковування» поверхневих дефектів.

Ключові слова: холоднокатана сталь, тонкий лист, епіламування, шорсткість поверхні, міцність, пластичність, розтягання, штампування, здатність до витягування.

Вступ

В автомобілебудуванні найбільш масштабне поширення як за номенклатурою виробів, так і за їх кількістю набуло листове штампування. До 50 % маси автомобіля становлять деталі різної форми і розмірів, що виготовлені методом холодного листового штампування. Без цього виробничого процесу неможливо уявити конструкцію будь-якого легкового або вантажного автомобіля.

Сучасні автоматичні високопродуктивні лінії холодного штампування виробів із листових заготовок холоднокатаної сталі потребують від неї глибокого та складного витягування у зв'язку зі збільшенням кількості моделей автомобілів та ускладненням геометричної форми штампованих деталей. У той же час підвищення рівня вимог щодо зниження маси, економії палива і безпеки експлуатації автомобіля передбачає необхідність збереження міцності сталі після штампування. Однак збільшення міцності автолиста зменшує його технологічну пластичність, а отже, суттєво погіршує штампування [1]. У зв'язку з цим актуальним є розроблення нових методів оброблення, які дозволяють поєднати ці суперечливі вимоги та покращити якість автолистових сталей.

Аналіз публікацій

До автолистових традиційно належать холоднокатані низьковуглецеві сталі марок 08кп, 08пс, 08Ю. Залежно від технологічної пластичності їх здатність до штампування з витягуванням визначається за максимальною глибиною лунки без утворення тріщини під час випробувань на видавлювання за Еріксе-

ном (ГОСТ 10510-80). За цим показником згідно з ГОСТ 9045-93 тонкий лист завтовшки 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. Одночасно слід наголосити, що здатність до витягування відповідно до категорій ВОСВ і ВОСВ-Т забезпечується тільки для сталі 08Ю.

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]. Рекристалізаційний відпал холоднокатаного прокату повністю знімає наклеп, метал набуває рівноважної структури, відновлюється його пластичність. У той же час це оброблення потребує спеціального обладнання, значних витрат електроенергії.

В останні часи розроблені і все ширше застосовуються нові типи автолистових сталей (ДФМС, ІФ, TRIP-сталі та ін. [3–5]) підвищеної міцності та достатньо пластичних без погіршення здатності до штампування. Для отримання всіх типів сучасних високоякісних автолистових сталей необхідне вирішення комплексу складних проблем, пов'язаних з визначенням та створенням умов для отримання оптимального хімічного і фазового складу, мікроструктури, параметрів техпроцесу на кожній стадії технологічного переділу, що вимагає значних фінансових витрат для вдосконалення і розвитку сталеплавиль-

них технологій. Такі сталі, безумовно, необхідно застосовувати для елементів силового каркасу машин. Деталі, що не підлягають значному навантаженню і під час штампування потребують глибокого та вельми складного витягування, виготовляють із сталей 08кп або 08Ю, яка стабілізована алюмінієм.

Однак у практиці автомобілебудівників нерідко має місце недостатня штампованість листових заготовок, що призводить до відчутних економічних втрат, бо методів покращення здатності до витягування вже готового листа досі не існувало. Це визначає актуальність пошуку нових способів для вирішення цієї важливої проблеми.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень у галузі сучасного матеріалознавства доведено, що стан поверхневого шару у тіла, яке деформується, є функціональною самостійною підсистемою і радикально впливає на рівні його пластичної течії та властивостей [6–8]. Керуючись цим положенням, у роботі досліджений вплив епіламування (ЕП) поверхні сталевих виробів на їх деформаційну поведінку та формування властивостей. ЕП [9] є одним із сучасних видів нанопокриттів, які широко застосовуються для зниження тертя та зношування контактних поверхонь, підвищення стійкості різального інструмента та штампового оснащення, захисту металевих поверхонь від корозії [10, 11, 12]. Що ж стосується його впливу на деформаційну поведінку виробів та їх механічні й технологічні властивості, то такі дослідження до цього часу не проводилися.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є підвищення технологічної пластичності в процесі збереження міцності заготовок із холоднокатаної низьковуглецевої тонколистової сталі шляхом поверхневого ЕП.

У роботі були поставлені такі завдання:

1) дослідити вплив ЕП на деформаційну поведінку та властивості листових зразків за умови розтягання;

2) визначити вплив поверхневого шару після ЕП на деформівність листових заготовок, які підлягають холодному штампуванню.

Матеріал і методики досліджень

Експерименти виконані на листових малоуглецевих холоднокатаних сталях 20 (товщина прокату 1,2 мм) і 08кп (товщина 0,5 мм). Поверхню сталевих зразків у стані постачання покривали нанорозмірною мономолекулярною плівкою епіламу – фтор-поверхнево-активною

речовиною (фтор-ПАР) марки СФК-05. Нанесення фтор-ПАР 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.

У наших експериментах ЕП проводили зануренням листових зразків на 10 хв у ванну із епіламом за температури 50–55 °С.

Шорсткість і профіль поверхні визначали за допомогою профілометра-профілографа TRa200 із чутливістю датчика аналізатора 0,002 мкм, що дозволило оцінити топографію поверхні від 0,005 мкм. Похибка вимірювання Ra не перевищувала 10 %.

Механічні характеристики визначали під час випробування на розтяг стандартних плоских зразків із розміром робочої частини 80×12,5×1,2 мм. Здатність до витягування оцінювали на зразках зі сталі 08 кп розміром 50×50×0,5 мм за результатами випробувань за Еріксоном. Результати випробувань обробляли методами математичної статистики.

Основні результати досліджень

На рис. 1 наведені криві «напруження σ – деформація ϵ » зразків сталі 20 в початковому стані і після ЕП. Значення механічних характеристик надані в табл. 1.

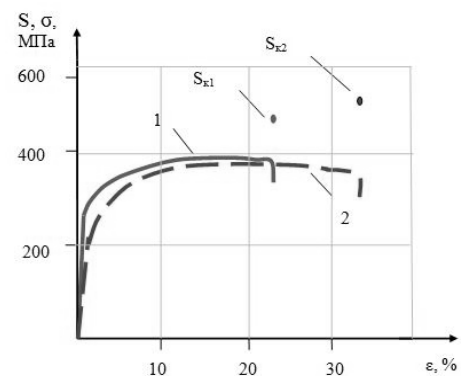


Рис. 1. Залежність «напруження – деформація» для зразків сталі 20: 1 – до ЕП; 2 – після ЕП

Результати досліджень свідчать, що ЕП за умови відносно незначного зниження 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 винятково високою пластифікацією зростає на 12 %. Таким чином, справжня міцність листових заготовок вища ніж у листа в стані постачання.

Таблиця 1 – 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

Треба зазначити, що твердість листа в цьому випадку залишилася незмінною (до ЕП $HV_5 = 130 - 133$ МПа, після ЕП $= 129 - 132$ МПа). Це свідчить про те, що зміна властивостей після оброблення поверхні ЕП пов'язана не з характеристиками матеріалу, а з іншою поведінкою листових зразків у процесі деформації, що чітко ілюструють криві розтягування на рис. 1.

Як відомо, деформованість зразка з певного матеріалу істотно залежить від шорсткості його поверхні. У вихідному стані лист мав велику шорсткість – $Ra = 1,6$ мкм (рис. 2, а).

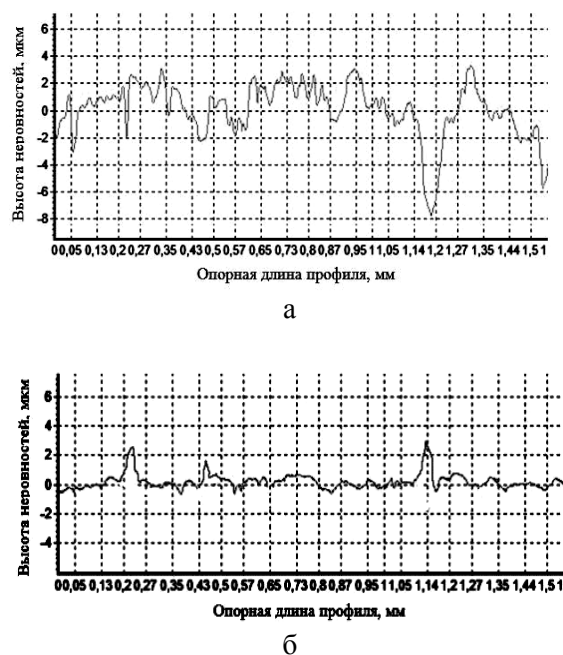
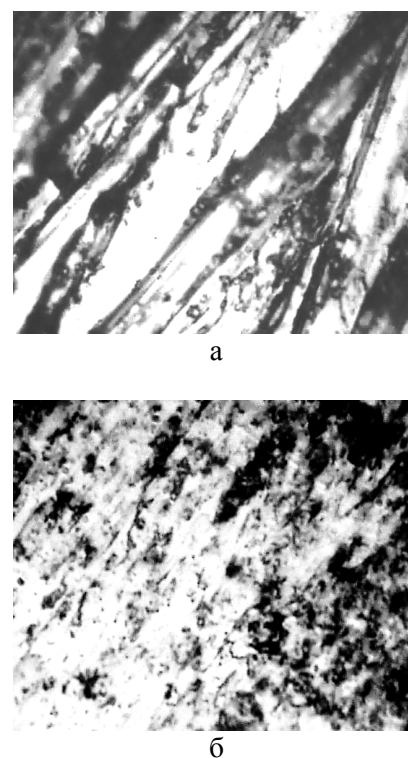


Рис. 2. Профілограми зразків сталі 20: а – вихідний стан; б – після ЕП

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

Згладженість поверхні також добре ілюструють дослідження, які виконані з використанням сканувального електронного мікроскопа (рис. 3). Така значна зміна стану поверхні пояснюється тим, що поверхнево-активні фторвмісні речовини – епілами –

мають низький поверхневий натяг, за рахунок чого відбувається його затікання в найдрібніші нерівності поверхні (западини, тонкі, гострі та глибокі субмікроскопічні тріщини, пори). Після випаровування леткого розчинника (хладону) на поверхні дефектів формується так звана структура Ленгмюра-Блоджетт. Вона є шаром молекул фтор-ПАВ, перпендикулярно орієнтованих до поверхні дефектів і міцно пов'язаних з металом силами хемосорбції [13, 14]. Унаслідок цього здійснюється «заліковування» поверхневих дефектів, що подовжує стадію пружно-пластичного деформування металу.

Рис. 3. Поверхня зразків зі сталі 20 після різного оброблення: а – шліфування (вихідний стан); б – ЕП; $\times 1000$

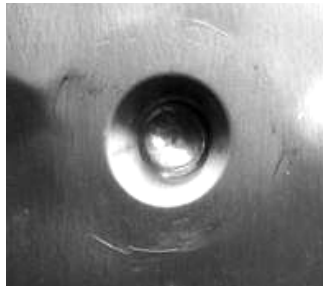
Істотне покращення стану поверхні та значний ефект пластифікації зразків повинні вплинути на якість штампування. Для підтвердження цього сталевий лист зі сталі 08кп завтовшки $0,5$ мм після ЕП був випробуваний на видавлювання за методом Еріксена. Результати наведені в табл. 2.

Рис. 4 ілюструє зовнішній вигляд зразків після випробувань на видавлювання.

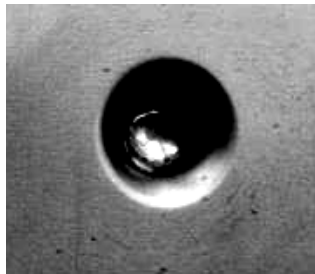
Треба зазначити, що після ЕП сталі 08кп глибина лунки в процесі видавлювання навіть перевищує вимоги категорії ВОСВ для сталі 08Ю, у якій менша кількість вуглецю та шкідливих домішок (особливо кисню).

Таблиця 2 – Дані випробувань на видавлювання листа сталі 08кп

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



а



б

Рис. 4 – Зовнішній вигляд зразків зі сталі 08кп після випробувань на видавлювання за методом Еріксена: а – стан постачання; б – після ЕП

Таке дуже суттєве покращення здатності до витягування сталі дозволить різко збільшити ефективність процесу її холодного штампування – скоротити кількість переходів, знизити витрату штампового інструмента, підвищити продуктивність праці. У цьому випадку слід очікувати поліпшення якості виробів, помітного зменшення браку та значного економічного ефекту. Рекомендований нами метод захищений патентами [15, 16].

Висновки

1. ЕП поверхні зразків під час випробування 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). У цьому випадку дійсне напруження руйнування S_k зростає на 12 %. Таким чином, справжня міцність листових заготовок, незважаючи на таку значну пластифікацію, вища, ніж у листа в стані постачання.

2. Основною причиною пластифікації заготовок із автолиста є заліковування поверхневих дефектів, що продовжує стадію пружно-пластичної деформації та 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 раза (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. Значною перевагою епіламування є зростання здатності до витягування не за рахунок зменшення листа, а навпаки, за умови збільшення дійсного опору руйнуванню.

Література

1. Попов Е.А., Ковалёв В.Г., Шубин И.М. Технология и автоматизация листовой штамповки. – Москва: МГТУ им. Н. Баумана, 2000. – 480 с.
2. Гусева С.С., Гуренко В.Д., Зварковский Ю.Д. Непрерывная термическая обработка автолистовых сталей. – Москва: Металлургия, 1979. – 224 с.
3. Перспективы развития производства высокопрочных автолистовых сталей / А.В. Горбунов и др. // Сталь. – 2012. – № 2. – С. 113–115.
4. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/39047/1/uibch_2013_02_38.pdf.
5. Лейрих И.В., Смирнов А.Н., Писмарев К.Е. Тенденция развития и применения листовых сталей в автомобилестроении // ДонНТУ. Наукові праці. «Металургія». – 2007. – Вип. 9 (22). – С. 12–18.
6. Панин В.Е., Панин А.В. Эффект поверхностного слоя в деформируемом твердом теле // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8. – № 5. – С. 7–15.
7. Multilevel wave model of a deformed solid in physical mesomechanics / V.E. Panin, Yu.V. Grinyaev, A.V. Panin, S.V. Panin // 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. Improving the plasticity of thin cold-rolled steel sheet for cold stamping / I.V. Doshchechkina, S.S. D'yachenko, I.V. Ponomarenko, I.S. Tatarikina // Steel in Translation. – 2016. – Vol. 46. – P. 364–367.
9. Вахидов А.С., Добровольский Л.А. Эпиламирование: эффективный метод создания нанопленок // Наноматериалы и нанотехнологии. – 2012. – № 4 (34). – С. 32–35.

10. Гулянский Л.Г. Применение эпиламирования для повышения износостойкости изделий // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. – № 4. – С. 672–675.
11. Работоспособность инструмента, упрочненного методом эпиламирования / В.В. Хрипунов, Т.В. Медведовских, В.А. Макарова, Е.Я. Никулин // Вестник машиностроения. 2000. – №5. – С. 62–64.
12. 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.
13. Блинов Л.М. Лэнгмюровские пленки // УФН. 1988. – Т. 155. – № 3. – С. 443–480.
14. Технологии Лэнгмюра-Блоджетт / С.И. Голудина, В.В. Лучинин // Журнал прикладной химии. – 2005. – Т. 78. – № 9. – С. 1499–1503.
15. Пат. UA 101116 U Украина, МПК С 21 D 1/04. Спосіб підвищення технологічної пластичності холоднокатаної тонколистової сталі / В.К. Лобанов, І.В. Дощечкіна, С.С. Дьяченко, І.С. Татаркіна. – № u2015 02382; заявл. 17.03.15; опубл. 25.08.15, Бюл. № 16. – 5 с.
16. Пат. UA на винахід 114635 U Украина, МПК С 21D 1/04. Спосіб поверхневої обробки листа з холоднокатаної листової сталі для холодного штампування / С.С. Дьяченко, І.В. Дощечкіна та ін. – u2014 10886, Бюл. № 13. – 2017. – 5 с.
7. Panin V.E., Grinyaev Yu.V., Panin A.V., Panin S.V. (2004) Multilevel wave model of a deformed solid in physical // Proceedings of the Sixth International Conference for Mesomechanics «Multiscaling in Applied Science and Emerging Technology. Fundamentals and Applications in Mesomechanics», pp. 335–342.
8. Doshchechkina I.V., D'yachenko S.S., Ponomarenko I.V., Tatarkina I.S. (2016) Povysheniye plastichnosti tonkogo kholodnokatanogo stal'nogo lista dlya kholodnoy shtampovki [Improving the plasticity of thin cold-rolled steel sheet for cold stamping] Steel in Translation. 46, pp. 364–367.
9. Vakhidov A.S., Dobrovol'skiy L.A. (2012) Epilamirovaniye: effektivnyy metod sozdaniya nanoplenok [Epilation: an effective method for creating nanofilms] Nanomaterialy i nanoindustriya. 4 (34), pp. 32–35 [In Russian].
10. Gulyanskiy L.G. (1992) Primeneniye epilamirovaniya dlya povysheniya iznosostoykosti izdeliy [Treniye i iznos]. – Т. 13, 4. – pp. 672– 675 [In Russian].
11. Khripunov V.V., Medvedovskikh T.V., Makarova V.A., Nikulin Ye.YA. (2000) Rabotosposobnost' instrumenta, uprochnennogo metodom epilamirovaniya [The performance of the tool, hardened by epilation] Vestnik mashinostroyeniya, 5, pp. 62–64 [In Russian].
12. Movshovich A.Y., Deryabkina Ye.S., Ishchenko M.G., Fedoseyeva M.Ye. (2012) Povysheniye iznosostoykosti napravlyayushchikh elementov shtampovoy osnastki metodom epilamirovaniya [Increasing the wear resistance of the guiding elements of die tooling by epilation method] Obrabotka materialov davleniyem. 4 (33), pp. 232–236 [In Ukrainian].
13. Blinov L.M. (1988) Lengmyurovskie plenki // UFN. – Т. 155, 3. pp. 443–480 [In Russian].
14. Goloudina S.I., Luchinin V.V. (2005) Tekhnologii Lengmyura – Blodzhett [Zhurnal prikladnoy khimii] – Т. 78, 9. pp. 1499–1503 [In Russian].
15. Pat. UA 101116 U Ukrayna, MPK S 21 D 1/04. Sposib pidvyshchennya tekhnolohichnoyi plastichnosti kholodnokatanoyi tonkolystovoyi stali / V.K. Lobanov, I.V. Doshchechkina, S.S.Dyachenko, I.S. Tatarkina. – № u2015 02382; yayavl. 17.03.15; opubl. 25.08.15, Byul. № 16. – 5 p.
16. Pat. UA na vynakhid 114635 U Ukrayna, MPK C 21D 1/04. Sposib poverkhnevoyi obrobky lysta z kholodnokatanoyi lystovoyi stali dlya kholodnoho shtampuvannya / S.S. D'yachenko, I.V. Doshchechkina ta insh. – u2014 10886 Byul. № 13, 2017. – 5 p.

References

1. Popov Y.A., Kovalov V.G., Shubin I.M (2000) Tekhnologiya i avtomatizatsiya listovoy shtampovki [Technology and automation Sheet stamping] Moskva: Izd-vo MGTU im. N. Bauman [In Russian].
2. Guseva S.S., Gurenko V.D., Zvarkovskiy U.D. (1979) Nepreryvnaya termicheskaya obrabotka avtolistovykh staley [Continuous heat treatment of steel sheets]. Moskva: Metallurgiya [In Russian].
3. Gorbunov A.V., Vetrenko A. G., Kuramshin R.R. (2012) Perspektivy razvitiya proizvodstva vysokoprechnykh avtolistovykh staley [Prospects for the development of the production of high-strength steel sheets]. Stal', 2. pp. 113–115 [In Russian].
4. http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/39047/1/uiibch_2013
5. Leyrikh I.V., Smirnov A.N., Pismarev K.Y. (2007) Tendentsiya razvitiya i primeneniya listovykh staley v avtomobilestroyenii [The trend of development and application of sheet steels in the automotive industry] DonNTU. Naukovі pratsі. «Metallurgiya». 9 (22), pp. 12–18 [In Ukrainian].
6. Panin V.Y., Panin A.V. (2005) Effekt poverkhnostnogo sloya v deformiruyemom tverdom tele // Fizicheskaya mezomekhanika. – Т.8, 5, pp. 7–15.

Дощечкіна Ірина Василівна, к.т.н., доцент кафедри технології металів та матеріалознавства, тел. (057) 707-37-92, divkhadi@ukr.net,
Татаркіна Ірина Сергіївна, к.т.н., кафедра технології металів та матеріалознавства, (+38) 0967599535, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 25, вул. Ярослава Мудрого, м. Харків, 61002, Україна.

Epilamization of surface as a way to plasticize cold-rolled low carbon steel

Abstract. About 60 % of automobile and 40 % of tractor parts of various shapes and sizes are made from cold-rolled thin-sheet low-carbon steel by cold stamping. Automatic cutting lines for rolled sheet steel into blanks for stamping and automatic presses for the manufacture of deep-drawn parts of complex geometric shapes from a sheet result in increased demands on the quality of the metal: high technological ductility in order to improve stampability and obtain the required degree of deformation without fracture and ensuring sufficient strength after stamping to reduce weight, fuel economy and vehicle safety. In this regard, the search for new technological solutions relevant to ensure these conflicting requirements for the consumer properties of steel sheets is relevant. According to modern concepts, an approach that determines the influence of a thin surface layer on the deformation behavior and formation of product properties is promising for solving this problem. In this paper, we propose a method for significant improving of formability while maintaining the strength of low-carbon cold-rolled sheet steel by changing the state of the surface by epilating (EP). It is established that EP significantly reduces surface roughness, heals surface defects and significantly plasticizes the product, which greatly improves the stampability of 08kp steel blanks. Estimated by the Ereksen method, the ability of a sheet of 08kp steel to be drawn varies from the high-temperature group to values exceeding the requirements of WWTP, which according to GOST 9045-93 are regulated only for the best quality steel 08Yu. At the same time, sheet strength and resistance to brittle fracture increased. This effect has been obtained for the first time and is fixed by a patent for the invention.

Key words: cold-rolled steel, thin sheet, epilating, surface roughness, strength, ductility, tensile, stamping formability, extrusion ability.

Doschechkina I., PhD, Associate Professor, Department of Technology of Metals and Mate-

rials Science, tel. (057) 707-37-92, e-mail: divkhadi@ukr.net,

Tatarkina I.S., PhD, Department of Technology of Metals and Materials Science, tel. (+38) 09675995352, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Эпиламирование поверхности как способ пластификации холоднокатаных низкоуглеродистых сталей

Аннотация. Установлено влияние эпиламирования поверхности на поведение изделий при растяжении и их механические свойства. Доказано существенное повышение технологической пластичности и улучшение штампуемости низкоуглеродистых автолистовых сталей. Оцененная по методу Ерексена способность листа из стали 08кп к вытяжке изменяется от группы ВГ до значений, превышающих требования ВОСВ, которые согласно ГОСТ 9045-93 регламентируются только для стали лучшего качества 08Ю. Этот эффект связан с изменением поведения листа во время деформирования (без изменения свойств материала листа) за счет улучшения чистоты поверхности и «залечивания» поверхностных дефектов.

Ключевые слова: холоднокатаная сталь, тонкий лист, эпиламирование, шероховатость поверхности, прочность, пластичность, растяжение, штампуемость, способность к вытяжке.

Дощечкина Ирина Васильевна, к.т.н., доцент кафедры технологии металлов и материаловедения, тел. (057) 707-37-92, divkhadi@ukr.net.

Татаркина Ирина Сергеевна, к.т.н., кафедра технологии металлов и материаловедения, (+38) 0967599535, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 25, ул. Ярослава Мудрого, г. Харьков, 61002, Украина.