

ВПЛИВ СТАНУ ПОВЕРХНІ НА ДЕФОРМАЦІЙНУ ПОВЕДІНКУ ВИРОБІВ ТА ПОКРАЩЕННЯ ШТАМПУЄМОСТІ АВТОЛИСТОВОГО ПРОКАТУ

Дощечкіна І.В., Татаркіна І.С., Озарків В.В., ХНАДУ

Анотація. Проаналізований вплив різних способів поверхневої обробки на поведінку виробів при розтяганні та їх механічні властивості. Запропоновано новий спосіб підвищення технологічної пластичності та покращення штампування холоднокатаних автолистових сталей.

Ключові слова: поверхня, цементація, азотування, іонне бомбардування, деформація розтягуванням, міцність, пластичність, штампуємість.

Вступ

Однією із важливих проблем сучасного матеріалознавства є виявлення ролі впливу особливостей поверхневого стану на механіко-технологічні властивості виробу. В теперішній час використання поверхневих обробок є дуже поширеним методом покращення експлуатаційних характеристик виробів. На основі теоретичних та експериментальних досліджень в галузі фізичного матеріалознавства доведено, що поверхневий шар у твердого тіла, яке деформується, є «самостійною функціональною підсистемою і радикально впливає на масштабні рівні локалізації пластичної течії та руйнування матеріалу в цілому» [1,2].

Поверхня – це особлива, нерівновісна зона, в якій відбуваються різні явища та ефекти, що впливають на весь об'єм твердого тіла. Відомо, що поверхневий стан здатний в значній мірі визначає деформаційну поведінку та механічні властивості всього виробу.

Стан поверхні можна змінити різними способами: поверхневим загартуванням, хіміко-термічною обробкою, інтенсивною пластичною деформацією, ультразвуковим і радіаційним впливом, нанесенням покриттів.

Іонно-плазмові покриття широко використовуються у сучасній промисловості для отримання спеціальних експлуатаційних властивостей поверхні (зносоустійкості, жаростійкості, зменшення коефіцієнта тертя). В технології вакуумно-дугового осадження (метод КІБ) обов'язковою попередньою операцією є іонне бомбардування (ІБ) поверхні з метою її очищення і поліпшення адгезійної взаємодії покриття з підкладкою. Однак відомо, що сама ІБ змінює тонку структуру поверхневого шару, шорсткість і напружений стан поверхні. Це дозволило нам розглядати ІБ як самостійну операцію, яка може істотно

змінити експлуатаційні властивості виробів з конструкційних сталей.

Розширення та поглиблення досліджень ролі стану поверхні після різних методів в деформаційній поведінки та формуванні механічних характеристик виробів є актуальним, бо дає можливість керувати властивостями як поверхні, так і всього об'єму.

Особливо цікавими і важливим є питання визначення впливу поверхневого стану на технологічні властивості матеріалу та заготовок, яке до цього часу взагалі не розглядалося.

Аналіз публікацій

Автори [1] стверджують, що поверхня відіграє визначну роль в характері, місці та часі руйнування твердого тіла. В роботі [2] відмічаються відрізнення поведінки при деформації та механічних властивостей поверхневих та внутрішніх шарів виробу.

Значний вплив обробки поверхні на діаграму «напруження-деформація» показаний в роботі [3].

Про можливість зміни властивостей заготовки під впливом механічної обробки зазначає автор [4].

Автори [5, 6] показали, що обробка поверхні концентрованими потоками енергії приводить до структурно-фазових перетворень і зміни властивостей виробу.

У роботі [7] доведено, що ІБ підвищує тимчасовий опір σ_b на 17%, а умовну границю міцності $\sigma_{0,2}$ на 34%, при цьому відносне подовження δ зберігається на достатньому рівні, а відносне звуження ψ значно зростає. Автори зазначають, що таке унікальне підвищення конструктивної міцності обумовлено утворенням у тонкому поверхневому шарі комбінованої субмікро- та нанокристалічної структури, яка згідно із сучасними уявлен-

нями [8,9], суттєво зменшує окрихчення виробу.

Крім того, існують роботи, в яких відмінність в поведінці поверхневих і внутрішніх шарів матеріалу не реєструється [10].

Треба зазначити, що більшість досліджень виконані на чистих і пластичних моно- та полікристалічних металах. Випробуванням підлягали мікророзриви у вигляді дроту і тонких стрічок. Досліджень масивних об'єктів із конструкційних матеріалів, які є основним матеріалом в багатьох галузях народного господарства, дуже мало і результати їх неоднозначні.

Особливий інтерес має вивчення впливу ІВ на технологічну пластичність холоднокатаної листової сталі. Еволюція дизайну кузова автомобіля, все зростаючі вимоги до зниження його маси і підвищення економічності, диктують необхідність покращення якості та зниження вартості сталевих листів для елементів автомобіля, що виготовляються методами холодного штампування

Мета і постановка завдання

Метою роботи є можливість підвищення міцності виробів при збереженні їх пластичності, а також технологічних характеристик матеріалу цих виробів шляхом зміни стану поверхні.

Для вирішення цих питань були поставлені такі задачі: 1 – дослідити вплив різних видів хіміко-термічної обробки та іонного бомбардування на деформаційну поведінку при розтягуванні масивних зразків із конструкційних сталей; 2 – вивчити вплив стану поверхневого шару на деформованість матеріалу виробу, який підлягає холодній обробці тиском.

Дослідження впливу різних способів поверхневої обробки на деформаційну поведінку виробів

Хіміко-термічна обробка–цементация

Газову цементацию зразків ($d = 10$ мм) зі сталі 20 здійснювали при температурі $930 (\pm 10) ^\circ\text{C}$. Температура наступного гартування – $820 (\pm 10) ^\circ\text{C}$, видержка 25 хв, охолодження у воді, відпуск $200 ^\circ\text{C}$, 1,5 години. За рахунок зміни часу видержки одержували цементовані шари товщиною 0,5; 1,0; 1,5 і 2 мм. За вихідний стан приймали гартування з низьким відпуском (Г + Н.В.)

Криві розтягання зразків із різним станом поверхні наведені на рис. 1, а їх механічні властивості зведені в табл. 1.

Як видно з рис. 1 після Г + Н.В. (без цементации) зразки мають низьку міцність і високу пластичність (крива 1), бо в сталі мало ($\sim 0,2\%$) вуглецю.

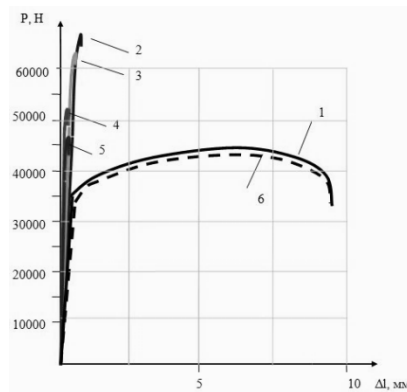


Рис. 1. Криві розтягання зразків сталі 20: 1 – після Г+ Н.В.; 2 – цементация на глибину 0,5 мм; 3 – 1,0 мм; 4 – 1,5 мм; 5 – 2,0 мм; 6 – після зняття шару цементации

Цементация з наступним Г + Н.В радикально змінює поведінку зразків – різко окрихчує їх (криві 2–5). При цьому чим більша товщина цементованого шару, тим нижчі як міцність, так і пластичність (криві 4 та 5). Після механічного зняття цементованого шару (крива 6) поведінка зразка не відрізняється від того, який не підлягав цементации. Цей факт свідчить, що цементация не змінює властивостей самого матеріалу, а лише його деформаційну поведінку при розтяганні. Це підтверджується випробуваннями на ударну в'язкість, яка із збільшенням товщини цементованого шару стрімко зменшується, але після його зняття відновлюється до вихідного стану (табл. 1).

Таблиця 1 – Механічні характеристики зразків зі сталі 20 після цементации на різну глибину

Товщина шару, мм	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	КСУ, Дж/см ²
Г+Н.В.	560	480	19	46	52
0,5	840	600	–	–	29
1,0	785	–	–	–	14
1,5	640	–	–	–	9
2,0	590	–	–	–	5
Знятий шар	565	485	19	47	52

Слід звернути увагу, що при глибині цементации 0,5 мм дуже суттєво зростає міц-

ність (на 33 %), але пластичність вже не реєструється і майже в 2 рази зменшується ударна в'язкість. Тобто зразок стає крихким.

Хіміко-термічна обробка – азотування

Стандартні розривні зразки $\varnothing 5$ і 10 мм зі сталі 40X після покращення (гартування в оливі від 860 °С з наступним відпуском при 650 °С з видержкою 1,5г) піддавали подальшому азотуванню за різними режимами для одержання глибини зміцненого шару 0,08, 0,25 і 0,35 мм. Криві розтягання зразків наведені на рис. 2.

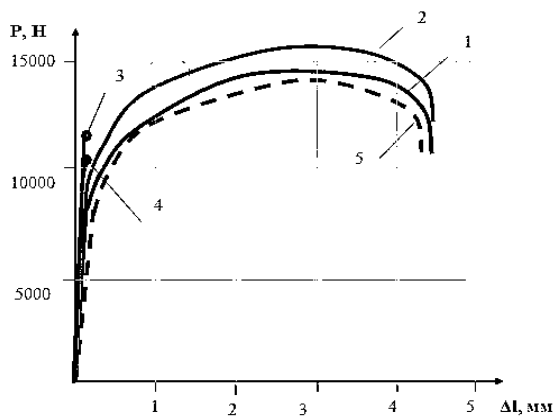


Рис. 2. Криві розтягання зразків зі сталі 40X: 1 – 3 + ВО; 2 – азотований шар 0,08 мм; 3 – 0,25 мм; 4 – 0,35 мм; 5 – знятий шар

З рис. 2 випливає, що азотування на малу глибину (0,08 мм) підвищує міцність без падіння пластичності (крива 2). Збільшення азотованого шару (криві 3 та 4) призводить до окрихчення зразків при падінні міцності. Після зняття азотованого шару характер кривої розтягання 5 повністю відповідає кривій 1 (зразок без цементації). Статистично оброблені дані механічних властивостей зразків наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Механічні характеристики зразків зі сталі 40X після азотування на різну глибину

Товщина шару, мм	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %
Г + Н.В.	705	435	19	52
0,08	780	465	19	49
0,25	535	–	–	–
0,35	475	–	–	–
Знятий шар	710	430	19	51

З таблиці видно, що збільшення глибини азотованого шару приводить до падіння міцності при повній втраті пластичності. Так

при азотуванні на глибину 0,25 мм σ_B зменшується на 25 %, $\sigma_{0,2}$ вже не реєструється і пластичність падає до нуля. Після зняття азотованого шару властивості повертаються до вихідних. Цей факт підтверджує раніше зроблений висновок, що відрізнення механічних властивостей обумовлені виключно впливом поверхневого шару на поведінку зразка при деформації. Аналогічні дані отримані і для зразків, діаметром 10 мм.

Обробка низькоенергетичними іонами титану

Були проведені випробування на розтягання плоских сталевих зразків ($200 \times 20 \times 1,2$ мм) із відпаленої сталі 20, які піддавалися ІБ на установці «Булат – 3т» за наступним режимом: $U = 900$ В, $I = 95$ А, $\tau = 30$ с. Енергія іонів не перевищувала 3 кеВ. Матеріалом катоду був титан.

На рис. 3 наведені криві розтягання зразків, з яких видно, що після ІБ змінюється характер деформаційної поведінки зразків – одночасно зростають і міцність, і пластичність, при цьому зростання пластично дуже значне.

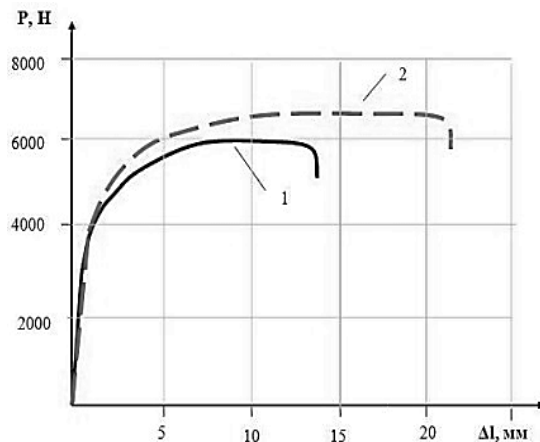


Рис. 3. Криві розтягання плоских зразків зі сталі 20: 1 – до ІБ; 2 – після ІБ

Механічні властивості зразків у різному стані наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Результати випробувань плоских зразків на розтягання

Стан	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	δ_p , %	ψ , %	HV ₅ , МПа
Без ІБ	220	390	13	11	15	130 – 133
Після ІБ	250	425	24	20	39	129 – 133

Кількісні характеристики, які наведені в табл. 3 свідчать, що при підвищенні σ_b на 14 % δ зростає майже на 80 %, а ψ – більш ніж в 2 рази. При цьому рівномірне подовження δ_p збільшилося на 82 %. Треба підкреслити, що твердість листа після ІБ залишилася на вихідному рівні і значить зміна властивостей пов'язана не з матеріалом, а обумовлена його іншою поведінкою при деформації. Це добре ілюструють криві розтягування зразків.

Таке значне збільшення пластичності, а саме δ_p , неодмінно має позначитися на технологічній пластичності при виготовленні виробів методами обробки тиском.

Для з'ясування цього питання були проведені дослідження впливу ІБ на штампуємість холоднокатаної автолистової сталі 08кп.

Сталь призначена для виготовлення способом холодної пластичної деформації виробів з вельми глибоким витягуванням (ВГ). Згідно з ГОСТ 9045-93 категорію ВГ для сталі 08кп з товщиною листа 0,5 мм забезпечує глибина сферичної лунки 9,0 мм, яку отримують при випробуваннях на видавлювання за методом Ериксона. Здатність до особливо складного витягування (ОСВ) та вельми особливо складного витягування (ВОСВ) передбачена для більш пластичної сталі 08Ю з глибиною лунки 9,4 та 9,7 мм відповідно.

Було проведено одностороннє та двостороннє бомбардування листа зі сталі 08кп товщиною 0,5 мм іонами Ті в атмосфері аргону. Результати випробувань на видавлювання за Ериксоном наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати випробувань на видавлювання

Стан	Глибина лунки, мм	Здатність до витягування
До обробки	9,05	ВГ
ІБ одностороннє	10,7	ВОСВ*
ІБ з обох сторін	10,9	ВОСВ*

Примітка. * – діаметр лунки перевищує вимоги ГОСТ за здатністю до ВОСВ

З таблиці видно, що плазмова обробка (ІБ) поверхні холоднокатаного листа зі сталі 08кп суттєво збільшує технологічну пластичність та змінює здатність до витягування сталі 08кп з категорії ВГ до ВОСВ.

Загальний вид зразків без ІБ (а) та після ІБ (б), які підлягали випробуванням на видавлювання лунки, показаний на рис 4.

Після ІБ глибина лунки набагато перевищує вимоги стандарту для категорії видавлювання ВОСВ (9,7 мм).

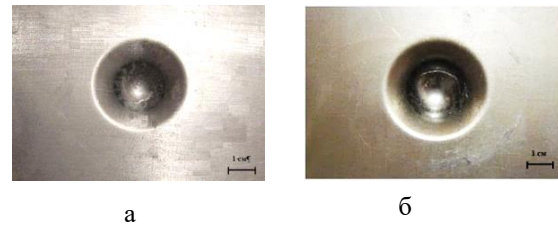


Рис. 4. Зразки після випробувань на видавлювання: а – вихідний до ІБ; б – після ІБ з двох сторін

Ніяка термічна обробка не забезпечить такого ефекту покращення штампуємість готового холоднокатаного листа.

Висновки

1. Експериментально доведено, що саме стан поверхні визначає поведінку виробу при деформації, що призводить до змін його властивостей. в той час як механічні характеристики серцевини залишаються незмінними.

2. Цементация з наступним Г + Н.В завжди різко окрихчує зразки при розтяганні, незважаючи на збереження в'язкої та пластичної серцевини.

3. При азотуванні на малу глибину (~ 0,8 мм) підвищується міцність при збереженні високої пластичності. Збільшення глибини азотованого шару, призводить до окрихчення виробу, як і при цементации, що можна пояснити збільшенням співвідношення площі зміцненого шару до площі перерізу виробу.

4. ІБ є ефективним способом підвищення конструктивної міцності та надійності виробів. Після ІБ плоских розривних зразків зі сталі 20 підвищилася міцність при значному зростанні пластичності (δ та $\delta_p \sim$ в 2 рази, а ψ – більш ніж в 2 рази!). Таку високу пластичність в поєднанні із підвищеною міцністю не можливо досягти ніякою об'ємною обробкою.

5. ІБ значно покращує технологічну пластичність холоднокатаної автолистової сталі, призначеної для виготовлення виробів методами холодної пластичної деформації. При підвищеній міцності забезпечується здатність до витягування сталі 08кп вище вимог категорії ВОСВ, яка передбачена для більш

чистою за хімічним складом та пластичної сталі 08Ю.

6. В наш час біля 60 % автомобільних та 40 % тракторних деталей виготовляються із холоднокатаних листових сталей холодним штампування і покращення їх технологічної пластичності дозволить зменшити кількість бракованих з причин поганої деформованості виробів. Крім того з'являється можливість скоротити кількість переходів при штампуванні, знизити витрати штампового інструмента, підвищити продуктивність праці.

7. В практиці машинобудівних підприємств та інших галузях промисловості (будівництві, енергетиці, сільськогосподарської та побутової техніки) часто спостерігається недостатня штампуємість листових заготовок, що призводить до відчутних економічних втрат. До сих пір не існувало методів підвищення здатності до глибокого витягування вже готового листа.

Література

1. 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.
2. 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.
3. Andrade E. Surface Effects with Single Crystal Wires of Cadmium / E. Andrade, R. Randall // Nature. – 1948. – Vol. 162. – P. 890 – 892.
4. Мухин В.С. Инженерия поверхности деталей машин / В.С. Мухин, А.М. Смыслов // Вестник УГАТУ. – 2009, Т.12. – №4(33). – С.106 –112.
5. Дощечкина И.В. Влияние низкоэнергетической ионной бомбардировки на структуру поверхности и деформируемость тонколистовых низкоуглеродистых сталей / И.В. Дощечкина, И.С. Татаркина, Ю.А. Сысоев // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні ресурсозбережні матеріали та змцнювальні технології», 2012 р., Маріуполь. – С. 202-222.
6. Алехин В.П. Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов / Алехин В.П. – М.: Наука, 1983. – 280 с.
7. Дяченко С.С. Підвищення конструктивної міцності виробів та деформованості сталей іонним бомбардуванням / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, І.В. Пономаренко, І.С. Татаркіна / Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2011. – № 713. – С. 166-170.
8. Андриевский Р.А., Глезер А.М. Прочность наноструктур // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – № 4. – С. 337–358.
9. Y.F. Shen, L. Lu, Q.H. Lu, Z.H. Jin, K. Lu, Tensile properties of copper with nano-scale twins, Scripta Materialia, 2005, 52, 989–994.
10. Gilman J. Surface Effects in the Slip and Twinning of Metal Monocrystals / J. Gilman // Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. – 1952. – Vol. 194. – P. 875-883.

References

1. Panin V.Ye., Panin A.V.(2005). Effekt poverkhnostnogo sloya v deformiruyemom tverdom tele [The effect of the surface layer in a deformable solid]. *Fizicheskaya mezomekhanika*. T. 8, 5, 7-15 [in Russian].
2. 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», 335 – 342.
3. Andrade E., Randall R. (1948) Surface Effects with Single Crystal Wires of Cadmium // *Nature*, 162, 890-892.
4. Mukhin V.S., A.M. A.M. Smyslov (2009). Inzheneriya poverkhnosti detaley mashin [Surface Engineering of Machine Parts]. *Vestnik UGATU*, 12, 4(33), 106-112 [in Russian].
5. Doshchekina I.V. Tatarkina, I.S., Sysoyev YU. A.(2012) Vliyaniye nizkoenergeticheskoy ionnoy bombardirovki na strukturu poverkhnosti i deformiruyemost tonkolistovykh nizkouglerodistykh staley [Influence of low-energy ion bombardment on the surface structure and deformability of thin-sheet low-carbon steels]. *Materials of the Internationally Practical Scientific Conference Innovation Resources-Saving Materials and Real-Time Technologies*, Mariupol, 202-222 [in Russian].
6. Alekhin V. P. (1983) Fizika prochnosti i plastichnosti poverkhnostnykh sloyev [Physics of strength and plasticity of the surface layers of materials]. Moskva: Nauka [in Russian].
7. Dyachenko S.S., Doshchekina I.V., Ponomarenko I.V.,Tatarkina I.S. (2011). Pidvischennya konstruktivnoyi mitsnosti virobiv ta deformivnosti staley ionnim bombarduvanniam [Constructive constructions of tactics and steel deformations of bombardments]. *News of National University "Lviv Politekhnik"*, 713,166-170 [in Ukrainian].
8. Andriyevskiy R.A., Glezer A.M. (2009). Prochnost nanostruktur [Nanostructure strength]. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 179, 4, 337–358 [in Russian].
9. Shen Y.F., Lu L., Lu Q.H., Jin Z.H., Lu K., (2005) Tensile properties of copper with nano-scale twins, *Scripta Materialia*, 52, 989-994.
10. Gilman J. (1952) Surface Effects in the Slip and Twinning of Metal Monocrystals // Transactions

of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, 194, 875-883.

Дощечкіна Ірина Василівна – к.т.н., доцент, кафедра технології металів та матеріалознавства, тел. +38 0951628250, divkhadi@ukr.net

Татаркіна Ірина Сергіївна – к.т.н., асистент, кафедра технології металів та матеріалознавства, тел. +38 0967599535

Озарків Влада Владиславівна – студент, тел. +38 0994801535, vlladislavaozarkiv1999@gmail.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

INFLUENCE OF THE STATE OF THE SURFACE ON THE DEFORMATION BEHAVIOR OF PRODUCTS AND IMPROVEMENT OF AUTO SHEET PRODUCTS FORMABILITY

Doschechkina I.V., Tatarkina I.S., Ozarkiv V.V., KhNAHU

Abstract. It is known that most of the destruction processes (wear, fatigue crack initiation, corrosion) start in the surface layer. This allows us to consider the surface of the loaded product as an independent subsystem, whose behavior in the deformation process differs from the inner layers and has a significant impact on the properties of the product as a whole. Basically, surface treatment serves as a way to improve special performance characteristics (wear resistance, fatigue strength, heat resistance, corrosion resistance, etc.). However, information on the effect of modifying thin surface layers on the behavior of the deformation and mechanical properties of products made of common structural steels is of undoubted interest. This work is devoted to studying the possibilities of solving the actual problem of increasing the strength of products while maintaining plasticity (structural strength), as well as improving the technological characteristics of their material by changing the surface state. To address this issue, the effect of cementation, nitrating and ion bombardment of the surface of steel samples (steel 20, 40X, 08кп) on their deformation behavior and change in tensile properties was investigated. In addition, the issue of the influence of the state of the surface layer on the technological plasticity of cold-rolled auto sheet steel 08кп, intended for the manufacture of products by the method of cold forging, was also studied. It has been established that cementation always embrittles the product while maintaining a viscous and plastic core. In nitrated specimens, the nature and magnitude of the effect of a change in tensile properties depend on the layer thickness. With a shallow depth of the layer (0.08 mm), the strength increases while maintaining high ductility. A layer thickness of 0.25 mm or more leads to a decrease in strength, loss of

ductility and brittle fracture. Ion bombardment is a very effective way to increase the structural strength and reliability of products - with increasing strength, an increase in plasticity of 2 or more times is provided. A significant improvement in the formability of 08кп cold-rolled steel was also found (the GB category, provided for it by GOST 9045-93, is increased to the requirements of the higher category of BOCB, recommended for more ductile and cleaner steel by 08U). The advantage is that an improvement in the ability to stretch is achieved not due to the softening of the sheet, but on the contrary, with increasing strength and resistance to destruction. Such effects cannot be obtained by any method of volume processing. It is important to conclude that changes in the deformation behavior and mechanical properties are not obtained by changing the material properties of products, but under the influence of the state of the surface layer.

Key words: surface, cementation, nitrating, ion bombardment, tensile deformation, strength, ductility, stampability.

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ И УЛУЧШЕНИЕ ШТАМПУЕМОСТИ АВТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Дощечкіна І.В., Татаркіна І.С., Озарків В.В., ХНАДУ

Аннотация. Известно, что большинство процессов разрушения (износ, зарождение усталостной трещины, коррозия) начинаются именно в поверхностном слое. Это позволяет рассматривать поверхность нагруженного изделия как самостоятельную подсистему, поведение которой в процессе деформации отличается от внутренних слоёв и оказывает значительное влияние на свойства изделия в целом. В основном обработка поверхности служит способом повышения специальных эксплуатационных характеристик (износостойкости, усталостной прочности, жаропрочности, коррозионной устойчивости и др.). Однако несомненный интерес представляют сведения о влиянии модифицирования тонких поверхностных слоёв на поведение при деформации и механические свойства изделий из распространённых конструкционных сталей. Данная работа посвящена изучению возможностей решения актуальной проблемы повышения прочности изделий при сохранении пластичности (конструктивной прочности), а также улучшения технологических характеристик их материала путём изменения состояния поверхности. Для выяснения этого вопроса исследовали влияние цементации, азотирования и ионной бомбардировки поверхности стальных образцов (стали 20, 40X, 08кп) на их деформационное поведение и изменение свойств при растяжении. Кроме того, изучался также вопрос о влиянии состояния поверхности на технологическую пластичность

автолистовой холоднокатаной стали 08кп, предназначенной для изготовления изделий методом холодной штамповки. Установлено, что цементация всегда окрупчивает изделие при сохранении вязкой и пластичной сердцевины. У азотированных образцов характер и величина эффекта изменения свойств при растяжении зависят от толщины слоя. При малой глубине слоя (0,08мм) увеличивается прочность при сохранении высокой пластичности. Большая глубина азотированного слоя приводит как к снижению прочности, так и существенной потере пластичности. Доказано, что ионная бомбардировка является очень эффективным способом повышения конструктивной прочности и надёжности изделий – при увеличении прочности обеспечивается рост пластичности в 2 и более раз. Достигнуто также значительное улучшение штампуемости холоднокатаной автолистовой стали 08кп (кате-

гория ГВ, предусмотренная для неё ГОСТ 9045-93, повышается до требований выше категории ВОСВ, рекомендуемой для более пластичной и чистой по химсоставу стали 08Ю). Большим достоинством является то, что улучшение способности к вытяжке достигается не разупрочнением листа, а напротив, при увеличении прочности и при этом сохранении сопротивления хрупкому разрушению. Такого эффекта нельзя получить не при каком известном способе объёмной обработки деталей. Важно заключить, что изменения деформационного поведения и механических характеристик получены не за счёт изменения свойств материала изделий, а под влиянием состояния тонкого поверхностного слоя.

Ключевые слова: поверхность, цементация, азотирование, ионная бомбардировка, деформация растяжением, прочность, пластичность, штампуемость.
