

133 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.771.07.001.5

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.10

© Самотугін С.С.*

**ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ КОМБІНОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТА ІНСТРУМЕНТУ**

Для підвищення комплексу службових характеристик інструментальних сталей перспективним напрямком розвитку зміцнюючих технологій є комбіновані технології, які поєднують послідовну дію потужних джерел енергії (наприклад, індукційного) і висококонцентрованих джерел енергії (плазмовий струмінь). Досліджено вплив індукційно-плазмового зміцнення на структуру і властивості інструментальної сталі 75X2MΦ.

Ключові слова: поверхня, комплексне зміцнення, комбіноване зміцнення, плазмовий струмінь, структура, тріщиностійкість.

S.S. Samotugin. The principles of creating combined technologies for surface hardening of parts and tools. The increase in the complex of operational properties of materials is achieved by performing a combined surface hardening, including the sequential action of various technological methods. The most promising are the technologies of combined modification based on the energy impact of highly concentrated heat sources. At the same time the problem of strengthening of large-sized heavy-loaded products and the tool is especially actual. The influence of the combined induction-plasma hardening of 75X2MΦ steel samples on the nature of structural transformations, hardness and fracture toughness was studied. Plasma hardening after induction hardening increases the hardness from HV 780 to HV 930 and the coefficient of dynamic crack resistance K_{I_D} from $4,63 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ to $9,84 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$, which is due to the formation of a surface layer with a highly dispersed structure. An additional factor in increasing crack resistance is the inhibition of cracks at the boundaries of the layers of plasma and induction hardening. An additional increase in the crack resistance of tool steel with combined hardening can be achieved due to the intermediate volume tempering at 300°C for 1 hour after hardening of the microwave before plasma hardening. This is due to the fuller course of the transformation in the inner zone of high-speed tempering during the subsequent plasma treatment and increase the ductility of the metal in this zone. The structure and texture of the fracture of the inner layers during processing with intermediate tempering are the same as when processing without it, and the destruction also takes place by a «multiple» mechanism. The results of the study show the effectiveness of the combined induction-plasma hardening of the tool: in comparison with the plasma hardening in the initial state and induction hardening, significantly increases the thickness of the hardened layer, hardness, crack resistance and wear resistance of the surface.

Key words: surface, complex hardening, combined hardening, plasma jet, structure, crack resistance.

Постановка проблеми. Конструкційна міцність металу визначається його об'ємними і поверхневими механічними характеристиками. Об'ємні характеристики, як правило, задаються металургійним легуванням. Але основні службові характеристики деталей машин – надійність, опір механічному зносу і корозії, втомна довговічність – визначаються механічними властивостями

* д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, samotugin_s_s@pstu.edu

поверхневого шару конструкційного металу. Відомо [1, 2], що механічна поведінка металу знаходиться в прямій залежності від його структурно-фазового стану. Ця залежність дозволяє цілеспрямовано змінювати функціональні і експлуатаційні характеристики елементів конструкції машин зміною структурно-фазового стану поверхневого шару.

Методи створення на поверхні металів модифікованих шарів з необхідними функціональними і експлуатаційними властивостями досить вивчені, відпрацьовані і широко застосовуються на практиці. При цьому відмічають, що традиційні технології підвищення конструкційної міцності металів і сплавів досягли своєї практичної межі [3]. Встановлено, що максимальний ефект модифікування досягається при комбінуванні різних способів зміни структурно-фазового стану [1-3]. Комбінація різних технологій зміцнення дозволяє створювати на поверхні металу композитні шари з різною архітектурою.

Найбільш високі експлуатаційні властивості інструментальних сталей досягаються при комплексному зміцненні, що включає попередню або подальшу об'ємну термічну обробку (гартування, відпуск) та поверхневу обробку концентрованим джерелом, зокрема, плазмовим струменем [4]. Важливою перевагою такої технології є можливість підвищення не тільки твердості, зносостійкості, але і ударної в'язкості та тріщиностійкості, що не досягається при використанні об'ємного термозміцнення. Підвищення тріщиностійкості інструментальних сталей при об'ємно-поверхневому зміцненні обумовлено як підвищенням в'язкості металу зміцненої зони, так і реалізацією «множинного» руйнування композиційного робочого шару з гальмуванням тріщини по механізму галуження траєкторії [5].

У теперішній час відомі різноманітні підходи до створення комбінованих технологій поверхневого зміцнення матеріалів, як і різноманітних сполучень складових окремих технологій. Так, в роботі [6] запропоновано метод комбінованого зміцнення, який включає поверхнєве пластичне деформування (ППД) і наступну хіміко-термічну обробку (ХТО) – цементацію. Використання ППД перед ХТО інтенсифікує дифузійні процеси і дозволяє досягнути більш високих значень концентрації вуглецю в дифузійній зоні. При цьому скорочується час і енергетичні витрати, які пов'язані з процесом ХТО (на прикладі низьковуглецевих низьколегованих сталей типу 10ХСНД). Авторами роботи [7] досліджено метод поверхневого зміцнення деталей машин, який включає сполучення електромеханічної обробки (ЕМО) і ультразвукової (УзО) обробки. ЕМО супроводжується високошвидкісним гартуванням поверхневого шару сталевих зразків (на глибину до 0,2-0,3 мм) з утворенням безструктурного мартенситу – гардениту, що відрізняється підвищеною твердістю і низькою травимістю (білий шар). Подальша поверхнєва пластична деформація (ППД) поверхні збільшує її твердість, сприяє утворенню стискуючих напружень, зниженню шорсткості, що сприятливо впливає на ресурс деталей.

Перспективною галуззю використання новітніх комбінованих технологій поверхневого зміцнення є інструментальне виробництво. У роботі [8] запропоновані нові процеси зміцнення інструменту: для об'ємного зміцнення – зміцнююча термо-циклічна обробка (ЗТЦО), а для поверхневого зміцнення – низькотемпературна наногідрохімічна технологія. Основними структурними змінами при ЗТЦО є сильне подрібнення зерна та блоків мозаїки, збільшення щільності дислокацій, зменшення розміру карбідів, однорідне розподілення хімічних елементів у структурі, підвищення однорідності та ступеню легованості твердого розчину, зниження ступеню тетрагональності мартенситу та ін. Ці позитивні структурні зміни істотно поліпшують експлуатаційні властивості інструменту. Зокрема, ЗТЦО підвищує в'язкість, міцність (при вигині та розтягуванні), твердість, теплостійкість, контактну витривалість, ізотропність властивостей та зносостійкість швидкорізальних сталей, зменшує деформацію та небезпеку гартівних мікротріщин у порівнянні з традиційною термообробкою [8]. Далі на поверхню зміцненого шару методом хімічного осадження з парової фази (CVD) наносять антифрикційні наноструктурні гідрохімічні покриття в водних розчинах на основі нанорозмірних часток зміцнюючої фази: наноалмазу та нанографіту, нанокарбідів, наноксидів та інших тугоплавких з'єднань. Загалом цей метод підвищує взаємно протилежні властивості: твердість (міцність) разом з в'язкістю швидкорізальних сталей, що позитивно позначається на зносостійкості ріжучого інструменту [8].

Найбільш перспективними є технології комбінованого зміцнення на базі енергетичного впливу висококонцентрованих джерел нагріву (ВКДН). В роботі [9] запропонована комбінована технологія, що полягає в лазерному легуванні сталевій поверхні нітридоутворюючими елементами і подальшому азотуванні. Наведено, що при лазерному легуванні в безперервному режимі

випромінювання на сталевій поверхні формується зміцнений шар завтовшки 600 мкм з однорідною дрібнозернистою структурою і рівномірно розподіленими легуючими елементами. Наступне азотування підвищує мікротвердість маловуглецевих сталей до 20000 МПа, тріщиностійкість – в 1,5...1,8 рази у порівнянні з нормалізованим станом, зносостійкість – в 1,5...3 рази у порівнянні з традиційним азотуванням [9].

Одна з сучасних тенденцій в поверхневому зміцненні сталей і сплавів – розробка гібридних лазерних технологій локальної термічної обробки: лазерно-дугових, лазерно-плазмових, лазерно-індукційних, лазерно-електроіскрових, які мають більш високу техніко-економічну ефективність у порівнянні з класичними методами локального термічного зміцнення і значно розширюють технологічні можливості класичних методів локального зміцнення [10]. Лазерно-плазмова технологія має ряд переваг у порівнянні з лазерною обробкою. Лазерна плазма не лише підвищує коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання, але і виконує іншу важливу функцію: високошвидкісну модифікацію рідкої фази розплаву. Аномальне високе підвищення стійкості відрізних фрез зі сталі А11РЗМЗФ2 після лазерно-плазмової обробки дозволило зробити припущення, що окрім зміцнення в режимі автогартування поверхневого шару сталася зміна хімічного складу і структурно-фазового стану поверхневого шару завтовшки декілька мікрон, який не можна проаналізувати за допомогою оптичного мікроскопа. Дослідження 3D-топографії структури поверхневого шару показали наявність в цьому шарі наноструктур різної дисперсності.

Певні складності виникають при розробці комбінованих технологій зміцнення великогабаритних важконавантажених виробів та інструменту. Для цих об'єктів використання відомих зміцнюючих технологій або ускладнено технічно, або має невігідні економічні показники. До таких об'єктів належать великогабаритні прокатні валки. При виготовленні прокатних валків об'ємне гартування трудомістке та економічно невігідне. У цьому випадку широко використовують поверхневе гартування СВЧ [11]. Додаткове підвищення експлуатаційних властивостей може бути досягнуто наступною лазерною або плазмовою обробкою. Метод комбінованого індукційно-лазерного зміцнення відомий [12], але недостатньо вивчений і не отримав широкого поширення. Відомості про можливість індукційно-плазмового зміцнення інструментальних сталей в літературі відсутні.

Метою дослідження є розробка та дослідження комбінованої технології поверхневого зміцнення великогабаритних прокатних валків з використанням індукційного та плазмового нагріву.

Виклад основного матеріалу. У загальному випадку комбінованими методами обробки можна вважати методи, в яких процес перетворення, нанесення або видалення оброблюваного матеріалу відбувається в результаті двох і більше дій, здійснюваних по своєму механізму, паралельно, послідовно або паралельно-послідовно [7].

При послідовному виконанні індукційного гартування і плазмового модифікування складається можливість регулювання в широких межах глибини сумарного зміцненого шару (рис. 1) за рахунок гартування СВЧ (аж до наскрізного прогріву виробу [11]) та значно більша, ніж при лазерній обробці, глибина поверхневого модифікованого шару [4].

Досліджували структуру, твердість, параметри тріщиностійкості (ударну в'язкість, динамічний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{I_D}) і характер руйнування при динамічному навантаженні інструментальної сталі 75Х2МФ при комбінованому індукційно-плазмовому зміцненні та порівнювали з гартуванням СВЧ та плазмовою обробкою у вихідному (нормалізованому) стані. Зразки для металографічних досліджень та випробувань на тріщиностійкість по методиці роботи [2] вирізали з циліндричних заготовель діаметром 35 мм і довжиною 200 мм. Плазмову обробку без оплавлення поверхні виконували плазмотроном непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою (діаметр отвору сопла 6 мм). Режим обробки: повна теплова потужність 32 кВт, питома теплова потужність струменя – $1,2 \cdot 10^5$ Вт/см²; швидкість переїзнення плазмотрону – 0,7 см/с; плазмотворюючий газ – аргон.

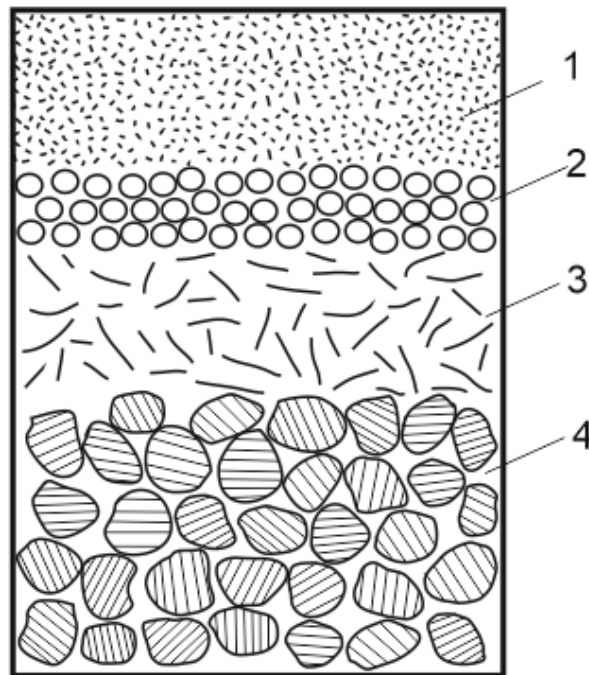


Рис. 1 – Схема композиційного зміцненого шару при плазмовій обробці після гартування СВЧ: 1 – шар плазмового гартування; 2 – зона відпуску; 3 – шар гартування СВЧ; 4 – вихідний метал

Індукційне гартування виконували в кільцевому індукторі (спреєрне охолодження), частота струму складала 1,5 кГц, питома потужність – $2,1 \cdot 10^3$ Вт/см², час нагріву – 40 с, глибина шару гартування СВЧ і плазмового гартування – $5 \pm 0,1$ та $3,2 \pm 0,1$ мм, відповідно.

Результати випробувань наведені у таблиці.

Мікроструктура окремих ділянок зразків після комбінованого зміцнення (рис. 2) досліджували за допомогою оптичного мікроскопа «Neophot-21», мікрофрактограми зламів (рис. 3) – растрового електронного мікроскопу РЕМ-100У.

Сталь 75Х2МФ (0,72% С) відноситься до доєвтектоїдних сталей, однак по складу та структурі близька до евтектоїдних (доля фериту – 5%). Основною структурною складовою у вихідному стані (рис. 2, а) є зернистий перліт. Ферит виявляється у вигляді окремих світлих зерен витягнутої форми, які не утворюють суцільну сітку. Руйнування сталі у вихідному стані відбувається по механізму транскристалітного відколу (рис. 3, а).

Швидкість охолодження при гартуванні СВЧ складає приблизно 10^3 °С/с [11], що на порядок вище, ніж при об'ємному гартуванні. Це сприяє отриманню у шарі гартування СВЧ структури дрібногочастого мартенситу (рис. 2, б). Руйнування у цьому шарі відбувається по змішаному крихкому механізму (рис. 3, б): інтеркристалітний відкол (переважаючий) + квазівідкол. Твердість сталі після гартування СВЧ підвищується у 3,5 рази, але ударна в'язкість знижується майже у 5 разів, а K_{I_D} – більш ніж у 3 рази (таблиця).

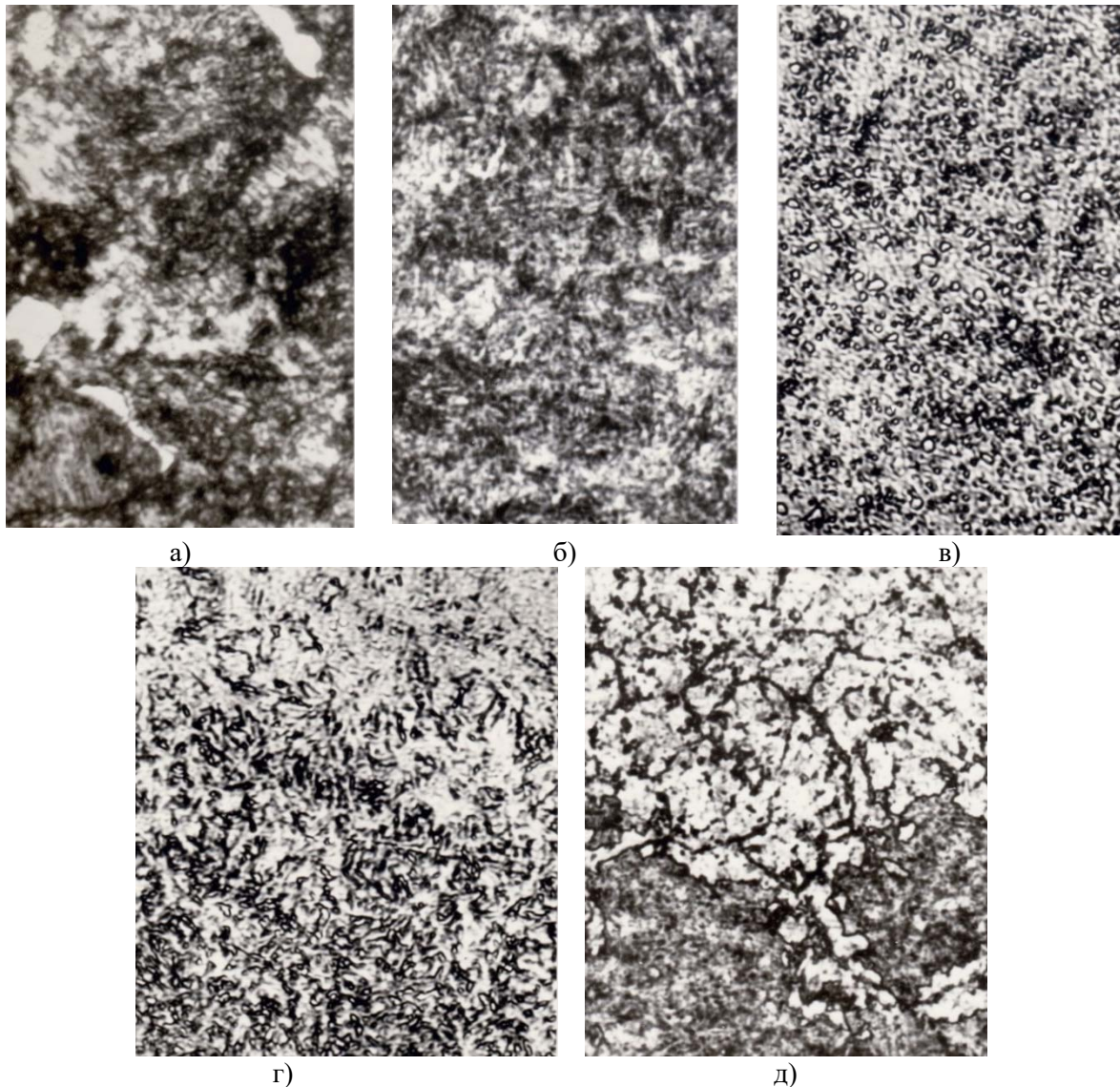


Рис. 2 – Мікροструктура сталі 75X2МФ при комбінованому індукційно-плазмовому зміцненні: а – у вихідному стані; б – в шарі гартування СВЧ; в – в шарі плазмового гартування; г – на межі шару плазмового гартування із зоною відпуску; д – на межі шару гартування СВЧ з вихідною структурою; $\times 1000$

При плазмовому зміцненні швидкість охолодження на два порядки вище, ніж при гартуванні СВЧ [4]. Це забезпечує більш високу твердість (на 100-150 HV) і дисперсну структуру зміцненого шару (рис. 2, в). Причому голчаста будова не виявляється – структура складається з високодисперсних пластин мартенситу та часток карбідів. Руйнування в шарі плазмового гартування відбувається по мікромеханізму наддисперсного квазівідколу (рис. 3, в). Тріщиностійкість сталі 75X2МФ після плазмового зміцнення також знижується, однак у меншому ступені, ніж після індукційного гартування (таблиця). Це пояснюється, з одного боку, більш високою дисперсністю структури, а з іншого боку – меншою товщиною цього шару у зразках.

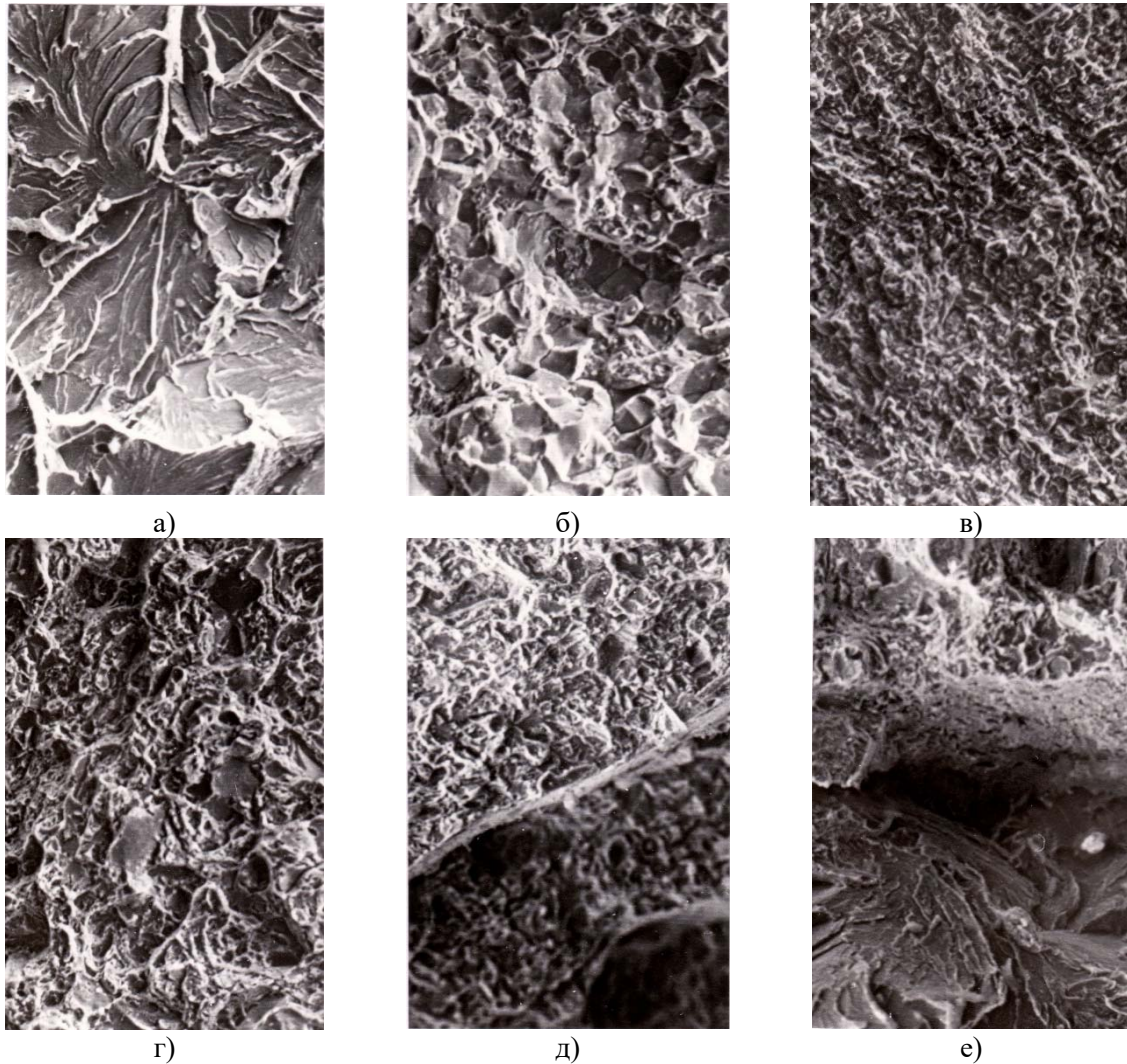


Рис. 3 – Поверхня зламів зразків із сталі 75X2МФ при комбінованому індукційно-плазмовому зміцненні: а – у вихідному стані; б – в шарі гартування СВЧ; в – в шарі плазмового гартування; г – в зоні відпуску; д – на межі шару плазмового гартування із зоною відпуску; е – на межі шару гартування СВЧ з вихідною структурою; $\times 400$

При плазмовій обробці після гартування СВЧ зміцнений шар має шарувату будову (рис. 1) – між загартованими шарами утворюється м'яка зона швидкісного відпуску товщиною понад 1 мм. Температура нагрівання у цій зоні при плазмовій обробці нижче критичної A_{c1} (по аналогії з плазмовою обробкою об'ємозагартованих сталей [4]). Структура у зоні відпуску – наддисперсний сорбіт, руйнування проходить по змішаному квазікрихкому мікромеханізму – квазівідкол + в'язке ямкове (рис. 3, г). Межа між шаром плазмового гартування і шаром відпуску надто різка (рис. 2, г). Межа шару гартування СВЧ з вихідною структурою також достатньо різка (рис. 2, д): перехідна зона неповного індукційного гартування [11] відсутня, оскільки міжкритичний температурний інтервал A_{c1} - A_{c3} для сталі 75X2МФ надто малий. Однак внаслідок меншої концентрації теплового потоку при індукційному нагріванні межа з вихідною структурою більш розмита у порівнянні з межею між зонами при плазмовій обробці.

Плазмове зміцнення після гартування СВЧ поряд зі збільшенням твердості поверхні забезпечує і більш високу тріщиностійкість у порівнянні з плазмовим зміцненням у вихідному стані і тим більше з гартуванням СВЧ (таблиця). Це обумовлено наявністю внутрішньої м'якої та пластичної зони відпуску, а також гальмуванням тріщини по границям із зоною відпуску та вихідною структурою. Гальмування тріщини відбувається по механізму галуження траєкторії [5], що підтверджує наявність характерних сходинок на зламах у цих ділянках (рис. 3, д, е). Отже,

поверхневий шар при комбінованому індукційно-плазмовому зміцненні можна вважати шаруватим композиційним матеріалом з властивим йому «множинним» характером руйнування [13].

Таблиця

Експлуатаційні властивості сталі 75X2МФ
при комбінованому індукційно-плазмовому зміцненні

Технологія зміцнення	Твердість, НВ				КС, МДж/м ²	K _{ID} , МПа · √м
	в шарі плазмового гартування	в зоні відпуску	в шарі гартування СВЧ	у вихідному стані		
Вихідний стан	-	-	-	225-240	0,144	15,23
Гартування СВЧ	-	-	780-800	225-240	0,033	4,64
Плазмове зміцнення	905-930	-	-	225-240	0,040	6,42
Гартування СВЧ + плазмове зміцнення	905-930	345-360	780-800	225-240	0,053	7,47
Гартування СВЧ + об'ємний відпуск при 300°C+ плазмове зміцнення	905-930	290-310	600-620	225-240	0,070	9,84

Додаткове підвищення тріщиностійкості інструментальної сталі при комбінованому зміцненні може бути досягнуте за рахунок проміжного об'ємного відпуску при 300°C впродовж 1 години [4] після гартування СВЧ перед плазмовим зміцненням. Це пов'язано з більш повним протіканням перетворення у внутрішній зоні швидкісного відпуску при наступній плазмовій обробці та підвищенням пластичності металу даної зони. Структура та будова зламу внутрішніх шарів при обробці з проміжним відпуском такі ж, як і при обробці без нього, а руйнування також проходить по «множинному» механізму.

Таким чином, результати дослідження показують ефективність використання комбінованого індукційно-плазмового зміцнення інструменту: у порівнянні з плазмовим зміцненням у вихідному стані і індукційним гартуванням, значно збільшується товщина зміцненого шару, твердість, тріщиностійкість та зносостійкість поверхні.

Висновки

1. Комбіноване індукційно-плазмове зміцнення інструментальних сталей дозволяє наносити на робочу поверхню модифікований шар з композиційною будовою і підвищеним рівнем експлуатаційних властивостей – твердості та тріщиностійкості.

2. Підвищення в'язкості руйнування композиційного зміцненого шару зумовлене гальмуванням тріщини на межах шарів плазмового модифікування, індукційного гартування та вихідного металу.

Перелік використаних джерел:

1. Гришкевич А.Д. Разработка комбинированной технологии упрочнения деталей / А.Д. Гришкевич // Технічна механіка. – 2017. – № 3. – С. 100-114.
2. Пантелеенко Ф.И. Методика разработки комбинированных упрочняющих технологических процессов / Ф.И. Пантелеенко, В.А. Оковитый // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2010. – № 10. – С. 36-42.

3. Степанова Т.Ю. Технологии поверхностного упрочнения деталей машин / Т.Ю. Степанова. – Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2009. – 64 с.
4. Эксплуатационные свойства инструментальных сталей после комплексного объемно-поверхностного упрочнения / С.С. Самотугин, А.В. Пуйко, Н.Х. Соляник, Е.Б. Локшина // *Металловедение и термическая обработка металлов*. – 1997. – № 5. – С. 5-6.
5. Самотугин С.С. Особенности торможения разрушения в слоистых композиционных материалах, полученных наплавкой или поверхностной закалкой / С.С. Самотугин // *Физика и химия обработки материалов*. – 1998. – № 1. – С. 64-69.
6. Киричек А.В. Технология комбинированного упрочнения волной деформации и цементацией конструкционных низколегированных сталей / А.В. Киричек // *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. – 2017. – № 8. – С. 30-35. – Режим доступа: https://doi.org/10.12737/article_5971db7fe454d8.56390820.
7. Эдигаров В.Э. Комбинированная электромеханоультразвуковая обработка поверхностных слоев деталей машин / В.Э. Эдигаров, В.Ш. Алимбаева // *Вестник СибАДИ*. – 2017 – Вып. 2. – С. 42-47. – Режим доступа: [https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2\(54\)-42-47](https://doi.org/10.26518/2071-7296-2017-2(54)-42-47).
8. Шматов А.А. Комбинированное объемно-поверхностное упрочнение стального режущего инструмента / А.А. Шматов // *Вестник Брестского государственного технического университета*. – 2008. – № 4. – С. 16-21.
9. Чудина О.В. Модифицирование стальной поверхности с использованием лазерного нагрева / О.В. Чудина // *Сварочное производство*. – 2016. – № 3. – С. 24-28.
10. Чирков А.А. Лазерно-плазменное наноструктурирование поверхностных слоев сталей при атмосферных условиях / А.А. Чирков // *Фотоника*. – 2008. – № 4. – С. 28-35.
11. Головин Г.Ф. Высокочастотная термическая обработка / Г.Ф. Головин, М.М. Замятин. – Л.: Машиностроение, 1990. – 239 с.
12. Дубняков В.Н. Упрочнение лазерным излучением предварительно обработанных материалов / В.Н. Дубняков, И.Г. Воробьева // *Электронная обработка материалов*. – 1987. – № 6. – С. 64-67.
13. Фудзин Т. Механика разрушения композиционных материалов / Т. Фудзин, М. Дзако; пер. с яп. под ред. А.И. Бурлаева. – М.: Мир, 1982. – 232 с.

References:

1. Grishkevich A.D. Razrabotka kombinirovannoy tekhnologii uprochneniya detaley [Development of a combined technology for strengthening parts]. *Tekhnichna mekhanika – Technical mechanics*, 2017, no. 3, pp. 100-114. (Rus.)
2. Panteleyenko F.I., Okovityy V.A. Metodika razrabotki kombinirovannykh uprochnyayushchikh tekhnologicheskikh protsessov [Methodology for the development of combined hardening technological processes]. *Uprochnyayushchiye tekhnologii i pokrytiya – Strengthening technologies and coatings*, 2010, no. 10, pp. 36-42. (Rus.)
3. Stepanova T.Yu. *Tekhnologii poverkhnostnogo uprochneniya detaley mashin* [Technologies for surface hardening of machine parts]. Ivanovo, Ivan. gos. khim.-tekhnol. un-t Publ., 2009. 64 p. (Rus.)
4. Samotugin S.S., Puyko A.V., Solyanik N.Kh., Lokshina Ye.B. Ekspluatatsionnyye svoystva instrumental'nykh staley posle kompleksnogo ob'yemno-poverkhnostnogo uprochneniya [Operational properties of tool steels after complex volumetric surface hardening]. *Metallovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov – Metallurgy and heat treatment of metals*, 1997, no. 5, pp. 5-6. (Rus.)
5. Samotugin S.S. Osobennosti tormozheniya razrusheniya v sloistykh kompozitsionnykh materialakh, poluchennykh naplavkoy ili poverkhnostnoy zakalkoy [Features of inhibition of fracture in layered composite materials obtained by surfacing or surface hardening]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov – Physics and chemistry of material processing*, 1998, no. 1, pp. 64-69. (Rus.)
6. Kirichek A.V. Tekhnologiya kombinirovannogo uprochneniya volnoy deformatsii i tse-mentatsiyey konstruksionnykh nizkolegированных сталей [Technology of combined hardening by deformation wave and cementing of structural low-alloy steels]. *Naukoyemkiye tekhnologii v mashinostroyenii – Science-intensive technologies in mechanical engineering*, 2017, no. 8, pp. 30-35. doi: [10.12737/article_5971db7fe454d8.56390820](https://doi.org/10.12737/article_5971db7fe454d8.56390820). (Rus.)
7. Edigarov V.E., Alimbayeva V.Sh. Kombinirovannaya elektromekhanoul'trazvukovaya obrabotka poverkhnostnykh sloeyv detaley mashin [Combined electromechanical ultrasonic treatment of

- surface layers of machine parts]. *Vestnik SibADI – The Russian Automobile and Highway Industry Journal*, 2017, vol. 2, pp. 42-47. doi: 10.26518/2071-7296-2017-2(54)-42-47. (Rus.)
8. Shmatov A.A. Kombinirovannoye ob'emno-poverkhnostnoye uprochneniye stal'nogo rezhushchego instrumenta [Combined volumetric surface hardening of a steel cutting tool]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Brest State Technical University*, 2008, no. 4, pp.16-21. (Rus.)
 9. Chudina O.V. Modifitsirovaniye stal'noy poverkhnosti s ispol'zovaniyem lazernogo nagreva [Modification of a steel surface using laser heating]. *Svarochnoye proizvodstvo – Welding production*, 2016, no. 3, pp. 24-28. (Rus.)
 10. Chirkov A.A. Lazerno-plazmennoye nanostrukturirovaniye poverkhnostnykh slojev staley pri atmosferykh usloviyakh [Laser-plasma nanostructuring of surface layers of steels under atmospheric conditions]. *Fotonika – Photonics*, 2008, vol. 4, pp. 28-35. (Rus.)
 11. Golovin G.F., Zamyatin M.M. *Vysokochastotnaya termicheskaya obrabotka* [High-frequency heat treatment]. Leningrad, Maninostroyeniye Publ., 1990. 239 p. (Rus.)
 12. Dubnyakov V.N., Vorob'yeva I.G. Uprochneniye lazernym izlucheniym predvaritel'no obrabotannykh materialov [Strengthening by laser radiation of pretreated materials]. *Elektronnaya obrabotka materialov – Electronic material processing*, 1987, no. 6., pp. 64-67. (Rus.)
 13. Fudzin T., Dzako M. *Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov* [Fracture mechanics of composite material]. Moscow, Mir Publ., 1982. 232 p. (Rus.)

Рецензент: О.Г. Белік
д-р техн. наук, доцент, ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 22.10.2021

УДК 621.923.74

doi: 10.32782/2225-6733.43.2021.11

© Бурлаков В.І.*

ОБРОБКА РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН RNGN 09T300F З НАДТВЕРДОЇ КЕРАМІКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРОАБРАЗИВНОГО СПОСОБУ

У статті показано, що проблему з обробленням різальних пластин з надтвердої кераміки можливо вирішити за допомогою вібраційного оброблення. У статті розглянутий абразивний мікс, що приймає участь в обробленні надтвердої кераміки. Охарактеризовано вплив обсягу завантаження на знімання матеріалу. Продемонстровано найкращий показник при обробленні партії пластин. При ущільненні абразиву збільшується глибина впровадження вершини абразивної частинки в поверхню металу і відбувається перехід до мікрорізання, початок якого можна визначити за певним співвідношенням, що є позитивним фактором. Показаний ще один фактор, який викликає підвищення оброблюваності матеріалу. Це співвідношення кількості деталей і абразиву. Зроблено висновок про те, що найбільш інтенсивно обробка ведеться при співвідношенні кількості робочих тіл і пластин від 40 до 60%. Показано, що зі збільшенням зернистості зростає знімання матеріалу і формується менша шорсткість поверхні. Це свідчить про превалюючий вплив на знімання матеріалу мікро- і субмікрровиступів абразивних зерен. У процесі досліджень вібраційної обробки надтвердої кераміки було з'ясовано як впливає змочування зони різання на продуктивність. Змочування впливає на збільшення кількості вилученого матеріалу з поверхні пластини дуже повільно, тобто продуктивність ВіО повільно зростає. Показано, що в залежності від оброблюваного матеріалу та режимів обробки, характерними механізмами зносу інструментів із ПКНМ. Дана характеристика зносам. При обробці різальних пластин за допомогою вібраційної обробки вільним алмазним

* канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь