

Загребельний В.В.Національний авіаційний університет,
м. Київ, Україна
E-mail: big09@ukr.net**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ
СТАЛЕЙ КОМБІНОВАНОЮ
ЛАЗЕРО - ХІМІКО - ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ**

УДК 621.785

Досліджено вплив поверхневого зміцнення лазером за різними схемами дискретної обробки та наступного азотування на зносостійкість, контактну втомну міцність та різальні властивості пластин та свердел із сталі Р6М5.

Ключові слова: сталь Р6М5, дискретна лазерна обробка, сітчасто - стільникова схема обробки, азотування, зносостійкість.

Вступ

Причиною виходу із ладу різального інструменту (більше 80 %) є не його поломка, а поверхневе руйнування і, перш за все, механізм зношування [1]. Зношування різального інструменту знижує продуктивність обробки деталей машин. Витрата інструменту різко позначається на підвищенні собівартості продукції машинобудівних підприємств, тому підвищення зносостійкості робочих поверхонь різального інструменту є одним з факторів збільшення їхньої працездатності. В промисловості найбільше розповсюдження знайшли методи зміцнення за допомогою зносостійких покриттів.

Поверхневі покриття дозволяють підвищити довговічність різального інструмента в 2 - 10 разів [2]. В загальній проблемі надійності і довговічності різального інструменту прийнято розрізняти "об'ємну міцність" і "міцність поверхневого шару" [3]. І хоча, в даний час окремі види і закони зношування достатньо добре вивчені, оформити і узагальнити все різноманіття явищ, що відбуваються в поверхневому шарі при різанні, практично неможливо [4].

Зношування від втоми або втомне викришування виникає в результаті періодичного деформування матеріалу, що призводить до виникнення дислокацій, які з'єднуючись між собою утворюють мікротріщини. Руйнування відбувається під впливом контактних напружень у поверхневому шарі, а інтенсивність зношування залежить від напружено - деформованого стану, фізико - механічних властивостей матеріалу, кінематики контакту. На опір від втоми впливають: стан поверхневого шару, залишкові напруження, концентрація напруження, якість обробки поверхні, рівень припрацювання. На інтенсифікацію контактної втоми матеріалу впливають: частота навантаження, середовище, температура, коефіцієнт тертя [5].

Захисні покриття на інструментах широко використовуються в теперішній час [6]. За допомогою зносостійких покриттів триботехнічного призначення оптимально забезпечуються високі значення твердості, теплостійкості і пасивності по відношенню до оброблюваного матеріалу, а також міцність і тріщиностійкість. Нанесення зносостійких покриттів на робочі поверхні різального інструменту є універсальним надійним способом за допомогою якого можливо збільшити його працездатність і керувати процесом різання.

Дослідження останніх років направлені на покращення властивостей відомих та створення нових видів покриттів та технологій їх нанесення, а також розширення номенклатури матеріалів для поверхневої обробки. Для зміцнення інструментальних сталей, наприклад Р6М5, широко застосовується азотування. Проте суттєвим недоліком процесу азотування можна вважати тривалість обробки, невисоку якість отриманого поверхневого дифузійного шару і недостатню зносостійкість. В роботі [7] показано, що лазерна обробка (до хіміко - термічної обробки) сталей за певних умов може суттєво прискорювати процеси азотування. Перспективним методом зміцнення різального інструменту також є створення зносостійких дискретних композиційних покриттів із застосуванням концентрованих джерел енергії [8].

Мета і задачі досліджень

Мета досліджень полягає в отриманні на сталі Р6М5 комплексних покриттів азотуванням та дискретною лазерною обробкою основи під покриттям, встановлені його будови, фізико - механічних та триботехнічних властивостей.

Основними задачами досліджень щодо поверхневого зміцнення сталі були:

- дослідити вплив схеми дискретної обробки на контактну втомну міцність та зносостійкість сталі Р6М5.

- розробити технологічний процес комбінованого поверхневого зміцнення різального інструменту зі сталі Р6М5 з підвищеними експлуатаційними властивостями в умовах жорсткого трибосилового навантаження.

Методика дослідження

Дискретну лазерну обробку виконували на установці ЛАТУС – 31, з потужністю $10^3 - 10^5$ Вт/см². Металографічні дослідження проводили на мікроскопі «Neophot 21». Міцність зчеплення покриття з основою оцінювали методом алмазного ідентування на твердомірі ТК- 2М. Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3 при навантаженні на інденторі 0,5 - 1,0 Н. Рентгеноспектральний аналіз проводили на мікроскопі РЕМ - 200.

Дослідження зносостійкості покриттів в умовах тертя ковзання без змащування проводили за схемою вал - вкладиш на машині тертя М22-М у парі із загартованою сталлю Р6М5 (HRC61-63).

Результати дослідження та їх обговорення

Відомий спосіб нанесення покриттів на різальний інструмент включає дискретну лазерну обробку з наступним азотуванням [9]. Згідно запропонованого способу формується комбіноване покриття, що виконує дві функції: тонкий, пластичний, азотований шар на не зміцненій попередньо лазером поверхні екранує безпосередній контакт матеріалів трибоспряження і забезпечує протікання процесу припрацювання з утворенням специфічних вторинних структур з високою стійкістю до температурно – силових впливів контактного фрикційного процесу. Дискретно зміцнені з високою твердістю азотовані ділянки забезпечують мінімальні напруження при терті та високу експлуатаційну зносостійкість.

Даний спосіб отримання зносостійких азотованих шарів включає лазерну обробку з потужністю $10^3 - 10^5$ Вт/см² дискретно із площею обробки 15 - 80 % від загальної площі сталевих виробів з наступним азотуванням в середовищі аміаку при температурі 800 - 860 К із витримкою до 1 години.

Це дозволяє отримати більш товстіші, за рахунок попередньої лазерної обробки, дискретно азотовані шари і тонкі пластичні шари на ділянках без лазерної обробки.

Було досліджено вплив попередньої лазерної обробки та часу витримки при азотуванні на товщину, мікротвердість та фазовий склад азотованих шарів на оброблених та необроблених лазером поверхнях зразків із інструментальної сталі Р6М5.

Експериментальним шляхом встановлено, що спочатку в середовищі насичуючого газу при температурі азотування 800 - 860 К утворюється шар ненасиченого α - розчину, товщина якого збільшується з часом. Утворення на поверхні крихкої ϵ - фази, поява якої різко гальмує дифузію азоту в глибину, починається через 60 хв. Отже, достатньої товщини азотовані шари можна отримати за 1 год. азотування, і подальша витримка в насичуючому середовищі недоцільна, оскільки глибина зміцненого шару практично не збільшується, проте його міцність знижується через утворення на поверхні крихкої ϵ - фази.

Недоліком способу – є та обставина, що він не дозволяє одержати виріб з високою контактною втомною міцністю поверхні в умовах жорсткого трибосилового навантаження, що обумовлено схемою дискретного зміцнення острівного типу.

Поставлено задачу поверхневого зміцнення металевих виробів за схемою дискретної обробки, яка б забезпечувала високу контактну втомність, міцність покриття та мінімальні напруження при терті, за рахунок мінімізації напружено – деформованого стану.

В запропонованому способі з метою підвищення втомної міцності лазерну обробку здійснюють дискретно за сітчасто – стільниковою схемою з кроком 3 - 5 мм [10].

Така попередня лазерна обробка дозволяє при наступному азотуванні отримати дискретні азотовані шари із сітчасто – стільниковою схемою зміцнення. Товсті, за рахунок попередньої лазерної обробки дискретно азотовані шари і тонкі пластичні шари на ділянках без лазерної обробки. Сітчасто – стільникова схема зміцнення поверхневого шару металу буде підвищувати контактну втомну міцність виробу з покриттям. Це обумовлено створенням такого напружено – деформованого стану, який забезпечує мінімальні напруження при терті, що встановлено аналітичними розрахунками, а також підтверджено експериментально.

На рис. 1 зображено схеми дискретної лазерної обробки острівного типу (а) і сітчасто – стільникового типу (б).

Відстань 3 - 5 мм між ділянками обумовлена оптимальною площею обробки: 15 - 75 % від загальної площі зміцнюваної поверхні.

На отримані зразки зі зміцненою поверхнею наносять азотоване покриття. Поєднання ділянок з різною твердістю і товщиною покриття створює такий напружено – деформований стан, який забезпечує мінімальні напруження при терті. Мінімальна площа обробки 15 - 20 % забезпечує антифрикційність, а максимальна 70 - 75 % – зносостійкість і несучу здатність за номінального і допустимого навантаження відповідно. Визначалась глибина та мікротвердість азотованого шару. Вимірювання мікротвердості проводили на приладі ПМТ – 3 за методом Вікерса при навантаженні 20 г.

Товщина та мікротвердість азотованого шару на сталі Р6М5 становила: на ділянках з лазерною обробкою $h_1 - 0,32$ мм, 12500 МПа і на ділянках без лазерної обробки $h_2 - 0,015$ мм, 9200 МПа.

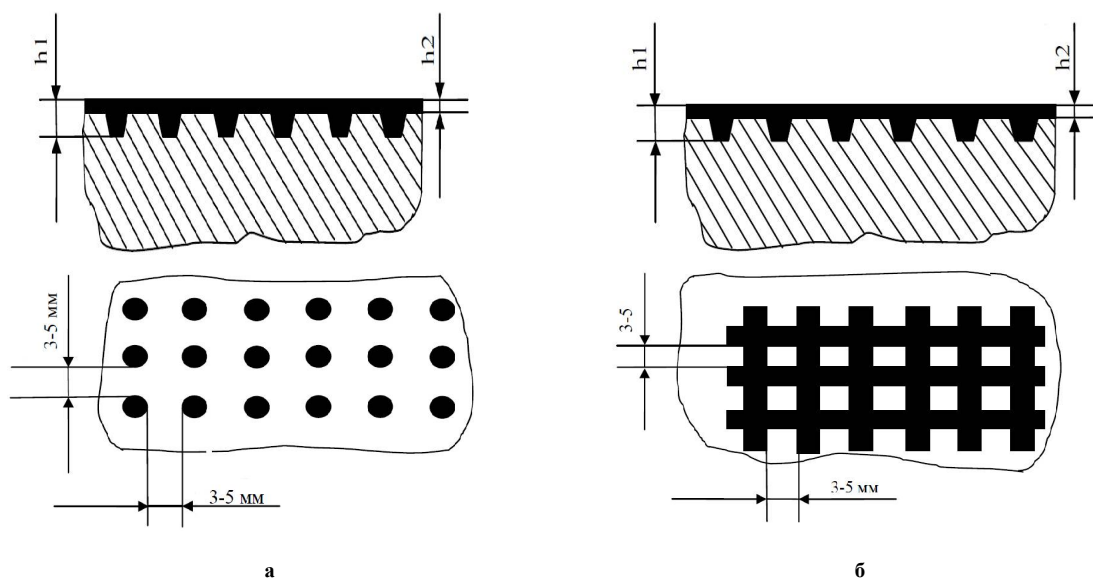


Рис. 1 – Схеми дискретної обробки:
а – острівного;
б – сітчасто - стільникового типу

Зразки з комбінованою лазеро - хіміко - термічною обробкою випробували на контактну втомну міцність та зношування (табл. 1).

Таблиця 1

Контактна втомна міцність та зносостійкість різального інструменту зі сталі Р6М5 зміцненого дискретно азотованими покриттями в залежності від попередньої лазерної обробки його поверхні

Схема лазерної обробки	Контактна втомна міцність, кількість циклів до руйнування, $\times 10^6$	Зносостійкість сталі з покриттям, хв
Острівного типу	0,52	45 - 52
Стільникового типу	0,55 - 0,64	65 - 90

Проведені випробування на контактну втомну міцність в умовах циклічного навантаження кулькою за напружень в зоні контакту 1,50 - 1,70 ГПа показали, що втомна міцність сталі з покриттям, нанесеним на поверхню, попередню оброблену лазером за стільниковою схемою, вища, ніж з покриттям, нанесеним на поверхню, попередню оброблену за схемою острівного типу.

Випробування щодо визначення зносостійкості проводили на токарно - гвинторізальному верстаті моделі 16К20 при точінні заготовок зі сталі 30ХГСА з охолодженням (5% - ний розчин емульсолу «Укрінол»). Випробували пластини із швидкорізальної сталі Р6М5, оброблені за відомим і запропонованим способом. Критерієм зносу слугувала фаска зносу по задній грані шириною 6 мм. Швидкість різання 50 м/хв.

Як видно з наведених даних в табл. 1, зносостійкість пластин, оброблених дискретною лазерною обробкою за схемою стільникового типу вища, ніж зносостійкість пластин, оброблених за схемою острівного типу в 1,4 - 1,7 рази.

Висновки

1. Встановлено, що попередня лазерна обробка прискорює процеси дифузії азоту в поверхневі шари різального інструменту; на ділянках з лазерною обробкою товщина азотованого шару становить 0,32 мм, а на ділянках без лазерної обробки – 0,015 мм;

2. Встановлено, що завдяки зміцненню поверхневого шару попередньою лазерною обробкою за сітчасто – стільниковою схемою підвищується контактна втомна міцність інструменту з азотованим покриттям. Це досягається завдяки створенню благаприємного напружено - деформованого стану;

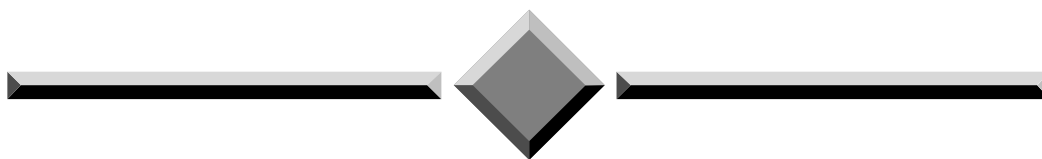
3. Випробування на зносостійкість сталі Р6М5 обробленої комбінованою лазеро - хіміко - термічною обробкою у виробничих умовах показали підвищення зносостійкості різального інструменту зміцненого дискретною лазерною обробкою за сітчасто - стільниковою схемою в 1,4 - 1,7 рази в порівнянні з обробле-

ним за схемою острівного типу. Це обумовлено тим, що дискретні ділянки з різною твердістю і товщиною сприяють припрацьовуваності покриття і мінімізують напруження при терті.

Література

1. Васин С.А. Резание материалов: Термомеханический поход взаимосвязей при резании / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.С. Баумана, 2001. – 448 с.
2. Ляшенко Б.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине / Б.А. Ляшенко, С.А. Клименко // Сучасне машинобудування. – 1999. – № 1. – С. 94 - 104.
3. Емельянов Е.Н. К расчету прочности материалов с поверхностным градиентом свойств триботехнического и инструментального назначения: Е.Н. Емельянов / Сообщ. 1 // Доклады 7 Всероссийской науч. – техн. конф. «Механика летательных аппаратов и современные материалы» Томск: Изд-во ТГУ, 2000. – Вып. 3. – С. 111 - 112.
4. Трошенко В.Г. Циклическая вязкость разрушения металлов и сплавов / В.Г. Трошенко, В.В. Покровский // Сообщение 1. Методики и материалы исследования и общие закономерности // Проблемы прочности. – 2003. – № 1. – С. 5 - 23.
5. Костецкий Б.И. Структура и поверхностная прочность материалов при трении. / Костецкий Б.И. // Проблемы прочности. – 1981. – № 3. – С. 90 - 98.
6. Лоскутов В.Ф. Диффузионные карбидные покрытия / В.Ф. Лоскутов, В.Г. Хижняк, Ю.А. Куницкий, М.В. Киндрачук. – К.: Техника, 1991. – 168 с.
7. Пат № 19551. Україна МПК (2006) С23С8/02 Спосіб комбінованої лазерно-хіміко-термічної обробки матеріалів. / М.В. Кіндрачук, Л.Ф. Головка, В.М. Писаренко, Н.В. Іщук. – Заяв. 04.07.2006. № С23С 8/02 Опубл. 15.12.2006, бюл. № 12.
8. Пат. 25412 Україна, МПК (2006) С23С 8/02. Спосіб отримання зносостійких дискретних азотованих шарів / М.В. Кіндрачук, Н.В. Іщук, В.М. Писаренко, Л.Ф. Головка, М.С. Яхья, - № u 2007 03002; Заявл. 22.03.07, опубл. 10.08.07, Бюл. № 12. – 5 с.
9. Пат. 75933 України МПК (2006.01) С23С 8/02 / Спосіб отримання покриттів з високою припрацьовуваністю і зносостійкістю / Кіндрачук М.В., Корбут Є.В., Хлевна Ю.Л., Лабунець В.Ф., Духота О.І., Ляшенко Б.А., Мельник О.В. № u 2012 03513; Заявл. 26.03.2012; опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24. – 4 с.
10. Пат. 107190 України. Спосіб отримання зносостійких покриттів з високою припрацьовуваністю і підвищеним опором втомному руйнуванню / Кіндрачук М.В., Загребельний В.В., Лабунець та ін.; № u 201511639; Заявл. 25.11.2015; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10. – 4 с.

Поступила в редакцію 04.10.2016



Проблеми трибології
“Problems of Tribology”
E-mail: tribosensor@gmail.com

Zagrebelniy V.V. Increasing of high speed steels operational properties by combined laser-chemical-thermal treatment.

The main objectives are: study of the effect of discrete processing circuit on the contact fatigue strength and wear resistance of steel P6M5; process design combined surface hardening tool with enhanced performance properties. In a paper ne investiqaled the influence of laser-aided surface harbening, patterns of descreeete treatment followed by nitrating on wear resistance, contact fatigue and cutting cuttingq abilite of plates and drill bits made of steel R6M5. Developed net-honeycomb pattern of treatment showed an increase of operational properties of cutting tools.

Keywords: steel R6M5, discrete laser processing, net-honeycomb pattern of treatment, nitrating, durability.

References

1. Vasin P.A. Rezanie materialov: Termomehanicheskiy pohod vzaimosvyazey pri rezanii. P.A. Vasin, A.P. Vereshchaka, V.P. Kushner. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2001. 448p.
2. Lyashenko B.A. Tendentsii razvitiya uprochnyayushchey poverhnostnoy obrobki i polozhenie v Ukraine. B.A. Lyashenko, P.A. Klimenko. Suchasne mashinobuduvannya. 1999. № 1. P. 94 – 104.
3. Emelyanov E.N. K raschetu prochnosti materialov s poverhnostnym gradientom svoystv tribotekhnicheskogo i instrumentalnogo naznacheniya: E.N. Emelyanov. Soobshch. 1. Doklady 7 Vserossiyskoy nauch. – tehn. konf. «Mehaniка letatelnyh apparatov i sovremennyye materialy» Tomsk: Izd-vo TGU, 2000. Vyp. 3. P.111 112.
4. Troshchenko V.G. Tsiklicheskaya vyazkost razrusheniya metallov i splavov. V.G. Troshchenko, V.V. Pokrovskiy. Soobshchenie 1. Metodiki i materialy issledovaniya i obshchie zakonomernosti. Problemy prochnosti. 2003. № 1. P.5 – 23.
5. Kostetskiy B.I. Struktura i poverhnostnaya prochnost materialov pri trenii. Kostetskiy B.I. Problemy prochnosti. 1981. № 3. P. 90 – 98.
6. Loskutov V.F. Diffuzionnye karbidnye pokrytiya. V.F. Loskutov, V.G. Hizhnyak, Yu.A. Kunitskiy, M.V. Kindrachuk. K.: Tehnika, 1991. 168 p.
7. Pat № 19551. Ukrayina MPK (2006) S23S8/02 Sposib kombinovanoyi lazerno-himiko-termichnoyi obrobki materialiv. M.V. Kindrachuk, L.F. Golovko, V.M. Pisarenko, N.V. Ishchuk. Zayav. 04.07.2006. № S23S 8/02 Opubl. 15.12.2006, byul. № 12.
8. Pat. 25412 Ukrayina, MPK (2006) S23S 8/02. Sposib otrimannya znosostiykih diskretnih azotovanih shariv. M.V. Kindrachuk, N.V. Ishchuk, V.M. Pisarenko, L.F. Golovko, M.P. Yahya, № u 2007 03002; Zayavl. 22.03.07, opubl. 10.08.07, Byul. № 12. 5p.
9. Pat. 75933 Ukrayini MPK (2006.01) S23S 8/02. Sposib otrimannya pokrittiv z visokoyu pripratsovuvaniist i znosostiykisty. Kindrachuk M.V., Korbut E.V., Hlevna Yu.L., Labunets V.F., Duhota O.I., Lyashenko B.A., Melnik O.V. № u 2012 03513; Zayavl. 26.03.2012; opubl. 25.12.2012, Byul. № 24. 4p.
10. Pat. 107190 Ukrayini. Sposib otrimannya znosostiykih pokrittiv z visokoyu pripratsovuvaniystyu i pidvishchenim oporom vtomnomu ruynuvannyu. Kindrachuk M.V., Zagrebelniy.V.V., Labunets ta in.; № u 201511639; Zayavl.25.11.2015; opubl. 25.05.2016, Byul. № 10. 4p.