

УДК 621.375.826:621

Застосування лазерного випромінювання для підвищення ефективності процесів азотування

Альнусират Валид, Л.Ф. Головка, В.В. Романенко, М.С. Блощин
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: У даному дослідженні випробувана технологія лазерного процесу обробки. Такий комбінований процес лазерної хіміко-термічної обробки, дозволяє шляхом модифікування структур поверхневих шарів металевих сплавів значно збільшити діапазон товщини одержуваних високоякісних азотованих шарів при радикальному зниженні часу і енергоємності процесу, істотно розширити області їх застосування для підвищення зносостійкості, корозійної стійкості та інших експлуатаційних характеристик виробів.

Ключові слова: азотування, комбінований процес, розплав, нікелевий сплав, математичне моделювання, металургійний зв'язок, мікроструктура, розподіл елементів, фазовий склад

Для підвищення зносостійкості і втомної міцності деталей машин, що працюють в умовах тертя, при підвищених питомих тисках і дії знакозмінних навантажень широко застосовуються різні види хіміко-термічної обробки. Азотування є одним з найбільш ефективних методів збільшення терміну служби деталей, що піддаються в процесі експлуатації інтенсивному зношуванню, втомним і корозійним руйнувань. Процес застосовують майже для всіх залізовуглецевих в тому числі і легованих сплавів, що містять елементи, які утворюють нітриди.

З підвищенням ступеню легування сталі глибина азотованого шару зменшується. Азотування підвищує зносостійкість і зменшує коефіцієнт тертя феритних і аустенітних сталей, в тому числі при підвищених температурах, сприяє суттєвому збільшенню опору кавітації.

Товщина азотованого шару з підвищенням температури збільшується. Феритні і аустенітні високохромісті сталі зазвичай азотують при температурах 560-600°C. З підвищенням температури вище 700-800°C значно зменшується товщина шару з високим вмістом азоту, істотно знижується його твердість, що обумовлено коагуляцією нітридних часток, порушенням порядку їх розташування. Найбільше зниження твердості з підвищенням температури азотування спостерігається у феритних сталей. Азотування аустенітних сталей не дозволяє отримати шар з високою твердістю товщиною більше 0,15 мм.

Одним із способів збільшення швидкості дифузії є циклічна зміна температури, особливо для металів і сплавів, що зазнають мартенситних перетворень.

Відомі й інші методи інтенсифікації дифузійних процесів. Найбільший інтерес представляє комбінований процес, розроблений авторами проекту, що включає лазерну обробку поверхні, що забезпечує формування в поверхневому шарі ультрадисперсної розгалуженої у просторі структури з високою густиною дислокацій і подальше азотування в плазмі тліючого розряду.

Такий комбінований процес лазерної хіміко-термічної обробки, дозволяє шляхом модифікування структур поверхневих шарів металевих сплавів значно збільшити діапазон товщини одержуваних високоякісних азотованих шарів при радикальному зниженні часу і енергоємності процесу, істотно розширити області їх застосування для підвищення зносостійкості, корозійної стійкості та інших експлуатаційних характеристик виробів.

Для реалізації цього процесу проводилось моделювання теплових процесів, що протікають в різних сплавах, у тому числі модельному, при лазерному опроміненні, і

встановлювались умови обробки, при яких в матеріалах формуються високодисперсні мікроструктури з підвищеною густиною розгалужених у просторі дислокацій, вивчалися основні закономірності їх вплив на процес подальшого азотування, структуру, фазовий склад, розмірні характеристики і мікротвердість сформованих шарів.

При використанні лазерного випромінювання з нерівномірним розподілом інтенсивності в площині фокусування в процесі лазерного нагрівання виникає задача визначення самої функції розподілу потужності випромінювання, швидкості руху променя, а також потужності випромінювання, необхідної для досягнення рівномірного розподілу температурного поля в робочій зоні. При цьому, температура в зоні нагріву повинна бути вище межі початку структурно-фазових перетворень і нижче температури плавлення.

Для визначення закономірностей зміни теплового стану виробу від параметрів його обробки лазерним випромінюванням використовувалась розрахункова схема, в ортогональній системі координат $XOYZ$. Розподіл потужності випромінювання в площині фокусування описується законом $W(x, y, t)$. Його дія викликає формування на поверхні деталі теплового потоку з розподілом інтенсивності $q(x, y, t)$.

Характер зміни температури деталі описується тривимірним нелінійним диференціальним рівнянням теплопровідності з початковими умовами і граничними умовами в зоні дії лазерного випромінювання та за її межами.

Розрахунок температури кожної точки заготовки для будь-якого моменту часу проводився методом кінцевих різниць. Для цього досліджувана область розбивалася на рівні паралелепіпеди з розмірами сторін L_x, L_y, L_z паралельними осям Ox, Oy, Oz системи координат $XUYO$, відповідно. Розміри сторін вибиралися на основі компромісу між точністю моделі і накопичуваної помилки розрахунків.

Використовуючи отримані математичні залежності та комп'ютерні програми на мові програмування MatLab проводився розрахунок теплового стану напівобмеженого виробу, який оброблявся лазерним випромінюванням з багатомодовим циліндричним просторово-часовим розподілом інтенсивності. При розрахунку враховувався реальний просторово-часовий розподіл потужності лазерного випромінювання на оброблюваній поверхні, виміряний за допомогою пристрою LBA. Потужність випромінювання приймалася постійною, рівної 1000 Вт. Поглинальна здатність опромінюваної поверхні з технологічним покриттям МСЦ510 становила 80%. Швидкість відносного руху лазерного променя і деталі варіювалася в діапазоні (0,8 - 2) м / хв, діаметр плями фокусування становив - 4; 5; і 7 мм. Матеріал виробу - сталь з хімічним складом:

Управління швидкістю лазерної обробки і діаметром плями фокусування дозволяє в широкому діапазоні змінювати параметри теплового стану приповерхневих шарів виробів (максимальні температури нагріву, їх розподіл, швидкості нагріву і охолодження).

Висновки

Використовуючи промінь з просторовими характеристиками, які можуть бути отримані при фокусуванні багатомодового випромінювання (TEM₂₀) з потужністю $P = 1000$ Вт сферичної лінзою з фокусною відстанню 300 мм, можна отримувати зону термічного впливу глибиною до 3,5 мм, шириною до 8 мм (ЗТВ обмежена ізотермою 200 ° С). При варіюванні швидкості обробки в діапазоні 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 м / хв можна змінювати рівень максимальних температур на поверхні на осі пучка в діапазоні від 834 ° С до 20847 ° С, швидкості охолодження на поверхні від 2000 ° С / с до 5000 ° С / с. Збільшення швидкості обробки з 0,4 м / хв до 1,4 м / хв призводить до зниження температури на 1250 ° С від 20847 ° С до 834 ° С. При цьому зменшується як глибина (з 3,5 мм до 1,6 мм), так і ширини зони термічного впливу (з 8 мм до 5 мм). Зменшення часу дії лазерного випромінювання на матеріал від 0,75 с до 0,2 с призводить

до зменшення глибини зони термічного впливу і зростання швидкостей охолодження від $2000\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{с}$ до $5000\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{с}$.

Список літератури

1. Okonkwo, P. C., Mohamed, A. M. A. Erosion-corrosion in oil and gas industry: a review. *Int. J. Metall. Mater. Sci. Eng.* 2014. Vol. 4, No. 3. С. 7–28.
2. Tomarov, G. V., Shipkov, A. A. Erosion-corrosion of metals in multicomponent geothermal flows. *Thermal engineering*. 2006. Vol. 53, No. 3. С. 188–194.
3. Karlsdóttir, S. N., Hjaltason, S. M., Ragnarsdóttir, K. R. Corrosion behavior of materials in hydrogen sulfide abatement system at Hellisheiði geothermal power plant. *Geothermics*. 2017. Vol. 70. С. 222–229.
4. Wróbel, T., Cholewa, M., Tenerowicz, S. Bimetallic layered castings alloy steel–carbon cast steel. *Archives of Foundry Engineering*. 2011. Vol. 11, No. 1. С. 105–107.
5. Салій, С. С., Головка, Л. Ф., Романенко, В. В., et al. Комбінований лазерно-ливарний процес виготовлення біметалів. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2020. Vol. 88, No. 1.
6. Nesterov, N. V., Vorontsov, B. S., Nesterov, P. N. Preparation of Bimetal Objects by Lost Foam Casting. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2018. Vol. 54, No. 5. С. 448–451.
7. Белый, А. И. Влияние основных технологических параметров плазменной наплавки на свойства композиционного наплавленного металла. *Автоматическая сварка*. 2010. No. 6. С. 30–32.
8. Rigal, E., Burlet, H. Method for assembling by diffusion welding a martensite stainless steel and a copper alloy and resulting bimetal element / Google Patents, 2002.
9. Chen, Y., Nakata, K. Friction stir lap welding of magnesium alloy and zinc-coated steel. *Materials transactions*. 2009. Vol. 50, No. 11. С. 2598–2603.
10. Shah, L. H. A., Sonbolestan, S., Midawi, A. R. H., et al. Dissimilar friction stir welding of thick plate AA5052-AA6061 aluminum alloys: effects of material positioning and tool eccentricity. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. Vol. 105, No. 1–4. С. 889–904.
11. Wolff, F., Viskanta, R. Solidification of a pure metal at a vertical wall in the presence of liquid superheat. *International journal of heat and mass transfer*. 1988. Vol. 31, No. 8. С. 1735–1744.
12. Alexiades, V., Hannoun, N., Mai, T. Z. Tin melting: Effect of grid size and scheme on the numerical solution. *Electronic Journal of Differential Equations (EJDE)[electronic only]*. 2003. Vol. 2003. С. 55–69.

The use of laser radiation to increase the efficiency of nitriding processes

Alnusirat Walid, L. Golovko, V. Romanenko, M. Bloschchysyn

Abstract. *In this study, the technology of laser processing is tested. This combined process of laser chemical-thermal treatment allows by modifying the structures of the surface layers of metal alloys to significantly increase the thickness range of high-quality nitrided layers with a radical reduction in time and energy consumption of the process, significantly expand their applications to increase wear resistance, corrosion resistance and other performance characteristics.*

Keywords: *combined process, melt, nickel alloy, mathematical modeling, metallurgical bond, microstructure, distribution of elements, phase composition.*