

Азотирование стали 40x13 в индуктивно-связанной плазме: влияние потенциала смещения образца

Д. В. Сиделёв, Е. Д. Воронина, О. И. Кожина, В. А. Грудинин, Г. Н. Столбовская

Рассмотрено влияние амплитуды электрического потенциала смещения на структурные и функциональные свойства стали 40x13 при высокочастотном азотировании в индуктивно-связанной плазме смеси аргона, водорода и азота. В результате азотирования формируется трёхслойная структура в приповерхностном слое, кристаллическая структура которого зависит от прикладываемого к нему потенциала смещения. Толщина азотируемого слоя и шероховатость поверхности нелинейно зависят от амплитуды потенциала вследствие изменения интенсивности распыления поверхности ионами из плазмы. Износостойкость в условиях сухого трения и коррозионная стойкость стали 40x13 в растворе 3,5 масс. % NaCl повышаются по мере увеличения амплитуды потенциала смещения от -20 до -80 В, о чём свидетельствует снижение скорости износа от $5,0 \times 10^{-4}$ до $4,8 \times 10^{-7}$ мм³/(м·Н) и плотности тока коррозии от $1,6 \times 10^{-9}$ до $1,7 \times 10^{-10}$ А/см², соответственно. Полученные результаты могут быть использованы для разработки дуплексной технологии обработки материалов.

Ключевые слова: высокочастотное (ВЧ) ионно-плазменное азотирование, индуктивно-связанная плазма, потенциал смещения, микротвёрдость, сталь 40x13.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-16-23

Сиделёв Дмитрий Владимирович¹, доцент, к.т.н.

E-mail: sidelevdv@tpu.ru

Воронина Екатерина Дмитриевна¹, студент.

Кожина Ольга Ивановна², инженер-исследователь специзделий.

Грудинин Владислав Алексеевич¹, аспирант, инженер-исследователь.

Столбовская Галина Николаевна³, вед. инженер.

¹ Томский политехнический университет.

Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

² ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина».

Россия, 456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13.

³ ООО «Лаборатория 23».

Россия, 634050, г. Томск, ул. Советская, 84.

Статья поступила в редакцию 05 марта 2022 г.

© Сиделёв Д. М., Воронина Е. Д., Кожина О. И.,

Грудинин В. А., Столбовская Г. Н., 2022

Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного задания в рамках научного проекта № FSWW-2021-0017.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлин Е. В., Коваль Н. Н., Сейдман Л. А. Плазменная химико-термическая обработка поверхностей стальных деталей. – М.: Техносфера, 2012.
2. Rao K. R. M., Trinadh K., Nouvea C. // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 46. P. 4431.
3. Meshcheryakova E. A., Kaziev A. V., Zibrov M. S., Stepanova T. V., Berdnikova M. M., Kharkov M. M., Pisarev A. A. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2016. Vol. 80. № 2. P. 175.
4. Berlin E. V., Grigoryev V. J. Plasma generator. US Patent 9,704,691 (2017).
5. Nakasa K., Gao S., Yamamoto A., Sumomogi T. // Surface and Coatings Technology. 2019. Vol. 358. P. 891.
6. Бокштейн С. З. Диффузия и структура металлов. – М.: Металлургия, 1973.
7. Wang L., Ji S., Sun J. // Surface and Coatings Technology. 2006. Vol. 200. № 16–17. P. 5067.
8. Alsarani A., Karakan M., Çelik A. // Materials Characterization. 2002. Vol. 48. № 4. P. 323.
9. Lepiński C. M., Nascimento F. C., Foerste C. E., Da Silva S. L. R., Siqueira C. D. M., Alves Jr C. // Materials Science and Engineering: A. 2008. Vol. 489. № 1–2. P. 201.

Nitriding of 40h13 steel in inductively coupled plasma: role of a bias potential

*D. V. Sidelev¹, E. D. Voronina¹, O. I. Kozhina², V. A. Grudinin¹,
and G. N. Stolbovskaya³*

¹ Tomsk Polytechnic University
30 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia
E-mail: sidelev@tpu.ru

² FSUE «Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia Research Institute
of technical Physics»
13 Vasilieva st., Snezhinsk, Chelyabinsk region, 456770, Russia

³ JSC Laboratory 23
84 Sovetskaya st., Tomsk, 634050, Russia

Received March 05, 2022

This article describes the influence of a bias potential on structural and functional properties of austenitic steel 40h13 after radio-frequency nitriding using an inductively coupled plasma of a mixture of argon, hydrogen and nitrogen. The three-layer structure is formed in a surface layer of the steel, its crystal structure depends on the bias potential. The thickness of the nitrided layer and surface roughness non-linearly depend on the bias potential due to changing an intensity of surface sputtering by plasma ions. Wear resistance and corrosion resistance of 40h13 steel in 3.5 wt. % NaCl solution are increased from 5.0×10^{-4} to 4.8×10^{-7} mm²/(m N) and from 1.6×10^{-9} to 1.7×10^{-10} A/cm² as the bias potential changes up to -80 V, respectively. The obtained results can be used to modify a duplex technology for material processing.

Keywords: radio-frequency (RF) ion-plasma nitriding, inductively coupled plasma, bias potential, microhardness, steel 40h13.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-2-16-23

REFERENCES

1. E. V. Berlin, N. N. Koval, and L. A. Seidman, *Plasmennaya himiko-termicheskaya obrabotka poverhnostei stalnix detalei* (Tehnosphera, Moscow, 2012) [in Russian].
2. K. R. M. Rao, K. Trinadh, and C. Nouvea, *Materials Today: Proceedings* **46**, 4431 (2021).
3. E. A. Meshcheryakova, A. V. Kaziev, M. S. Zibrov, T. V. Stepanova, M. M. Berdnikova, M. M. Kharkov, and A. A. Pisarev, *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* **80** (2), 175 (2016).
4. E. V. Berlin and V. J. Grigoryev, *Plasma generator*, US Patent 9,704,691 (2017).
5. K. Nakasa, S. Gao, A. Yamamoto, and T. Sumomogi, *Surface and Coatings Technology* **358**, 891 (2019).
6. S. Z. Bokshstein, *Diffusia i stryktura metallov* (Metallurgia, Moscow, 1973) [in Russian].
7. L. Wang, S. Ji, and J. Sun, *Surface and Coatings Technology* **200** (16–17), 5067 (2006).
8. A. Alsarar, M. Karakan, and A. Çelik, *Materials Characterization* **48** (4), 323 (2002).
9. C. M. Lepienski, F. C. Nascimento, C. E. Foerste, S. L. R. Da Silva, C. D. M. Siqueira, and Jr. C. Alves, *Materials Science and Engineering: A* **489** (1–2), 201 (2008).