

Структура и свойства аустенитной стали AISI 316L после безводородного азотирования

А. С. Гренадёр, В. О. Оскирко, А. Н. Захаров, И. М. Гончаренко,
С. В. Работкин, А. А. Соловьёв, В. А. Семёнов

Работа посвящена плазменному безводородному азотированию аустенитной стали марки AISI 316L (отечественный аналог 03X17H14M3). Продemonстрировано, что плазменное азотирование с активным экраном позволяет сформировать твердые диффузионные слои при температуре 570 °С. Без активного экрана формирование упрочненных слоев в безводородной среде происходило при температуре 600 °С и они обладали меньшей толщиной. Увеличение длительности процесса азотирования с активным экраном с 30 до 360 мин привело к увеличению толщины упрочненных слоев с 20 до 100 мкм и повышению содержания фазы расширенного аустенита (S-фаза). Увеличение длительности азотирования сопровождается снижением коррозионной стойкости обработанных образцов AISI 316L. При относительно небольшом времени азотирования удалось сформировать твердые слои толщиной до 20 мкм при сохранении высокой коррозионной стойкости образцов.

Ключевые слова: AISI 316L, безводородное азотирование, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-5-469-479

Гренадёр Александр Сергеевич, н.с., к.т.н.
E-mail: 1711Sasha@mail.ru
Оскирко Владимир Олегович, н.с., к.т.н.
Захаров Александр Николаевич, н.с., к.т.н.
Гончаренко Игорь Михайлович, с.н.с., к.т.н.
Работкин Сергей Викторович, н.с., к.т.н.
Соловьёв Андрей Александрович, зав. лаб., к.т.н.
Семенов Вячеслав Аркадьевич, инженер.
Институт сильноточной электроники СО РАН.
Россия, 634055, г. Томск, пр. Академический 2/3.

Статья поступила в редакцию 21 сентября 2022 г.

© Гренадёр А. С., Оскирко В. О., Захаров А. Н.,
Гончаренко И. М., Работкин С. В., Соловьёв А. А.,
Семенов В. А., 2022

ЛИТЕРАТУРА

1. Dong F. Y., Zhang P., Pang J. C., Chen D. M., Yang K., Zhang Z. F. // Materials Science and Engineering. A. 2013. Vol. 587. P. 185.
2. Lin L.-H., Chen S.-C., Wu C.-Z., Hung J.-M., Ou K.-L. // Applied Surface Science. 2011. Vol. 257. P. 7375.

3. Lo K. H., Shek C. H., Lai J. K. L. // Materials Science and Engineering. R. 2009. Vol. 6. P. 39.
4. Bell T. // Surface Engineering. 2002. Vol. 18. P. 415.
5. Corujeira Gallo S., Li X., Dong H. // Tribology letters. 2012. Vol. 45. P. 153.
6. Corujeira Gallo S., Dong H. // Applied Surface Science. 2011. Vol. 258. P. 608.
7. Devaraju A., Elaya Perumal A., Alphonsa J., Kailas S. V., Venugopal S. // J. Wear. 2012. Vol. 288. P. 17.
8. Martinavicius A., Abrasonis G., Scheinost A. C., Danoix R., Danoix F., Stinville J. C., Talut G., Templier C., Liedke O., Gemming S., Moeller W. // Acta Materialia. 2012. Vol. 60. P. 4065.
9. Dong H. // International Materials Reviews. 2010. Vol. 55. P. 65.
10. Menthe E., Rie K. T., Schultze J. W., Simson S. // Surface and Coatings Technology. 1995. Vol. 74. № 1. P. 412.
11. Lepienski C. M., Nascimento F. C., Foerster C. E., da Silva S. L. R., Siqueira M., Alves Jr. C. // Materials Science and Engineering. A. 2008. Vol. 489. P. 201.
12. Sun Y. // Materials Science and Engineering. A. 2005. Vol. 404. P. 124.
13. Gontijo L. C., Machado R., Miola E. J., Castelletti L. C., Alcantara N. G., Nascence P. A. P. // Materials Science and Engineering. 2006. Vol. 431. № 1–2. P. 315.
14. De Sousa R. R. M., de Araujo F. O., da

- Costa J. A. P., Dumelow T., de Oliveira R. S., Alves C. // Vacuum. 2009. Vol. 83. P. 1402.
15. Czerwiec T., Renevier N., Michel H. // Surface and Coatings Technology. 2000. Vol. 131. P. 267.
16. Li Y., Wang Z., Wang L. // Applied Surface Science. 2014. Vol. 298. P. 243.
17. Li C. X. // Surface Engineering: 2010. Vol. 26. № 1–2. P. 135.
18. Hubbard P., Dowey S. J., Doyle E. D., McCulloch D. G. // Surface Engineering. 2013. Vol. 22. № 4. P. 243.
19. Domínguez-Meister S., Ibáñez I., Dianova A., Brizuela M., Braceras I. // Surface and Coatings Technology. 2021. Vol. 411. P. 126998.
20. Li C. X., Bell T. // Wear. 2004. Vol. 256. № 11–12. P. 1144.
21. Fraczek T., Ogorek M., Skuza Z., Prusak R. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020. Vol. 109. P. 1357.
22. Kim S. G., Lee J. H., Saito N., Takai O. // Journal of Physics Conference Series. 2013. Vol. 417. P. 12.
23. Figueroa C. A., Alvarez F. // Applied Surface Science. 2006. Vol. 253. № 4. P. 1806.
24. Sokolowska A., Rudnicki J., Beerc P., Maldzinskie L., Tacikowski J., Baszkiewicz J. // Surface and Coatings Technology. 2001. Vol. 142–144. P. 1040.
25. Sharma M. K., Saikia B. K., Phukan A., Ganguli B. // Surface and Coatings Technology. 2006. Vol. 201. № 6. P. 2407.
26. De Sousa R. R. M., de Araujo F. O., Gontijo L. C., da Costa J. A. P., Alves C. // Vacuum. 2012. Vol. 86. P. 2048.
27. Oskirko V., Goncharenko I., Pavlov A., Zakharov A., Semenov V. // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1393. P. 012111.
28. Oskirko V., Goncharenko I., Pavlov A., Zakharov A., Rabotkin S., Grenadyorov A. // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE). 2020. P. 745–749.
29. Sun Y., Li X. Y., Bell T. // Journal of Materials Science volume. 1999. Vol. 34. P. 4793.
30. Li C. X., Bell T. // Corrosion Science Volume. 2004. Vol. 46. № 6. P. 1527.
31. Gil L., Brühl S., Jiménez L., Leon O., Guevara R., Staia M. H. // Surface and Coatings Technology. 2006. Vol. 20. P. 4424.
32. Wells A., Strydom I., Le R. // Surface Engineering. 1986. Vol. 2. № 4. P. 263.
33. Wells A., Strydom I. Le R. // Surface Engineering. 1988. Vol. 4. № 1. P. 55.
34. Bacci T., Borgioli F., Galvanetto E., Pradelli G. // Surface and Coatings Technology. 2001. Vol. 139. № 2–3. P. 251.
35. Abedi H. R., Salehi M., Yazdkhasti M., Hemmasian E. A. // Vacuum. 2010. Vol. 85. № 3. P. 443.
36. Yang W. J., Zhang M., Zhao Y. H., Shen M. L., Lei H., Xu L., Xiao J. Q., Gong J., Yu B. H., Sun C. // Surface and Coatings Technology. 2016. Vol. 298. P. 64.
37. Wang X., Liu Z., Chen Y., Sun J., He Q., Liu Q., Liu G., Xie K. // Surface & Coatings Technology. 2019. Vol. 361. P. 349.
38. Borgioli F., Fossati A., Galvanetto E., Bacci T. // Surface and Coatings Technology. 2005. Vol. 200. № 7. P. 2474.
39. Menthe E., Bulak A., Olfe J., Zimmermann A., Rie K.-T. // Surface and Coatings Technology. 2000. Vol. 133–134. P. 259.
40. Wang Z. W., Li Y., Zhang Z. H., Zhang S. Z., Ren P., Qiu J. X., Wang W. W., Bi Y. J., He Y. Y. // Results in Physics. 2021. Vol. 24. P. 104132.
41. Dalibón E. L., Moreira R. D., Heim D., Forsich C., Brühl S. P. // Diamond and Related Materials. 2020. Vol. 106. P. 107881.
42. Boromei I., Ceschini L., Marconi A., Martini C. // Wear. 2013. Vol. 302. № 1–2. P. 899.
43. Grenadyorov A. S., Solovyev A. A., Oskomov K. V. // Technical Physics Letters/ 2020. Vol. 46. P. 1060.
44. Damerchi E., Abdollah-zadeh A., Poursalehi R., Salari Mehr M. // Journal of Alloys and Compounds. 2019. Vol. 772. P. 612.

Structure and properties of AISI 316L austenitic steel after active screen plasma hydrogen free plasma nitriding

*A. S. Grenadyorov, V. O. Oskirko, A. N. Zakharov, I. M. Goncharenko,
S. V. Rabotkin, A. A. Solovyev, and V. A. Semenov*

Institute of High Current Electronics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
2/3 Akademicheskoy Avenue, Tomsk, 634055, Russia
E-mail: 1711Sasha@mail.ru

Received September 21, 2022

The work is devoted to hydrogen-free plasma nitriding of AISI 316L austenitic steel (domestic analogue 03X17H14M3). It has been demonstrated that plasma nitriding with an active screen makes it possible to form solid diffusion layers at a temperature of 570 °C. Whereas, without an active screen, the formation of hardened layers in a hydrogen-free medium occurred at a temperature of 600 °C and they had a shorter length. An increase in the duration of the nitriding process with an active screen from 30 to 360 min led to an increase in the thickness of the hardened layers from 20 to 100 μm and an increase in the content of the expanded austenite phase (S phase). An increase in the duration of nitriding is accompanied by a decrease in the corrosion resistance of the treated AISI 316L samples. With a relatively short nitriding time, it was possible to form hard layers up to 20 μm in length while maintaining the high corrosion resistance of the samples.

Keywords: AISI 316L, hydrogen-free nitriding, hardness, wear resistance, corrosion resistance.

DOI: 10.51368/2307-4469-2022-10-5-469-478

REFERENCES

1. F. Y. Dong., P. Zhang., J. C. Pang, D. M. Chen, K. Yang, and Z. F. Zhang, *Materials Science and Engineering A* **587**, 185 (2013).
2. L.-H. Lin, S.-C. Chen, C.-Z. Wu, J.-M. Hung, and K.-L. Ou, *Applied Surface Science* **257**, 7375 (2011).
3. K. H. Lo, C. H. Shek, and J. K. L. Lai, *Materials Science and Engineering R* **6**, 39 (2009).
4. T. Bell, *Surface Engineering* **18**, 415 (2002).
5. Gallo S. Corujeira, X. Li., and H. Dong, *Tribology letters* **45**, 153 (2012).
6. Gallo S. Corujeira and H. Dong, *Applied Surface Science* **258**, 608 (2011).
7. A. Devaraju, A. Elaya Perumal, J. Alphonsa, S. V. Kailas, and S. Venugopal, *J. Wear* **288**, 17 (2012).
8. A. Martinavicius, G. Abrasonis, A. C. Scheinost, R. Danoix, F. Danoix, J. C. Stinville, G. Talut, C. Templier, O. Liedke, S. Gemming, and W. Moeller, *Acta Materialia* **60**, 4065 (2012).
9. H. Dong, *International Materials Reviews* **55**, 65 (2010).
10. E. Menthe, K. T. Rie, J. W. Schultze, and S. Simson, *Surface and Coatings Technology* **74** (1), 412 (1995).
11. C. M. Lepienski, F. C. Nascimento, C. E. Foerster, S. L. R. da Silva, M. Siqueira, and Jr. C. Alves, *Materials Science and Engineering A* **489**, 201 (2008).
12. Y. Sun, *Materials Science and Engineering A* **404**, 124 (2005).
13. L. C. Gontijo, R. Machado, E. J. Miola, L. C. Castelletti, N. G. Alcantara, and P. A. P. Nascente, *Materials Science and Engineering* **431** (1-2), 315 (2006).
14. R. R. M. De Sousa, F. O. de Araujo, J. A. P. da Costa, T. Dumelow, R. S. de Oliveira, and C. Alves, *Vacuum* **83**, 1402 (2009).
15. T. Czerwicz, N. Renevier, and H. Michel, *Surface and Coatings Technology* **131**, 267 (2000).
16. Y. Li, Z. Wang, and L. Wang, *Applied Surface Science* **298**, 243 (2014).
17. C. X. Li, *Surface Engineering* **26** (1-2), 135 (2010).
18. P. Hubbard, S. J. Dowey, E. D. Doyle, and D. G. McCulloch, *Surface Engineering* **22** (4), 243 (2013).
19. S. Domínguez-Meister, I. Ibáñez, A. Dianova, M. Brizuela, and I. Bracerias, *Surface and Coatings Technology* **411**, 126998 (2021).
20. C. X. Li and T. Bell, *Wear* **256** (11-12), 1144 (2004).

21. T. Fraczek, M. Ogorek, Z. Skuza, and R. Prusak, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* **109**, 1357 (2020).
22. S. G. Kim, J. H. Lee, N. Saito, and O. Takai, *Journal of Physics Conference Series* **417**, 12 (2013).
23. C. A. Figueroa and F. Alvarez, *Applied Surface Science* **253** (4), 1806 (2006).
24. A. Sokolowska, J. Rudnickib, P. Beerc, L. Maldzinskie, J. Tacikowskid, and J. Baszkiewicz, *Surface and Coatings Technology* **142–144**, 1040 (2001).
25. M. K. Sharma, B. K. Saikia, A. Phukan, and B. Ganguli, *Surface and Coatings Technology* **201** (6), 2413 (2006).
26. R. R. M. de Sousa, F. O. de Araujo, L. C. Gontijo, J. A. P. da Costa, and C. Alves, *Vacuum* **86**, 2048 (2012).
27. V. Oskirko, I. Goncharenko, A. Pavlov, A. Zakharov, and V. Semenov, *Journal of Physics. Conference Series* **1393**, 012111 (2019).
28. V. Oskirko, I. Goncharenko, A. Pavlov, A. Zakharov, S. Rabotkin, and A. Grenadyorov, *7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE)*, 745 (2020).
29. Y. Sun, X. Y. Li, and T. Bel, *Journal of Materials Science* volume **34**, 4802 (1999).
30. C. X. Li and T. Bell, *Corrosion Science* Volume **46** (6), 1527 (2004).
31. L. Gil, S. Brühl, L. Jiménez, O. Leon, R. Guevara, and M. H. Staia, *Surface and Coatings Technology* **20**, 4424 (2006).
32. A. Wells, I. Strydom, and R. Le, *Surface Engineering* **2** (4), 263 (1986).
33. A. Wells, I. Strydom, and R. Le, *Surface Engineering* **4** (1), 55 (1988).
34. T. Bacci, F. Borgioli, E. Galvanetto, and G. Pradelli, *Surface and Coatings Technology* **139** (2–3), 251 (2001).
35. H. R. Abedi, M. Salehi, M. Yazdkhasti, and E. A. Hemmasian, *Vacuum* **85** (3), 443 (2010).
36. W. J. Yang, M. Zhang, Y. H. Zhao, M. L. Shen, H. Lei, L. Xu, J. Q. Xiao, J. Gong, B. H. Yu, and C. Sun, *Surface and Coatings Technology* **298**, 64 (2016).
37. X. Wang, Z. Liu, Y. Chen, J. Sun, Q. He, Q. Liu, G. Liu, and K. Xie, *Surface & Coatings Technology* **361**, 349 (2019).
38. F. Borgioli, A. Fossati, E. Galvanetto, and T. Bacci, *Surface and Coatings Technology* **200** (7), 2474 (2005).
39. E. Menthe, A. Bulak, J. Olfe, A. Zimmermann, and K.-T. Rie, *Surface and Coatings Technology* **133–134**, 259 (2000).
40. Z. W. Wang, Y. Li, Z. H. Zhang, S. Z. Zhang, P. Ren, J. X. Qiu, W. W. Wang, Y. J. Bi, and Y. Y. He, *Results in Physics* **24**, 104132 (2021).
41. E. L. Dalibón, R. D. Moreira, D. Heim, C. Forstich, and S. P. Brühl, *Diamond and Related Materials* **106**, 107881 (2020).
42. I. Boromei, L. Ceschini, A. Marconi, and C. Martini, *Wear* **302** (1–2), 899 (2013).
43. A. S. Grenadyorov, A. A. Solovyev, and K. V. Oskomov, *Technical Physics Letters* **46**, 1060 (2020).
44. E. Damerchi, A. Abdollah-zadeh, R. Poursalehi, and M. Salari Mehr, *Journal of Alloys and Compounds* **772**, 612 (2019).