

УДК 621.7.016.623

DOI: 10.12737/article_5a5a44e88cdc22.07121039

А.Г. Суслов, д.т.н.

(Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ),
115409, Москва, Каширское шоссе, 31)

М.Г. Шалыгин, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»,
241035г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: mootechmash@mail.ru; migshalygin@yandex.ru

Комплексное технологическое повышение износостойкости и статической прочности деталей из стали 40X13

На основе анализа показана возможность упрочнения стали 40X13 комплексной обработкой на глубину 4,2 мм. Приведены результаты испытаний на сопротивление разрушению и износ. Представлены результаты исследования твердости и микрогеометрии поверхностного слоя образцов. Комплексная обработка, состоящая из термической и механической обработок, высоковакуумного отжига и диффузионного силицирования может стать перспективным направлением повышения ресурса работы стальных деталей.

Ключевые слова: комбинированная обработка; термическая обработка; механическая обработка; высоковакуумный отжиг; диффузионное силицирование; водородное изнашивание; качество поверхности.

A.G. Suslov

(National Research Nuclear University (MEPhI), 115409, Moscow, Kashirskoye highway, 31)

M.G. Shalygin

(Bryansk state technical University, 241035, Bryansk, br 50th-anniversary of October 7)

The study of the properties of steel 40X13 complex obtained by heat treatment– high vacuum annealing - diffusion saturation with silicon

On based on the analysis of the possibility of hardening of steel 40x13 comprehensive treatment to a depth of 4.2 mm. the results of tests on the resistance to fracture and wear. Presents results of a study of hardness and micro geometry of the surface layer of samples. Comprehensive treatment, consisting of thermal and mechanical treatments, high-vacuum annealing and diffusion silicon may become a promising direction to increase the service life of steel parts.

Keywords: the combined processing; heat treatment; machining; high-vacuum annealing; diffusion siliconizing; hydrogen wear; surface quality.

Введение

В настоящее время для упрочнения поверхностных слоев деталей машин широко применяют различные комбинированные и комплексные методы обработки. Одним из эффективных методов воздействия на поверхностный слой является диффузионное силицирование. Диффузионный силицированный слой на углеродистой стали образуется в ре-

зультате взаимодействия паров четыреххлористого кремния с металлом при температурах 990...1100 °С [1].

Само по себе диффузионное силицирование применяется для повышения стойкости поверхности против коррозии в газовой среде и не приводит к улучшению износостойких свойств поверхности. По этой причине, для повышения износостойкости поверхностей трения технологическими способами требует-

ся комплексная обработка. Ответственные поверхности стальных деталей подвергают различным видам обработок, с целью придания им требуемых физико-механических свойств, при работе в водородсодержащих средах. Проблема водородного изнашивания поверхностей трения остро стоит в узлах, работающих в агрессивных, водородсодержащих средах, к которым относятся углеводороды.

В работах [2, 3] предложена комплексная функционально-ориентированная обработка поверхностей трения стальных деталей, увеличивающая износостойкость ответственных узлов трения, подверженных водородному изнашиванию, включающая: термообработку, с целью уменьшения размеров зерен; высоковакуумный отжиг, с целью снижения концентрации биографического водорода в образце; ионную имплантацию кремнием, с целью уменьшения диффузии водорода из смазывающего материала или водородсодержащей среды.

В работе [4] предложено, в качестве меры уменьшения износа деталей, работающих в водородсодержащих средах, диффузионное силицирование поверхностей трения. В работе [5] отмечено, что диффузионное силицирование из высокомолекулярных кремнийорганических соединений с применением лазерной обработки обеспечило формирование на поверхности стальных деталей пресс-форм равномерных бездефектных слоев, состоящих из высших силицидов железа и α -фазы с микротвердостью до 114 МПа.

В данной работе рассматривается комбинация методов термической обработки – высоковакуумного отжига – механической обработки – диффузионного силицирования, позволяющих управлять характеристиками качества поверхностного слоя и повысить водородную износостойкость. Проводятся исследования свойств и микрогеометрии поверхностного слоя, металлографической структуры и влияние на износостойкость образцов из стали 40X13, упрочненных комбинацией данных способов.

Методика обработки

Термическая обработка образцов проводилась в печи. Образцы подвергались закалке до температуры $955\text{ }^{\circ}\text{C}$, охлаждению в воде при температуре $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение одного часа. Высоковакуумный отжиг осуществлялся на установке, описанной в работе [6]. Перед помещением в камеру образцы промывались

бензином и четыреххлористым углеродом. После помещения образцов в камеру установки, камера герметизировалась и проводилась откачка воздуха из камеры до давления $1,8 \cdot 10^{-4}$ Па. При достижении вакуума в $1,8 \cdot 10^{-4}$ Па включалась электропечь, и камера разогревалась до температуры 523 K . О начале десорбции водорода из образцов судили по падению давления в камере. При достижении вакуума $1,8 \cdot 10^{-4}$ Па при температуре 523 K электропечь выключалась, и при достижении температуры в камере в 293 K в нее запускался воздух.

Финишная механическая обработка образцов осуществлялась на шлифовальном станке до шероховатости поверхности образцов $Ra = 0,2; 0,4; 1,6\text{ мкм}$. Диффузионное силицирование проводилось следующим образом. Камера разогревалась и в ней поддерживалась температура $230\text{ }^{\circ}\text{C}$, с целью недопущения фазовых превращений в стали. В камеру помещался образец, полностью покрытый порошкообразным карбидом кремния. Облучение образца и нахождение его в камере составляло 30 мин, после чего камера открывалась и образец остывал на воздухе.

Результаты и обсуждение

Образцы были испытаны на износ (рис. 1). В качестве контртела выступала термически обработанная сталь 40X13, с твердостью $45...47\text{ HRC}$ и шероховатостью, идентичной испытываемому образцу. Нагрузка в процессе испытаний поддерживалась равной $P = 50\text{ Н}$. Износ по массе измеряли каждые 1000 м пути трения. За данный путь трения образец совершал 12,7 цикла.

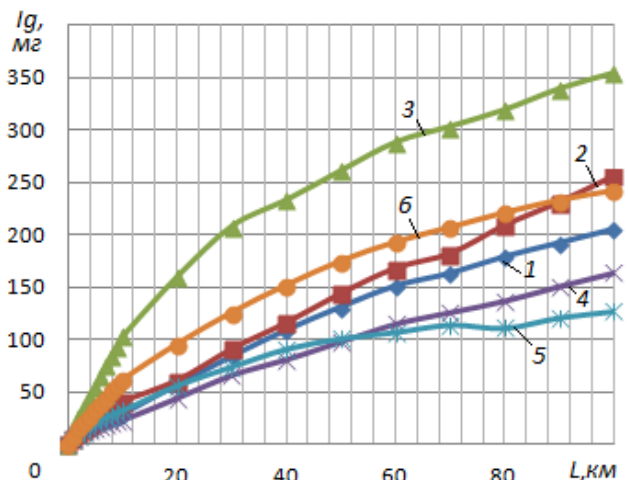


Рис. 1. Результаты испытаний на износ стали 40X13 после термической (1 – $Ra = 0,2\text{ мкм}$; 2 – $Ra = 0,4\text{ мкм}$; 3 – $Ra = 1,6\text{ мкм}$) и комплексной обработки (4 – $Ra = 0,2\text{ мкм}$; 5 – $Ra = 0,4\text{ мкм}$; 6 – $Ra = 1,6\text{ мкм}$)

Измерение шероховатости поверхности образцов после механической обработки и диффузионного силицирования показали, что уменьшение параметра шероховатости Ra незначительно, в пределах допустимой погрешности измерения ($< 1\%$). Параметр шероховатости S_m в среднем уменьшился в 2,5 раза, что позволяет утверждать о выглаживании неровностей поверхностного слоя.

Исследование торца поверхности после травления в азотной кислоте показало (рис. 2), что на торце решетчатая структура. Расположение решетчатой структуры относительно поверхности образца $40...60^\circ$. Наибольшая глубина образования структуры не превышает 4,2 мм. Чем глубже находилась решетчатая структура, тем ее грани были тоньше и в некоторых местах наблюдается разрыв.

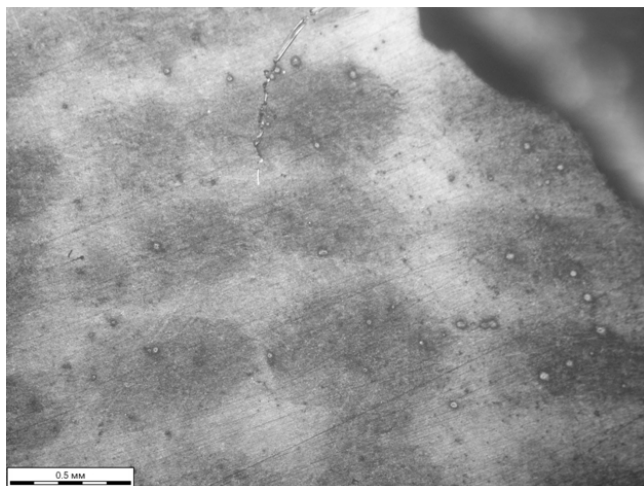


Рис. 2. Торцевая поверхность образца после травления

Твердость образцов снизилась после силицирования с 44,5 HRC после термообработки до 42 HRC. Испытания на растяжение показали, что предел текучести, по сравнению с термически обработанным образцом $\sigma_{0,2} = 770...790$ МПа, увеличился до $\sigma_{0,2} = 1300...1320$ МПа. Предел прочности увеличился с $\sigma_b = 990...1010$ МПа для термообработанных образцов до $\sigma_b = 1620...1640$ МПа для образцов после проведения комбинированной обработки.

Выводы

Выполненные исследования комплексной обработки, состоящей из термической и механической обработок, высоковакуумного отжига и диффузионного силицирования, показывают возможность формирования микрогеометрии поверхности и изменение физико-механических свойств, направленных на обес-

печение качества и износостойкости поверхностного слоя узлов трения, работающих в водородсодержащих средах.

Внедрение комплексной обработки позволяет в несколько раз уменьшить износ узлов трения машин и механизмов, работающих в условиях водородсодержащей среды и повысить статическую прочность деталей машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пассивность и коррозия металлов. Государственный институт прикладной химии / Сборник под ред. проф. А.М. Сухотина. – Л.: Химия, 1971. – 208с.
2. Суслов, А.Г., Шалыгин, М.Г. Научная технология повышения износостойкости поверхностей трения деталей машин, работающих в водородных средах // Научные технологии в машиностроении. – 2017. – № 2(68). – С. 19–24.
3. Шалыгин, М.Г. Формирование структуры в поверхностном слое деталей машин методами высоковакуумного отжига и ионной имплантации // Научные технологии в машиностроении. – 2016. – № 7(61). – С. 10–13.
4. Орлов, П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн.1. / под ред. П.Н. Учаева. – Изд. 3-е, испр. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
5. Шестопалов, В.Е., Квачев, В.П., Далисов, В.Б. и др. Повышение долговечности деталей пресс-форм силицированием из полимерсодержащих сред / В кн.: Получение и применение защитных покрытий. – Л.: Наука, 1987. – С. 194–197.
6. Шалыгин, М.Г. Научная технология уменьшения водородного изнашивания рабочих поверхностей трения // Научные технологии в машиностроении. – 2016. – № 10(64). – С. 3–6.

REFERENCES

1. Passivity and corrosion of metals [Passivnost' i korrozia metallov]. State Institute of applied chemistry. Under edition A.M. Sukhotina. Leningrad: Chemistry. 1971. – 208 p.
2. Suslov A.G., Shalygin M.G. Knowledge-based technology of increasing wear resistance of friction surfaces of machine components operating in hydrogen environments, *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii – Science intensive technologies in mechanical engineering*, 2017. no. 2. pp. 19-24.
3. Shalygin M.G. Structure formation in the surface layer of machine parts by methods of high-vacuum annealing and ion implantation, *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii – Science intensive technologies in mechanical engineering*. 2016. no. 7. pp. 10-13.
4. Orlov P.I. Basic construction [Osnovy konstruirovaniya]. Under edition P.N. Uchaeva. Moscow: Mashinostroenie. 1988. 560 p.
5. Shestopalov V.E., Kvachev V.P., Dalisov V.B. and others. Increase of durability of details of molds by saturation with silicon of the polymer-containing substances. In book Generation and application of protective coatings. Leningrad: Science. 1987. pp. 194-197.
6. Shalygin M.G. Knowledge-intensive technology reduction of hydrogen wear of working surfaces of friction, *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii – Science intensive technologies in mechanical engineering*. 2016. no. 10. pp. 3-6.

Рецензент д.т.н. С.В. Давыдов