

Игорь Витальевич Татаринцев^{1*}

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

*igor.tatarintsev@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ AISI 304 НАНОСТРУКТУРИРУЮЩИМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

Наноструктурирующее выглаживание скользящим инструментом развивается как метод интенсивной пластической деформации при механической обработке различных типов деталей. Данная работа посвящена изучению возможности повышения трибологических свойств поверхностей аустенитной стали AISI 304, сформированных наноструктурирующим выглаживанием инструментом со сферическим индентором из природного алмаза при скорости скольжения 40 м/мин за один, три и пять проходов. Трибологические исследования модифицированных поверхностей по схеме «шар-диск» в условиях сухого трения и смазки позволили установить оптимальное количество проходов индентора.

Ключевые слова: аустенитная сталь, наноструктурирующее выглаживание, коэффициент трения, смазка

Igor V. Tatarintsev

INCREASE OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF AISI 304 STEEL USING NANOSTRUCTURATING BURNISHING

Nanostructuring burnishing using a sliding indenter is being developed as a method of severe plastic deformation used in the mechanical machining of various types of parts. This study investigates the possibility of enhancing the tribological properties of surfaces of austenitic AISI 304 steel, which are formed through nanostructuring burnishing using a tool with a natural diamond spherical indenter with sliding speed of 40 m/min with one, three, and five passes. The tribological tests of modified surfaces with the “ball-on-disk” scheme with dry and lubricated friction established the optimal value of number of passes in nanostructuring burnishing.

Key words: austenitic steel, nanostructuring burnishing, friction coefficient, lubrication.

Стали аустенитного класса находят широкое применение в химической, нефтегазовой и пищевой промышленности благодаря высокой коррозионной стойкости и технологичности. Однако они имеют существенный недостаток, заключающийся в низких прочностных характеристиках, которые не могут быть улучшены посредством термической обработки. Данный факт является существенным ограничением применяемости данных сталей в ответственных

узлах машин, работающих в условиях повышенного фрикционного нагружения.

Одним из методов механического упрочнения поверхности стали AISI 304 является нанокристаллизация интенсивной пластической деформацией сжатия и простого сдвига. В исследовании Х.У. Wang и др. [1] для нанокристаллизации поверхностного слоя была предложена пескоструйная обработка в комбинации с отжигом при температуре 350 °С в течение 3 часов. После процесса наноструктурирования поверхность образца была обработана методом шлифовки до шероховатости $Ra=0,05$ мкм. Далее проведены трибологические испытания, в результате которых было установлено что коэффициент сухого трения составляет 0,72, а коэффициент трения в условиях смазки не превышает величины 0,11.

Наноструктурирующее выглаживание сферическим индентором обеспечивает одновременно формирование нанокристаллической структуры и сглаживание исходного микропрофиля поверхности до нанорельефа. Технологическое воздействие на поверхностный слой зависит от нормальной силы F_b , скорости скольжения v_s и подачи f_b индентора, а также от количества рабочих ходов n_p , коэффициента трения μ и радиуса R рабочей части инструмента. Каждый из перечисленных параметров оказывает существенное влияние на параметры интенсивной пластической деформации материала, нанокристаллизацию и свойства поверхностного слоя [2, 3].

В статье [4] представлены результаты экспериментальных исследований стали AISI 304 после чистового точения и наноструктурирующего выглаживания с одним и пятью проходами алмазного сферического индентора радиусом 2 мм. Показано, что алмазное выглаживание индентором, радиус рабочей части которого $R=2$ мм, с силой $F_b=200$ Н, скоростью скольжения индентора $v_s=50$ м/мин и подачей $f=0,01$ мм/об при количестве рабочих ходов $n_p=5$ обеспечивает повышение микротвердости с 225 HV_{0.05} до 400...450 HV_{0.05} за счет формирования субмикронной и нанокристаллической структуры. Среднее арифметическое отклонение профиля поверхности достигало значения $Ra=0,13$ мкм.

В работе [5] с помощью метода Тагучи определено, что при наноструктурирующем выглаживании стали AISI 304 оптимальным сочетанием технологических параметров по критерию максимальной микротвердости поверхностного слоя является $F_b=150$ Н, $f=0,025$ мм/об, $n_p=5$.

Целью данного исследования является установление влияния количества проходов алмазного сферического индентора инструмента при оптимальном режиме наноструктурирующего выглаживания стали AISI 304 на формирование трибологических свойств поверхности в условиях сухого трения и смазки.

В качестве заготовок для исследования были использованы диски толщиной 25 мм из горячекатанного прутка диаметром 100 мм стали AISI 304 промышленной выплавки. Химический состав стали AISI 304 (C 0.07%; Si 1.0%; Mn 2.0%; Ni 9.555%; S 0.2%; P 0.045%; Cr 17.824%). Заготовки были подвергнуты закалке с целью выравнивания структуры при температуре

нагрева 1050 °C в течение часа с последующим охлаждением на воду. Твердость после закалки составила 167 HB.

Предварительное чистовое точение выполнялось твердосплавной пластиной Intool WNMG080412 с радиусом при вершине 1,2 мм – глубина резания 0,1 мм; скорость 140 м/мин; подача 0,15 мм/об. Последующее наноструктурирующее выглаживание осуществлялось инструментом с индентором из природного алмаза радиусом $R=2$ мм в условиях охлаждающей жидкости Rhenus (Германия) при нормальной силе 175 Н и подаче 0,025 мм/об. Скорость скольжения инструмента задавалось равной 40 м/мин.

Исследование трибологических свойств наноструктурированного поверхностного слоя осуществлялась с применением трибометра CETR UMT-3MT (США). В качестве контртела использовался шар диаметром 6,3 мм из стали AISI 440C (C 0.95-1.2%; Si <1.0%; Mn <1.0%; Ni < 1.0%; Cr 16.0-18.0%; Mo <0.75%), имеющий твердость 62 HRC.

В центре заготовок было просверлено отверстие диаметром 6,5 мм для установки в трибологическую машину. На поверхности образца были выполнены 3 концентрических области шириной 10 мм, обработанные по технологии наноструктурирующего выглаживания с одним, тремя и пятью проходами. В качестве контртела при осуществлении трибологических испытаний был использован шар диаметром 6,3 мм, выполненный из стали AISI 440-C с твердостью RC 62. В процессе экспериментальных исследований контртело со скоростью 2 мм/с перемещалось по концентрическим областям в течение 1800 секунд (30 минут) при нормальной нагрузке 2 Н. В условиях смазки образец был погружен в ванну с трансмиссионным маслом SINTEC TM4 SAE 75W-90 при температуре 25 °C.

Результаты исследований коэффициента трения (COF) представлены на рисунке 1. В условиях сухого трения после завершения процесса приработки на дистанции 500 мм минимальный коэффициент трения был продемонстрирован поверхностью, полученной при одном проходе инструмента (рис. а). При трении в условиях смазки (рис. б) минимальные значения коэффициента трения после процесса притирки были получены на поверхностях, обработанных за три и пять проходов индентора.



Рис. Результаты исследований коэффициента трения (COF) по схеме шар-по-диск
поверхности стали AISI 304 после наноструктурирующего выглаживания:
а – коэффициент сухого трения; б – коэффициент трения в условиях смазки

Достигнутые величины коэффициентов трения поверхностей стали AISI 304 после наноструктурирующего выглаживания при трибоиспытаниях «шар по диску» при сухом трении составляют после прохождения дистанции 2 м по поверхности после одного и трех проходов 0,22 и пяти проходов инструмента 0,3. При дальнейшем увеличении дистанции возникает нестабильность процесса трения и при пробеге 3,5 м коэффициент трения возрастает до 0,27...0,35. В условиях смазки после 2 м дистанции коэффициент трения поверхности, обработанной за 3 и 5 проходов инструмента, равен 0,15 и практически сохраняется до пробега 3,5 м

Работа выполнена в молодежной лаборатории модификации поверхностей материалов ФГАОУ ВО «Уральский Федеральный Университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» в рамках

соглашения с Министерством науки и высшего образования № 075-03-2024-009/4 от 11.04.2024 (номер темы FEUZ-2024-0020).

REFERENCES

1. Wang X. Y. Mechanical, Electrochemical and Tribological Properties of Nano-Crystalline Surface of 304 Stainless Steel / X. Y. Wang, D. Y. Li // *Wear*. 2003. V. 255. № 7–12. P. 836–845. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00055-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00055-3).
2. Kuznetsov V. P. Nanostructuring burnishing and subsurface shear instability / V. P. Kuznetsov, S. Yu. Tarasov, A. I. Dmitriev // *Journal of Materials Processing Technology*. 2015. V. 217. P. 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.11.023>.
3. Kuznetsov V. P. Toward control of subsurface strain accumulation in nanostructuring burnishing / V. P. Kuznetsov [et al.] // *Surface and Coatings Technology*. 2016. V. 285. P. 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.11.045>.
4. Kuznetsov V. P. Increase of Wear and Heat Resistance of the AISI 304 Steel Surface Layer by Multi-Pass Nanostructuring Burnishing» / V. P. Kuznetsov, A. V. Kosareva // *Journal of Materials and Engineering*. 2023. V. 1. № 2(01). P. 55–61. <https://doi.org/10.61552/JME.2023.02.001>.
5. Kuznetsov V. P. Surface hardening of medical parts made of AISI 304 austenitic stainless steel by nanostructuring burnishing / V. P. Kuznetsov [et al.] // *AIP Conference Proceedings*. 2023. V. 2899. № 1. P. 020085. <https://doi.org/10.1063/5.0162889>.