

© А.В. Макаров, В.В. Березовская, А.Л. Осинцева,
Р.А. Саврай, Ю.А. Соколовская, 2012 г.
Институт машиноведения УрО РАН,
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
г. Екатеринбург
labkm@imach.uran.ru

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ, ОДНОВРЕМЕННО ЛЕГИРОВАННОЙ УГЛЕРОДОМ (0,31 %С) И АЗОТОМ (0,37 %N)

Повышение эксплуатационной надежности высоконагруженных изделий современной техники, работающих в сложных условиях, в которых проявляются эффекты коррозионного растрескивания под напряжением или износа, во многом зависит от использования современных высокопрочных материалов, к которым относятся разрабатываемые в настоящее время коррозионностойкие стали, легированных азотом. По данным В.Г. Гаврилюка и Х. Бернса, уровень существующей прочности и коррозионной стойкости легированных азотом новых Cr-, Cr-Mn- и Cr-Mn-Ni-сталей может быть повышен за счет одновременного легирования углеродом и азотом (C+N), которое оказывает стабилизирующее действие на аустенит по сравнению с легированием отдельно углеродом или азотом. При введении в сталь 18 % Cr и 18 % Mn одновременно с 0,34 %C – 0,61 %N или 0,49 %C – 0,58 %N были получены более высокие характеристики прочности и пластичности при одинаковом сопротивлении ударному износу по сравнению со сталью Гадфильда [1]. Причем не только (C+N)-аустенит, но и (C+N)-мартенсит показывает повышенную термодинамическую стабильность, что связано с особенностями электронной структуры и ближнего атомного порядка [2]. При введении в высокоуглеродистую (0,9 мас.%C) инструментальную сталь дополнительно 0,4–0,9 мас.% азота может быть сформирована двухфазная мартенситно-аустенитная структура (свободная от выделений карбидов и нитридов), которая, обладая комплексом высокой прочности и пластичности, превосходит по сопротивлению абразивному воздействию углеродистый мартенсит указанной стали, упрочненный карбидными выделениями [3]. Поэтому несомненный интерес представляет изучение особенностей совместного влияния обоих элементов внедрения (C+N) на трибологические свойства нержавеющей сталей.

Исследовали сталь 30X15AM промышленной плавки, химический состав которой приведен в табл. 1. Сталь была подвергнута горячей ковке и последующим упрочняющим термическим обработкам по четырем технологическим схемам (ГК – горячая ковка; З – закалка; О – отпуск; ОХ – обработка холодом; СО – смягчающий отжиг; НО – низкотемпературный отпуск):

Режим I) ГК + З (1050 °С, 1 ч, вода) + О (475 °С, 2 ч, воздух) × 2 раза + ОХ (–196 °С; 0,5 ч) + НО (190 °С; 0,5 ч, воздух) × 2 раза;

Режим II) ГК + СО (800 °С, 7 ч, печь) + З (1020 °С, 1 ч, масло) + О (475 °С, 2 ч, воздух) × 2 раза;

Режим III) ГК + З (1050 °С, 1 ч, вода) + ОХ (–196 °С; 0,5 ч,) + НО (190 °С; 0,5 ч, воздух) × 2 раза;

Режим IV) ГК + СО (800 °С, 7 ч, печь) + З (1020 °С, 1 ч, масло) + ОХ (–196 °С; 0,5 ч) + НО (190 °С; 0,5 ч) × 2 раза.

Таблица 1

Химический состав стали 30X15AM, мас. %

С	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	N	V	Ti	Cu
0,31	0,57	0,44	0,014	0,002	15,35	0,96	0,18	0,008	0,37	0,04	0,003	0,07

Микротвердость определяли на микротвердомере Leica VMHT при нагрузке на индентор 0,25 Н. Перед измерением методом электролитического полирования с поверхности удаляли слой толщиной 20 мкм. Рентгенографическое исследование выполняли на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 в CrK_α -излучении. Определяли фазовый состав и изменение интегральной ширины В линий (110) α и (111) γ .

Испытания на абразивную износостойкость проводились при скольжении образцов по закрепленному абразиву – шлифовальной шкурке марки 14A16 (электрокорунд зернистостью 160 мкм) со средней скоростью 0,175 м/с, при нагрузке 60 Н, пути трения 18 м. Абразивную износостойкость (ϵ) определяли как отношение потери массы образца армко-железа (эталон) к потере массы испытуемого образца. Испытание на трение скольжения проводились по схеме палец-пластина (сталь 45 твердостью 50HRC) при нормальной нагрузке 294 Н, пути трения 160 м. Интенсивность изнашивания определяли по формуле $I_h = \Delta M / \rho LS$, где ΔM – потери массы образца, ρ – плотность материала, L – путь трения, S – геометрическая площадь контакта ($S = 0,6 \text{ см}^2$).

В результате проведенных обработок в стали 30X15AM были сформированы структурные состояния с различным содержанием остаточного аустенита (табл. 2). При трибологических испытаниях наибольшее изменение фазового состава происходит в стали, обработанной по режиму I, как при испытании по закрепленному абразиву,

так и при трении скольжения по стальной пластине. Наблюдаемый в результате фрикционного нагружения рост ширины рентгеновских линий γ - и α -фаз (обработка по режиму I) отражает увеличение плотности дислокаций и микронапряжений. При меньшем объеме $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения (обработка по режиму III), при отсутствии исходном состоянии γ -фазы и при малом ее количестве (режимы II и IV) наблюдается уменьшение ширины линии α -фазы (табл. 2), связанное с развитием в мартенсите процессов деформационного динамического старения.

Таблица 2

Влияние режимов термической обработки на содержание остаточного аустенита γ и ширину рентгеновских линий В стали 30X15AM в исходном электрополированном состоянии (ЭП) и после испытаний на абразивное изнашивание (А) и трение скольжения (Т)

Режим ТО	γ , об. %			В(111) γ , мин			В(110) α , мин		
	ЭП	А	Т	ЭП	А	Т	ЭП	А	Т
I	53	23	19	28	35	37	52	64	70
II	6	3	0	46	51	—	58	51	57
III	35	25	22	34	48	51	67	59	54
IV	0	0	0	—	—	—	65	49	50

Результаты измерений микротвердости показывают (табл. 3), что наибольший вклад в упрочнение при абразивном воздействии вносят фазовые превращения: максимальные уровни эффективной прочности (и величины деформационного упрочнения) зафиксированы на поверхностях абразивного изнашивания после обработок по режимам I и III, когда содержание аустенита уменьшается на 30 и 10 % соответственно.

Таблица 3

Влияние структурного состояния стали 30X15AM на микротвердость HV_{0,025} в исходном электрополированном состоянии (HV_{ЭП}) и после испытаний на абразивное изнашивание (HV_А), относительную абразивную износостойкость ϵ и коэффициент трения f

Режим ТО	Микротвердость HV _{0,025}			ϵ	f
	HV _{ЭП}	HV _А	HV _А –HV _{ЭП}		
I	661	914	253	2,6	0,45
II	703	859	156	1,4	0,62
III	723	935	212	1,9	0,46
IV	659	841	182	1,4	0,64

Данные табл. 3 показывают также, что наибольшим сопротивлением абразивному изнашиванию сталь 30X15AM обладает после термической обработки по режимам I и III. В указанных случаях в исходной структуре присутствует значительное (35–53 об.%) количество аустенита (см. табл. 2), который под воздействием трения претерпевает деформационное $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение, что обеспечивает максимальные уровни микротвердости (914–935HV) на поверхностях абразивного изнашивания (см. табл. 3). При этом большему объему мартенситного превращения после обработки по режиму I соответствует более высокая износостойкость ($\varepsilon = 2,6$). При скольжении по корунду для рассматриваемых наиболее износостойких структурных состояний с наличием аустенита (режимы обработки I и III) установлены более низкие коэффициенты трения ($f = 0,45–0,46$), чем для стали с мартенситной структурой металлической матрицы ($f = 0,62–0,64$).

При испытаниях на трение скольжения (табл. 4) сталь с мартенситной структурой (обработка по режимам II и IV) заметно уступает в износостойкости (характеризуется повышенной интенсивностью адгезионного изнашивания) в сравнении со сталью, содержащей 35–53 об.% аустенита (обработка по режимам I и III). Для стали, обработанной по режиму III, наблюдается корреляция между минимальной интенсивностью изнашивания и максимальной эффективной прочностью (микротвердостью) поверхности трения (табл. 4).

Таблица 4

Влияние структурного состояния стали 30X15AM на интенсивность изнашивания I_h и коэффициент трения f при сухом трении скольжения по стальной пластине

Режим ТО	Микротвердость HV _{0,025}			$I_h, 10^{-8}$	f
	HV _{ЭП}	HV _Т	HV _Т –HV _{ЭП}		
I	661	950	289	2,7	0,76
II	703	986	283	11,7	0,77
III	723	1125	402	2,0	0,65
IV	659	1058	399	5,5	0,73

Таким образом, высокохромистая сталь 30X15AM, легированная 0,31 мас.% углерода и 0,37 мас.% азота, при наличии в структуре 35–53 об.% метастабильного аустенита обладает значительно большим сопротивлением абразивному и адгезионному видам изнашивания, чем в случае мартенситной структуры металлической матрицы.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 11-03-00065-а и № 10-08-96057-р_урал-а.

Список использованных источников

1. Gavriljuk V.G. et al. Mat. Sci. Eng. 2006. A420. P. 47–54.
2. Gavriljuk V. et al. Mat. Sci. Forum. 2003. V. 426–432, 943–950.
3. Rawers J.C. Wear. 2005. V. 258. P. 32–39.