УДК 669.017.3

М. А. Филиппов[1], А. В. Макаров[2], С. М. Никифорова[1*], А. С. Жилин[1], М. С. Хадыев[1], Н. Н. Озерец[1], А. Л. Осинцева[2]
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург
[2]Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург
[*]*s.m.nikiforova@urfu.ru*

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ Х12МФЛ И 95Х18 ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Проанализировано влияние температуры нагрева под закалку сталей Х12МФЛ и 95Х18 на формирование структуры и их износостойкость. Анализ показал, что остаточный аустенит, полученный в результате высокотемпературной закалки, метастабилен и в процессе изнашивания превращается в дисперсный высокоуглеродистый мартенсит деформации с высоким уровнем фрикционного упрочнения, что обеспечивает максимальную износостойкость.

Ключевые слова: износостойкость, метастабильный аустенит, мартенсит деформации, термическая обработка, упрочнение.

M. A. Filippov, A. V. Makarov, S. M. Nikiforova, A. S. Zhilin, M. S. Khadyev, N. N. Ozeretc, A. L. Osintseva

FORMATION OF WEAR-RESISTANT STRUCTURE OF STEEL CR12MOV AND 95CR18 DURING HEAT TREATMENT

The effect of heating temperature for quenching steels Cr12MoV and 95Cr18 on the formation of structures and their wear resistance had analyzed. Analysis showed that the residual austenite obtained by high-temperature quenching is metastable and during wear converted to dispersed high-carbon deformation martensite, which has high level friction hardening.

Keywords: wear resistance, metastable austenite, deformation martensite, heat treatment, hardening.

Материалы, стойкие в различных условиях механического изнашивания, должны обладать структурой, в максимальной степени отвечающей принципам синергетического подхода к неравновесным системам. В качестве наиболее эффективных рассматриваются материалы, соответствующие принципу метастабильности аустенита: стали, чугуны, в которых сформирована структура метастабильного аустенита или аустенит определенного химического состава присутствует наряду с мартенситом, карбидами и др. фазами и структурными составляющими.

© Филиппов М. А., Макаров А. В., Никифорова С. М., Жилин А. С., Хадыев М. С., Озерец Н. Н., Осинцева А. Л., 2016

Самоорганизация структуры, обусловленная релаксационными процессами при образовании мартенсита, и формирование сжимающих напряжений с высоким уровнем деформационного упрочнения поверхностного слоя обеспечивают высокую стойкость при контактном воздействии на поверхность [1–4].

К деталям, испытывающим в эксплуатации циклические нагрузки при повышенном переменном давлении в сочетании с интенсивным абразивным воздействием промывочной жидкости, содержащей твердые частицы, относятся, например, цилиндровые втулки буровых насосов. Срок службы втулок не превышает 100–200 ч вследствие гидроабразивного изнашивания и появления недопустимо больших зазоров в узле трения «втулка – поршень». В связи с этим представляет практический интерес разработка технологии производства цилиндровых втулок буровых насосов и аналогичных по условиям работы деталей из износостойких высокохромистых сталей, испытывающих в работе не только абразивное, но и коррозионное воздействие изнашивающей среды.

Цель работы состояла в исследовании влияния температуры нагрева под закалку сталей Х12МФЛ и 95Х18 на их износостойкость и выбор оптимального режима термической обработки для получения максимальной износостойкости в сочетании с повышенной коррозионной стойкостью.

Абразивная износостойкость определялась по результатам двух параллельных испытаний образцов с размером рабочей части 10×10 мм по электрокорундовой наждачной бумаге, сравнение результатов производили через относительные единицы:

$$\varepsilon = \Delta М_э / \Delta М_о,$$

где ε – относительная износостойкость; ΔМэ – потеря массы образца-эталона – валковой стали 9Х5МФС после закалки от 900 °С и низкого отпуска (0,41 г); ΔМо – потеря массы испытуемого образца, которая составляла менее 1 % на пути трения 30 м [2].

Исходная структура образцов стали Х12МФЛ состоит из карбидно-аустенитной эвтектики по границам первичных кристаллов аустенита и избыточных карбидов [3]. В стали 95Х18 содержится мартенсит и избыточные карбиды, часть которых ориентирована в направлении прокатки. При закалке от 900–1000 °С в структуре сталей мартенсит и избыточные карбиды обеспечивают высокую твердость (61–64 *HRC*), однако при этом не достигается максимальная износостойкость в условиях абразивного изнашивания.

Повышение температуры нагрева под закалку сталей 95Х18 и Х12МФЛ до 1100–1170 °С существенно влияет на структуру обеих сталей, вызывает прогрессирующее снижение исходной твердости (до 44 и 49 *HRC* соответственно) в связи с растворением части карбидов и увеличением количества остаточного аустенита (до 95 и 60 % соответственно). Это

сопровождается ростом износостойкости обеих сталей при абразивном изнашивании, особенно большим для стали 95Х18. Такой эффект обусловлен образованием значительного количества мартенсита деформации при изнашивании (рис. 1).

Остаточный аустенит, получаемый в результате высокотемпературной закалки в сталях 95Х18 и Х12М (1100–1170 °С), метастабилен и превращается в высокоуглеродистый мартенсит деформации в процессе изнашивания, что придает сталям максимальную износостойкость вследствие обеспечения высокой способности к фрикционному упрочнению рабочей поверхности. Микротвердость рабочей поверхности сталей после изнашивания достигает 11–11,5 ГПа.

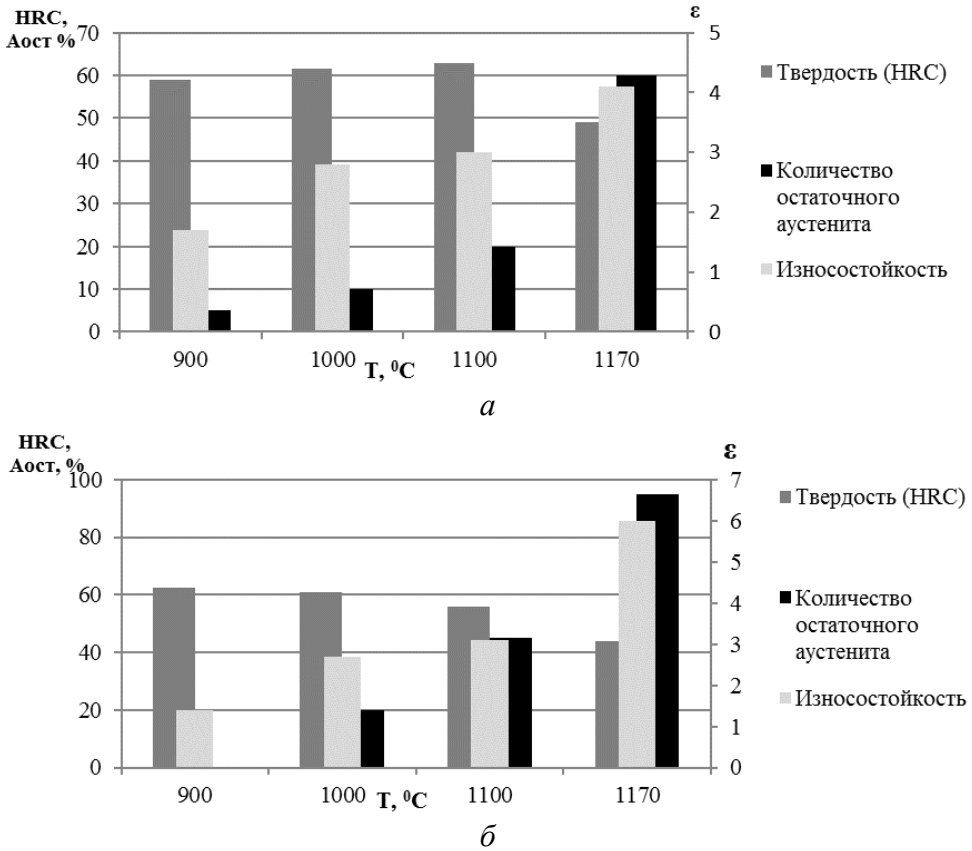

Рис. 1. Зависимость количества остаточного аустенита Аост, твердости *HRC* и относительной абразивной износостойкости ε сталей Х12М (*а*) и 95Х18 (*б*)

Электронно-микроскопическое исследование тонких фольг стали Х12М после закалки от 1170 °С, полученных с рабочей поверхности односторонней электрополировкой после изнашивания, показало наличие остаточного аустенита, пластин мартенсита и карбидов типа Cr_7C_3. Дисперсные кристаллы мартенсита деформации с длиной, соответствующей ширине микроцарапин, оставленных после прохода

абразивных частиц, образуются параллельными периодическими рядами. Ширина кристаллов мартенсита деформации, образующихся под углами, определенными кристаллографическими решетками аустенита по отношению к направлению движения частиц, относится к ультрадисперсным и наноразмерным величинам и составляет в локальных участках поверхности примерно 50–70 нм. По-видимому, подобный волновой характер расположения кристаллов мартенсита деформации в виде параллельных рядов обусловлен формированием чередующихся пиков сжимающих напряжений на фронте движущихся абразивных частиц и растягивающих напряжений после прохождения частицы в данном микрообъеме металла. Кристаллы мартенсита, с большим удельным объемом по сравнению с аустенитом, образуются в тех участках аустенита, где пиковые напряжения растяжения превышают критическую величину сдвига при мартенситном превращении. Образование мартенсита деформации сопровождается микротрип-эффектом, способствующим релаксации микронапряжений в момент сдвига, и сильным упрочнением поверхности в результате образования нанокристаллических кристаллов мартенсита трения, поэтому накопление растягивающих напряжений до пикового значения имеет периодический волновой характер.

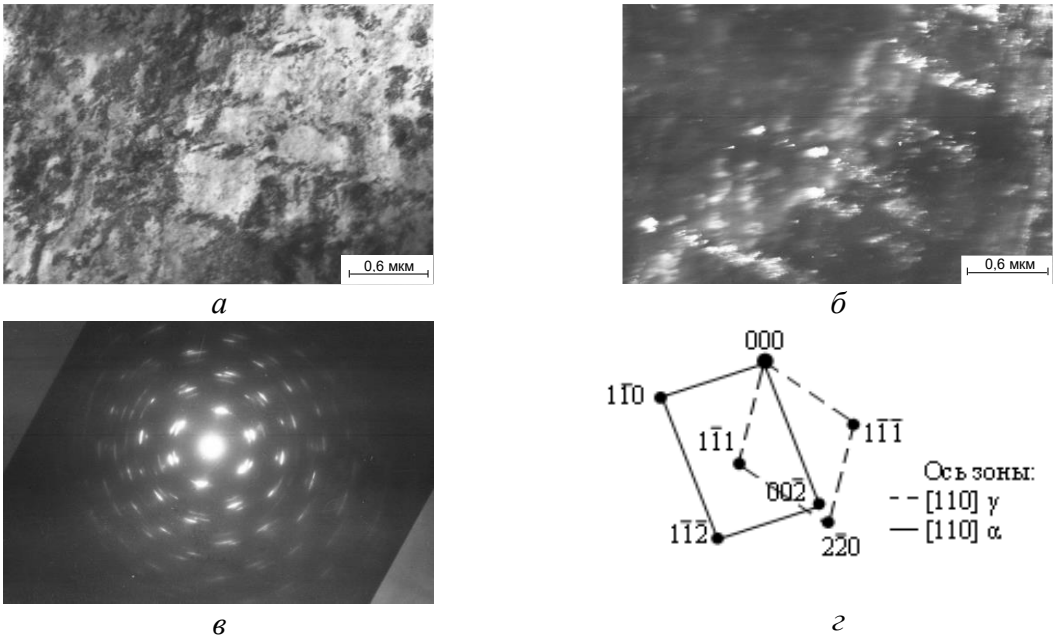

Рис. 2. Структура поверхности стали Х12МФЛ после закалки от 1170 ºС и испытания на абразивное изнашивание: *а, б* – светлопольное и темнопольное изображения в рефлексе α-фазы соответственно; *в* – микродифракция; *г* – схема индицирования

По работе можно сделать следующие выводы:

- Повышение температуры закалки сталей 95Х18 и Х12МФЛ с 900 до 1170 ºС вызывает увеличение количества остаточного аустенита до 95 и 60 % соответственно.

- Остаточный аустенит, получаемый в результате высокотемпературной закалки в сталях 95Х18 и Х12МФЛ, метастабилен и превращается в дисперсный мартенсит деформации (55 % в первой стали и 30 % во второй стали) в процессе изнашивания, что придает сталям, несмотря на пониженную перед испытанием на изнашивание исходную твердость, максимальную износостойкость вследствие обеспечения высокой способности к фрикционному упрочнению рабочей поверхности.
- Процесс абразивного изнашивания сопровождается формированием нанокристаллической мартенситно-аустенитной структуры с закономерным периодическим расположением кристаллов высокоуглеродистого мартенсита деформации с высоким уровнем фрикционного упрочнения, достигающим 11–11,5 ГПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Счастливцев В. М., Филиппов М. А. Роль принципа метастабильности аустенита Богачева–Минца при выборе износостойких материалов // МиТОМ. 2010. № 1 С. 6–9.
2. Влияние температуры закалки на фазовый состав, структуру и износостойкость стали 150ХНМ / М. А. Филиппов [и др.] // Известия вузов. Черная металлургия. 2013. № 11. С. 14–16.
3. Формирование структуры и износостойких сталей 150ХНМЛ и Х12МФЛ при закалке / М. А. Филиппов [и др.] // МиТОМ. 2015. № 11. С. 5–9.
4. Иванова В. С. Синергетика в металловедении // МиТОМ. 2005. № 2. С. 12–19.