



The article offers ecologically harmless heat treatment method for pieces made of black metals. It can override import methods. The water polymer solutions are used like cooling fluid. The traditional heat treatment methods (like cooling in water or oil) and new method are compared in the article. The criterions of cooling can be established by changing solution concentration for different steels. Using the method of electronic scanning microscopy we have studied structure and microcomposition of films formed on a heat treated surface.

А. И. ГАРОСТ, БГТУ

УДК 640.191(08)

ЭКОНОМИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Введение

Для современного машиностроения и других отраслей металлообрабатывающей промышленности характерны высокие требования к свойствам материалов, обусловленные возрастающей интенсивностью нагружения машин при одновременной тенденции к уменьшению массы. Во многих случаях характеристики массы приобретают решающее значение.

Этим высоким требованиям лишь в редких случаях могут отвечать неупрочненные материалы. Основная часть ответственных конструктивных элементов нуждается в упрочнении, поэтому процессы упрочняющей обработки принадлежат к числу важнейших разделов технологии изготовления машин.

Главная цель термической обработки изделий (заготовок, деталей, узлов) состоит в получении необходимых свойств материала. При этом геометрические параметры изделий (форма, размеры, состояние поверхности) должны по возможности сохраняться неизменными, не говоря уже о сохранении сплошности материала.

При разработке технологических процессов термической обработки часто характерной является многовариантность возможных решений, каждое из которых предположительно удовлетворяет техническим требованиям к изделию. Сопоставление вариантов [1] по критериям ожидаемого качества изделий, производительности и рентабельности, выбор и стандартизация решения, лучшего для конкретных производственных условий, – необходимый этап обеспечения высокой эффективности производства.

Разработка ресурсосберегающей экологически безопасной технологии термической обработки стальных изделий

Условия охлаждения при термической обработке в значительной степени определяют величину

остаточных закалочных напряжений [2]. В соответствии с техническими условиями детали из углеродистых сталей должны закаливаться в воде. В ряде случаев это приводит к неравномерному распределению твердости по поверхности (например, твердость толстостенных цилиндрических втулок из стали 45 колеблется в пределах 28–57 HRC) и нарушению сплошности детали из-за закалочных напряжений.

В отожженном состоянии структура стали 45 феррито-перлитная (рис. 1, а), что подтверждают исследования методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе ISM-5610LV с использованием электронно-зондового EDX анализа на детекторе IED 2201 (рис. 1, б).

Для моделирования и оценки условий охлаждения на геометрические параметры, макро- и микроструктуру и механические характеристики стали 45 вырезали кольцевые сегменты (рис. 2), которые подвергали закалке как в широко применяемых (вода, масло), так и в разработанных авторами средах. После закалки в воду обнаружена овальность сегментов (2), значение которой достигает 1,5 мм. Структура (см. рис. 1, в, г, д) такой стали мартенситная (HRC 56). Исследования указывают на необходимость поиска охлаждающих сред, которые обеспечивали бы получение мартенситной структуры при более мягких условиях охлаждения.

Большинство используемых в настоящее время закалочных жидкостей имеют масляную основу. Их утилизация связана со значительными экологическими проблемами и неудовлетворительными санитарно-гигиеническими условиями применения.

Использование при закалке масляных закалочных сред приводит к образованию в атмосфере цеха дыма, копоти, продуктов окисления и термического разложения углеводородов. Процессы би-

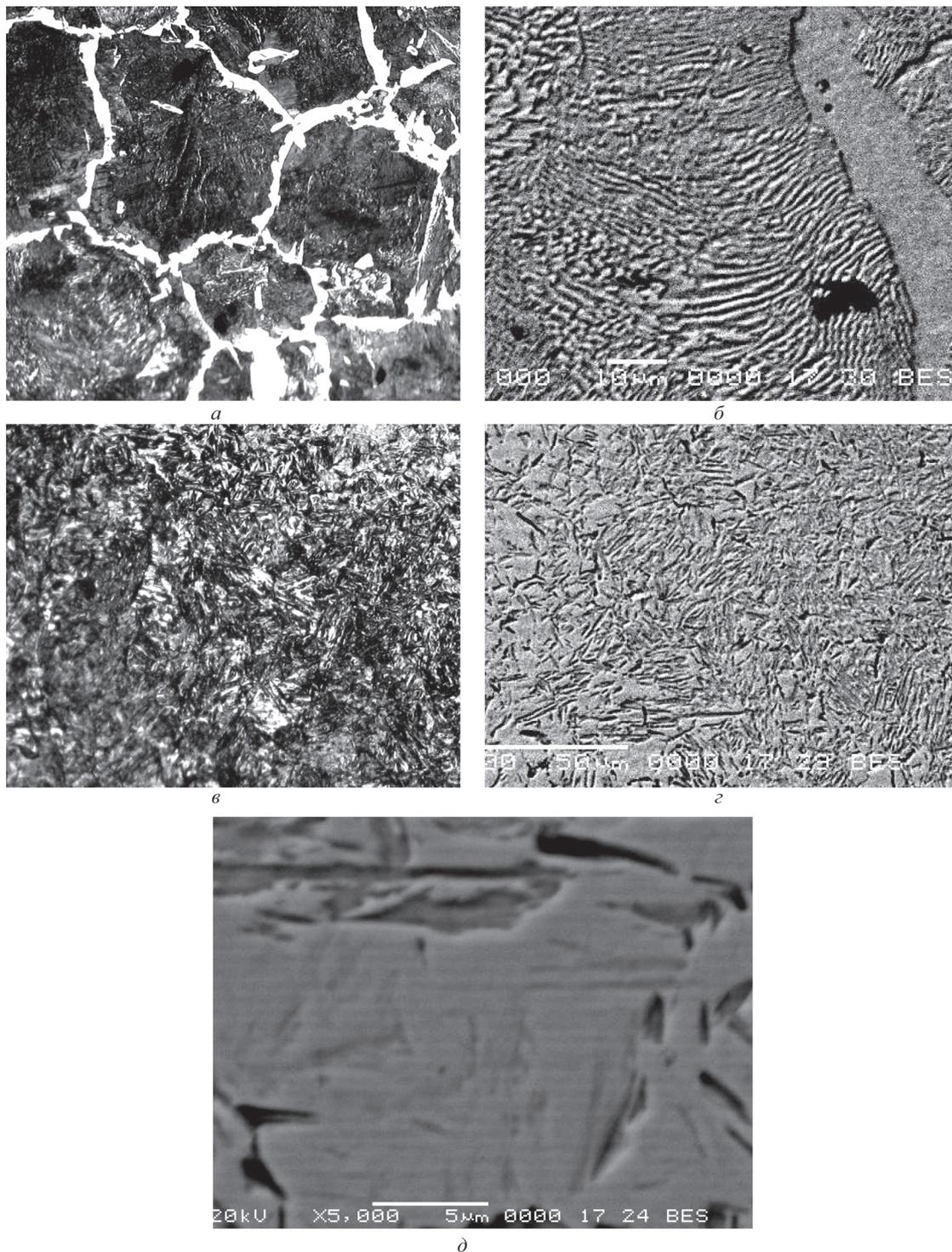


Рис. 1. Микроструктура стали 45: *а, б* – отожженное состояние; *в, г, д* – закаленное состояние (закалка в воду); *а, в* – металлографические исследования; *б, г, д* – исследования методом сканирующей электронной микроскопии. *а, в* – $\times 200$; *б* – $\times 1000$; *г* – $\times 500$; *д* – $\times 5000$

тумизации и окисления масел при воздействии на них горячего металла вызывают загрязнение закалочной ванны, потерю ее охлаждающей способности и образование пригара на поверхности закаливаемых деталей. Очистка закалочных ванн от возникших отходов приводит к загрязнению окружающей среды. Кроме того, наблюдается постоянное удорожание нефтяных масел.

В последние годы все большее применение находят синтетические закалочные среды на водной основе. Использование специальных присадок (полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт, метилцеллюлоза, эфир, глицерин и др.) позволяет изменять охлаждающие свойства воды в широком диапазоне.

При охлаждении стали 45 от закалочных температур в масло получаем структуру (рис. 3, *а*)

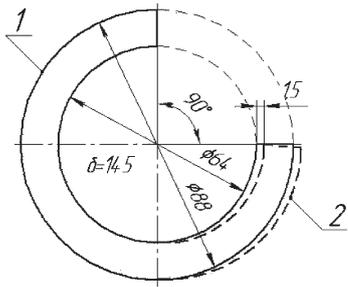


Рис. 2. Влияние различных способов охлаждения при закалке стали 45 на геометрические параметры изделий: 1 – охлаждение в 0,8%-ном растворе полимера; 2 – охлаждение в воде

перлитного типа (сорбит, троостит) с включениями феррита (HRC 22), причем электронно-микроскопические исследования указывают (рис. 3, б, в) на присутствие перлита предпочтительно зернистого строения.

Для оптимизации условий закалки деталей из стали 45 по новой технологии [3] готовили рабочий раствор путем растворения полимера, находящегося в виде эмульсола, в жесткой водопроводной воде.

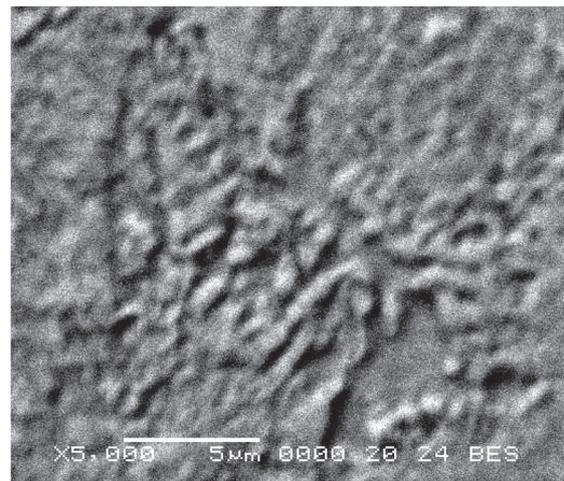
Результатом растворения, проходящего в течение 20–25 мин, являлось образование однородной жидкости маслоподобной консистенции, сохраняющей стабильность в течение длительного времени.

После закалки в 0,8%-ном растворе полимера форма опытных сегментов (см. рис. 1, поз. 1) не изменялась, что указывает на значительное уменьшение закалочных напряжений в связи с более «мягкими» условиями охлаждения. Структура стали мартенситная (HRC 53) с небольшими отдельными включениями феррито-цементитной смеси (рис. 4, а). Наиболее четко выражается игольчатое мартенситное строение при изучении методом сканирующей электронной микроскопии (рис. 4, б).

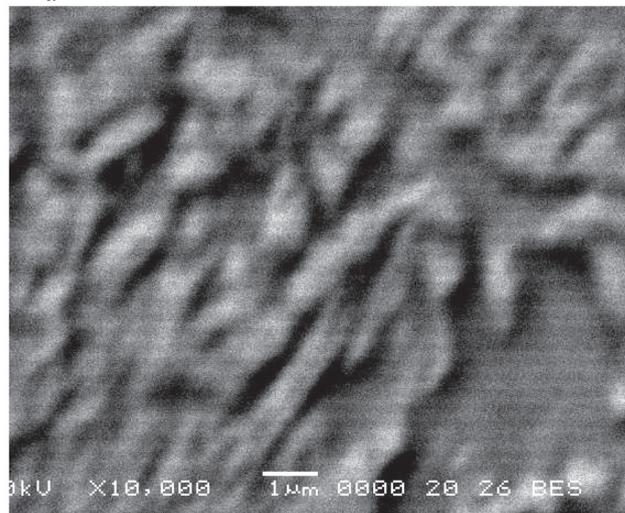
При изменении концентрации раствора полимера имеется возможность обеспечения требуемых механических характеристик и структуры в процессе охлаждения от закалочных температур. При использовании 1,6%-ного раствора полимера (рис. 4, в) образуется мартенситная структура со значительными выделениями зернистого троости-



а



б



в

Рис. 3. Микроструктура стали 45 в закаленном состоянии (закалка в масле): а – металлографические исследования; б, в – исследования методом сканирующей электронной микроскопии: а – $\times 400$; б – $\times 5000$; в – $\times 10000$

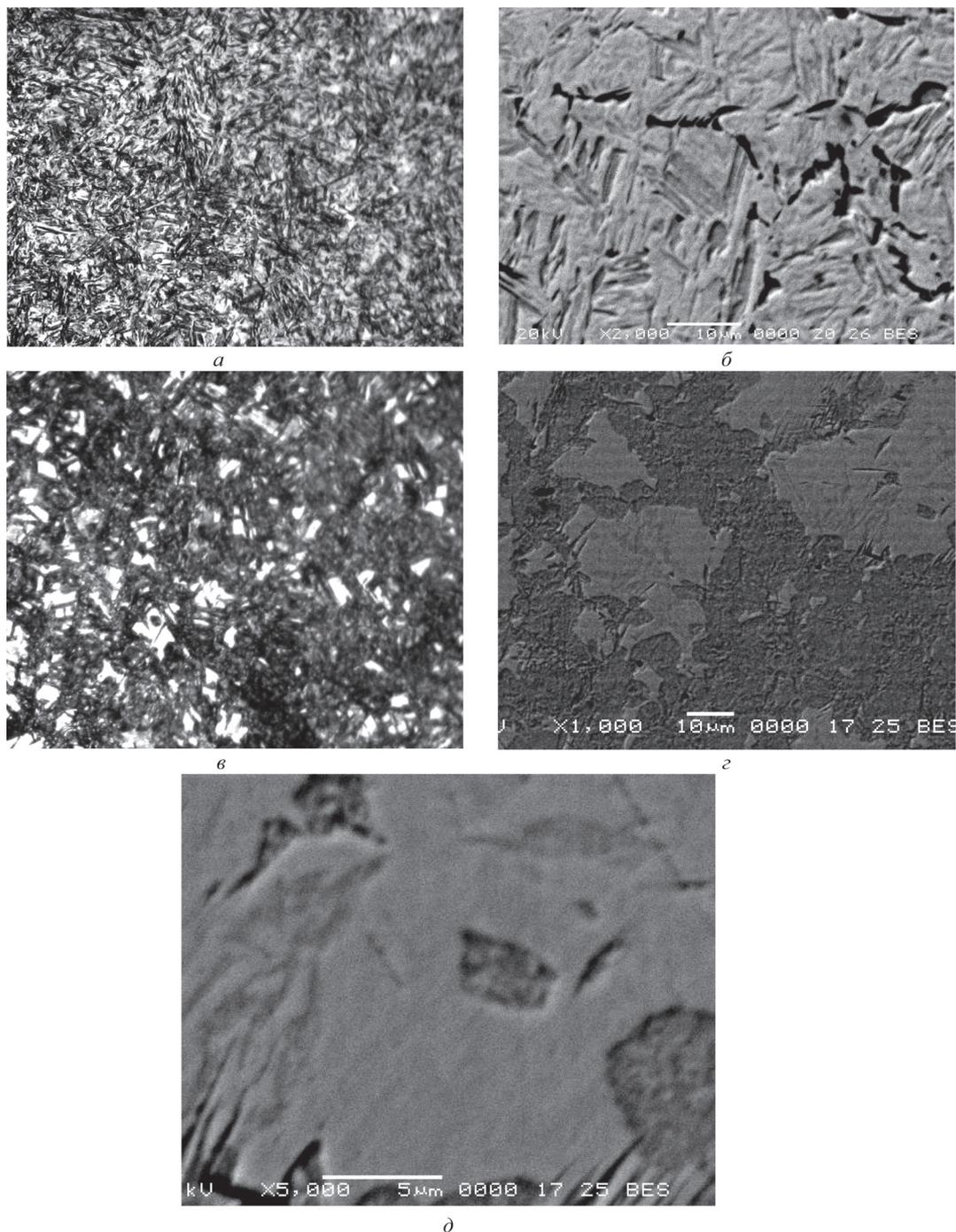


Рис. 4. Микроструктура стали 45 в закаленном состоянии: *а, б* – закалка в 0,8%-ном растворе полимера; *в, г, д* – закалка в 1,6%-ном растворе полимера (*а, в* – металлографические исследования; *б, г, д* – исследования методом сканирующей электронной микроскопии). *а, в* – $\times 400$; *б* – $\times 2000$; *г* – $\times 1000$; *д* – $\times 5000$

та (HRC 42), причем электронно-микроскопические исследования указывают (рис. 4, *г, д*) на присутствие феррито-цементитной смеси предпочтительно зернистого строения.

**Влияние охлаждающей среды
на поверхность закаливаемых изделий**

В ряде случаев охлаждающие среды оказывают вредное влияние на поверхность изделий [4].

Исследования методом сканирующей электронной микроскопии структуры и микросостава

поверхностных пленок, закаленных в воде образцов стали 45, показывают наличие несплошных неоднородных по составу (см. таблицу) пленок (рис. 5) разной толщины и зернистости, средний состав (рис. 5, *а*) которых соответствует оксидам и карбидам предпочтительно железа сложного состава. Микросостав каждой из составляющих пленки неоднороден. Более темные составляющие пленки относятся к алюмосиликатам (поз. 1, рис. 5, *а*), а светлая составляющая пленки (поз. 2, рис. 5, *а*) соответствует карбидам железа со значительно

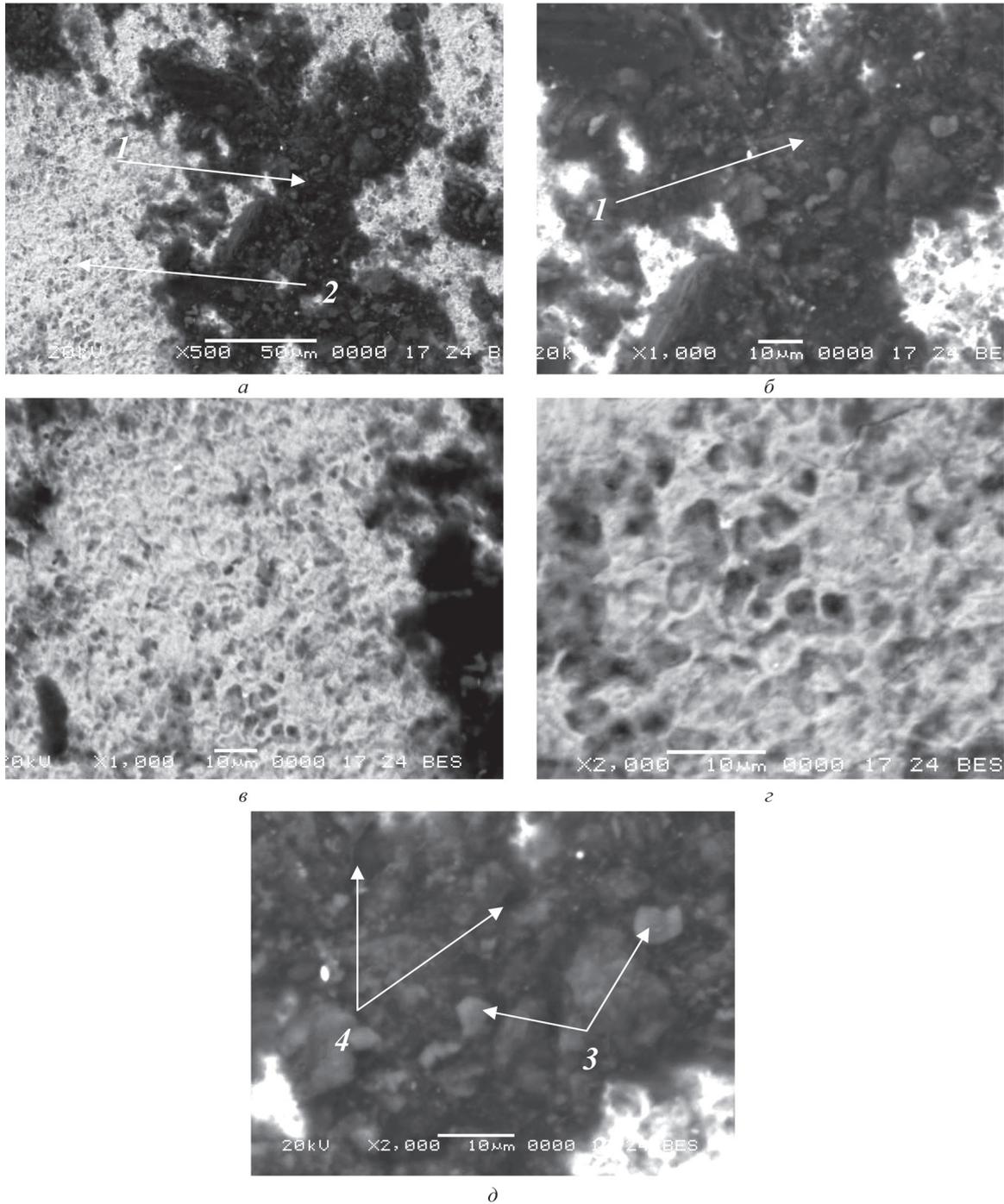


Рис. 5. Структура поверхностной пленки стали 45 после закалки в воду (исследования методом сканирующей электронной микроскопии): а – $\times 500$; б, в – $\times 1000$; г, д – $\times 2000$

меньшей степенью окисленности металлической составляющей пленки с практически полным отсутствием в составе глинозема, корунда и силикатов. На темных алюмосиликатных участках пленки также наблюдается химическая неоднородность: более светлые включения (поз. 3, рис. 5, д) близки к среднему составу темной составляющей пленки (поз. 1, рис. 5, а) с присутствием калия; более темные составляющие (поз. 4, рис. 5, д) имеют значительно меньшую степень окисленности. Все составляющие пленки содержат структурно сво-

бодный углерод, образующийся из-за протекания высокотемпературных массообменных процессов на межфазной границе металл – охлаждающая жидкость (водная среда).

После закалки в масло необходимо проводить обезжиривание (промывку) и при необходимости химическую очистку поверхности изделий. Такая пленка состоит из трех принципиально отличающихся участков (рис. 6).

Микросостав темных участков пленки (см. таблицу) близок к оксидам и карбидам предпochти-

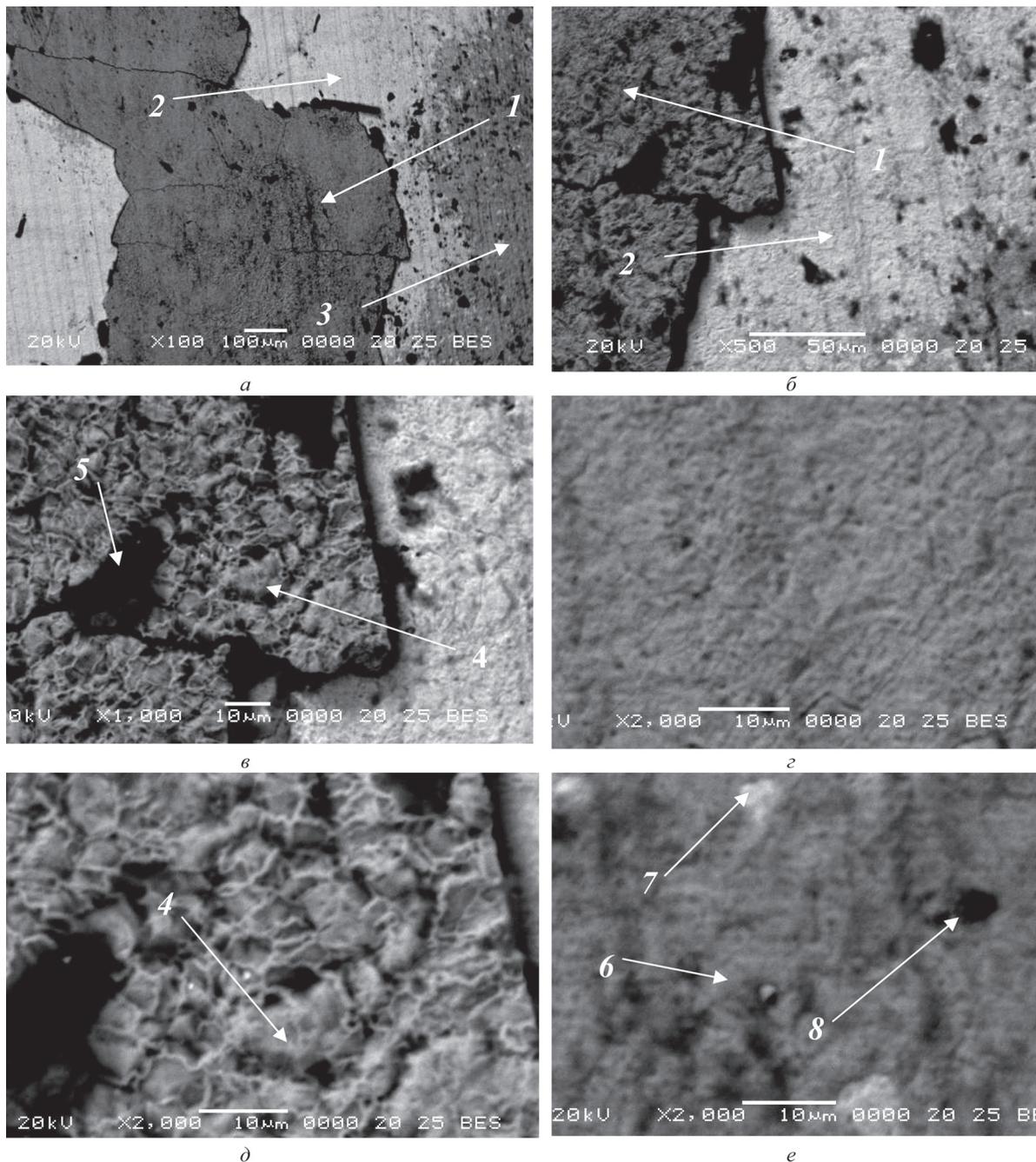


Рис. 6. Структура поверхностной пленки стали 45 после закалки в масло (исследования методом сканирующей электронной микроскопии): а – $\times 100$; б – $\times 500$; в – $\times 1000$; г, д, е – $\times 2000$

тельно железа сложного состава (поз. 1, рис. 6, а). В то же время светлые участки пленки состоят в основном из карбидов железа (поз. 2, рис. 6, а). Серые участки пленки (поз. 3, рис. 6, а) содержат, как и темные участки, оксиды и карбиды предпочтительно железа сложного состава с присутствием силикатов и титансодержащих соединений. Темные участки пленки состоят из оксидов железа (поз. 4, рис. 6, в) и алюмосиликатов (поз. 5, рис. 6, в). В составе серых участков пленки присутствуют включения (поз. 6, рис. 6, е), примерно совпадающие с их средним составом при меньшей концентрации углерода, практически чистые участки же-

леза (поз. 7, рис. 6, е) и незначительно окисленные включения железа (поз. 8, рис. 6, е).

После закалки в водно-акриловом полимере образуется тончайшая оксидокарбидная железосодержащая пленка (см. таблицу) с присутствием небольших количеств глинозема, корунда и силикатов (рис. 7, а). Светлая составляющая такой пленки (поз. 1, рис. 7, а) состоит из оксидов и карбидов предпочтительно железа сложного состава, имеющих мелкозернистое строение (поз. 5, рис. 7, в) с межзеренными границами (поз. 6, рис. 7, в), содержащими дополнительно соединения Mg и K. Темная составляющая пленки (поз. 2, рис. 7, а)

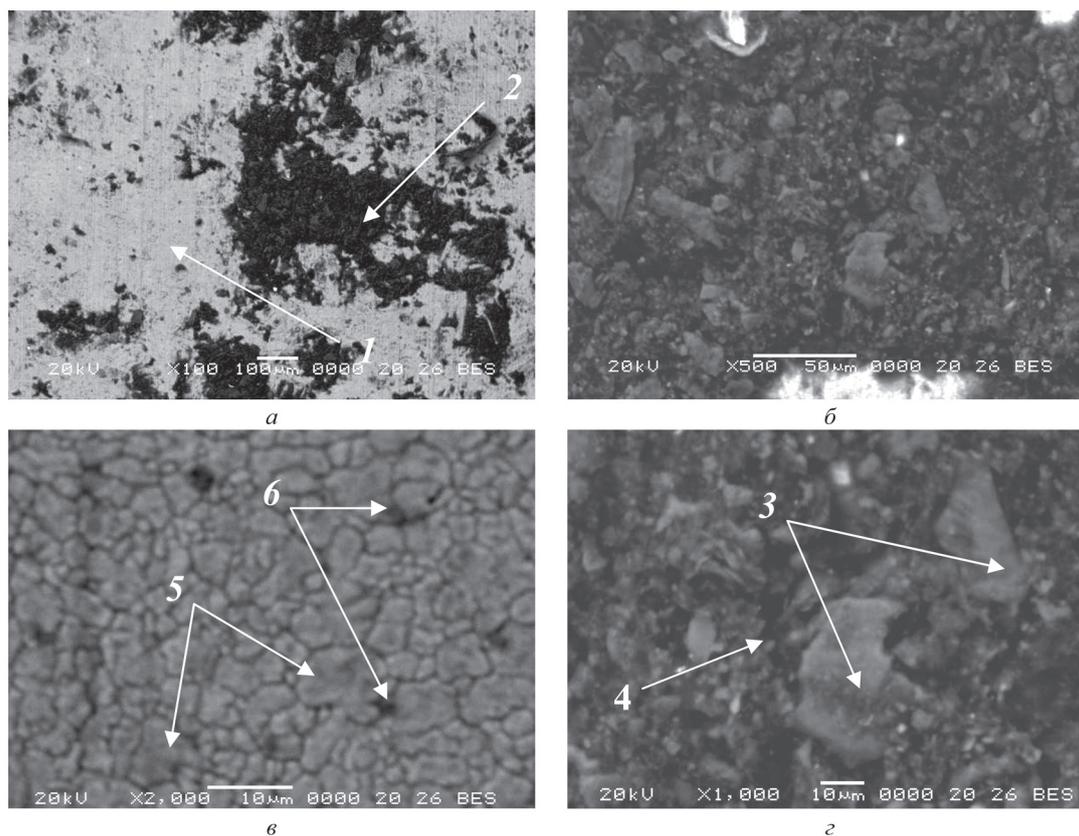


Рис. 7. Структура поверхностной пленки стали 45 после закалки в 1,6%-ном растворе полимера (исследования методом сканирующей электронной микроскопии). *а* – $\times 100$; *б* – $\times 500$; *в* – $\times 2000$; *г* – $\times 1000$

включает алюмосиликаты в железосодержащих оксидокарбидных включениях с неоднородными по составу зернами (более светлыми (поз. 3, рис. 7, *г*) с более высокой концентрацией Al, Si, O и более темными (поз. 4, рис. 7, *г*) с более высокой концентрацией углерода. Нужно отметить, что повышенная концентрация структурно свободного углерода в составе пленок после охлаждения как в масле, так и в растворе полимера, вероятно, не связана с процессами пиролиза охлаждающих сред, а объясняется высокотемпературными окислительными процессами на поверхности металла.

Разработанная технология термической обработки стальных изделий прошла апробацию на предприятиях Республики Беларусь, получены положительные результаты. Выпуск охлаждающей среды в необходимом количестве налажен.

Выводы

1. Применение в качестве охлаждающей среды водного раствора акрилового полимера оптимальной концентрации обеспечивает охлаждение изделий в режиме интенсивного движения жидкости на поверхности без выделения дыма, копоти, масляных паров, продуктов окисления и термического разложения углеводородов. Явление вспыхивания пламени при этом исключается.

2. Значение водородного показателя созданной закалочной среды соответствует pH 6–10, что обеспечивает эффективное растворение высокополимерного соединения в воде и отсутствие расслоения закалочной жидкости при хранении.

3. Закалка в водно-акриловых средах обеспечивает высокое качество изделий по структуре и механическим показателям, исключается эффект смачивания полимером поверхности деталей и его налипания на деталь. Интенсивное движение жидкости вблизи поверхности закаливаемого изделия обеспечивает качественную закалку. Раствор обладает достаточной термической стойкостью, что исключает распад закалочной среды.

4. Положительные качества водно-акриловых закалочных сред способствуют уменьшению слоя окалины на поверхности деталей.

5. Требуемые условия охлаждения при термической обработке изделий из конкретных марок сплавов могут задаваться изменением концентрации рабочего раствора.

6. Стоимость рабочего состава закалочной среды на порядок ниже стоимости охлаждающих сред из минеральных масел, а срок эксплуатации значительно выше. При этом отсутствует проблема утилизации отходов.

Литература

1. Гарост А. И., Цуриков И. А., Лашкевич О. Е. Новые энерго- и ресурсосберегающие технологии термической обработки // *Литье и металлургия*. 2008. №3. С. 127–132.
2. Гарост А. И., Горецкий Г. П., Дудецкая Л. Р., Лашкевич О. Е. Водно-акриловые охлаждающие среды для закалки стальных изделий. Оборудование и технология термической обработки металлов и сплавов // *Сб. докл. IX Междунар. науч. техн. конг. термистов и металлосведов*. Харьков: ННЦ «ХФТИ». 2008. Т. 2. С. 301–306.
3. Гарост А. И. и др. Пат. РБ № 11233: МПК⁷ С 21D 1/56. Способ термической обработки изделий из черных металлов.
4. Термическая обработка в машиностроении: Справ. / Под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта. М.: Машиностроение, 1980.