

# СОЗДАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ И НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНЖЕНЕРИИ МАТЕРИАЛОВ

Гарост А.И., Бакаева Д.А. (Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь)

*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. The article shows advantages of the water polymer solutions in a comparison with existing cooling liquids. The cost of a new heat treating liquid is lower in a comparison with that of mineral oils, the term of service being much larger. Using this new fluid we avoid the problem of waste utilization. The production of cooling liquids is arranged in the Republic of Belarus.*

## Введение

Для обеспечения высокой эксплуатационной стойкости (надежности, работоспособности и долговечности) любой детали, материал должен иметь высокую конструкционную прочность — комплекс механических свойств, гарантирующих надежную и длительную работу в условиях эксплуатации. Следовательно, конструкционная прочность определяется не только свойствами материала, но и характером конструкции, уровнем технологии и условиями эксплуатации. На конструкционную прочность большое влияние оказывают размеры и сложность формы детали, наличие остаточных технологических напряжений, состояние ее поверхностей, а также среда, в которой работает конструкция.

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

Этим высоким требованиям лишь в редких случаях могут отвечать не упрочненные материалы. Основная часть ответственных конструкционных 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 втулка шпинтона из стали 45 должны закаливаться в воде. В ряде случаев это приводит к неравномерному распределению твердости по ее поверхности (твердость колеблется в пределах 28–57 HRC) и нарушению сплошности детали из-за закалочных напряжений. Для моделирования и оценки влияния различных способов охлаждения на геометрические параметры изделий вырезались кольцевые сегменты (рис. 1), которые подвергались закалке в воде. Обнаружена овальность сегментов (поз.2), значение которой достигает 1,5 мм. Структура (рис. 2а) такой стали мартенситная (HRC 56). Исследования указывают на необходимость поиска охлаждающих сред, которые обеспечивали бы получение мартенситной структуры при более мягких условиях охлаждения.

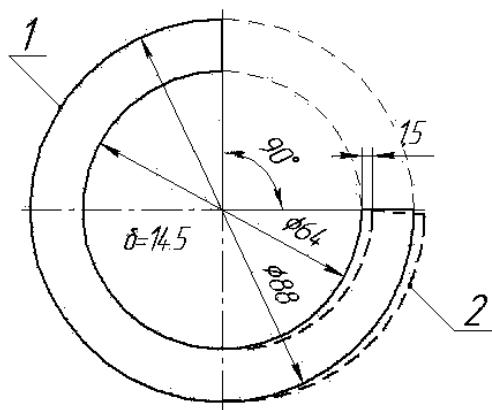


Рис. 1. Влияния различных способов охлаждения при закалке стали 45 на геометрические параметры изделий: 1 – охлаждение в 0,8 %-ом растворе полимера; 2 – охлаждение в воде

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 битумизации 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, метилцелллюзоза, эфир, глицерин и др.) позволяет изменять охлаждающие свойства воды в широком диапазоне.

Разработанный в Белорусском государственном технологическом университете способ термической обработки изделий из черных металлов [3]

предполагает использование в качестве охлаждающих сред водно-акриловых полимеров. Такие среды в зависимости от концентрации полимера могут обеспечивать любые требуемые условия охлаждения, в том числе их применяют в качестве заменителей минеральных масел при закалке в первую очередь легированных сталей. Они не воспламеняются при воздействии высоких температур, не загрязняют окружающую среду и детали, нетоксичны, могут работать в широком интервале температур (4...100<sup>0</sup>C), обеспечивают высокое качество деталей при термической обработке. Ожидаемый срок эксплуатации водно-полимерных закалочных сред значительно выше, чем у масел. Кроме того, при их использовании отсутствует проблема утилизации отработанной жидкости - для корректировки ее состава добавляют воду или водный раствор полимера.

При охлаждении стали 45 от закалочных температур в масло получаем перлито-ферритную структуру (HRC 22), причем перлит в основном имеет зернистое строение (рис. 2б), что подтверждают также результаты исследований данной стали методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе ISM-5610LV с использованием электронно – зондового EDX анализа на детекторе IED 2201 (рис. 2в).

Для оптимизации условий закалки деталей из стали 45 по новой технологии [3] готовили рабочий раствор путем растворения полимера, находящегося в виде эмульсона, в жесткой водопроводной воде. Результатом растворения, проходящего в течение 20-25 минут, являлось образование однородной жидкости маслоподобной консистенции, сохраняющей стабильность в течение длительного времени.

После закалки в 0,8 %-ом растворе полимера форма опытных сегментов (поз. 1 рис. 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.2г). Наиболее четко выражается игольчатое мартенситное строение при изучении методом сканирующей электронной микроскопии (рис. 2д).

При изменении концентрации раствора полимера имеется возможность обеспечения требуемых механических характеристик и структуры в процессе охлаждения от закалочных температур. При использовании 1,6 %-ого раствора полимера (рис. 2е) образуется мартенситная структура со значительными выделениями зернистого троостита (HRC 42).

#### **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 (табл. 1) пленок (рис. 3) разной толщины и зернистости, средний состав (рис. 3а) которых состоит из оксидов и карбидов преимущественно железа сложного состава. Микросостав каждой из составляющих пленки неоднороден. Более темные составляющие пленки относятся к алюмосиликатам (поз. 1 рис. 3а), а светлая составляющая пленки (поз. 2 рис. 3а) соответствует карбидам железа со значительно 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. 3д) близки к среднему составу темной составляющей пленки (поз. 1 рис. 3а) с присутствием калия; более темные составляющие (поз. 4 рис. 3д) имеют значительно

меньшую степень окисленности. Все составляющие пленки содержат структурно свободный углерод, образующийся из-за протекания высокотемпературных массообменных процессов на межфазной границе металл-вода.

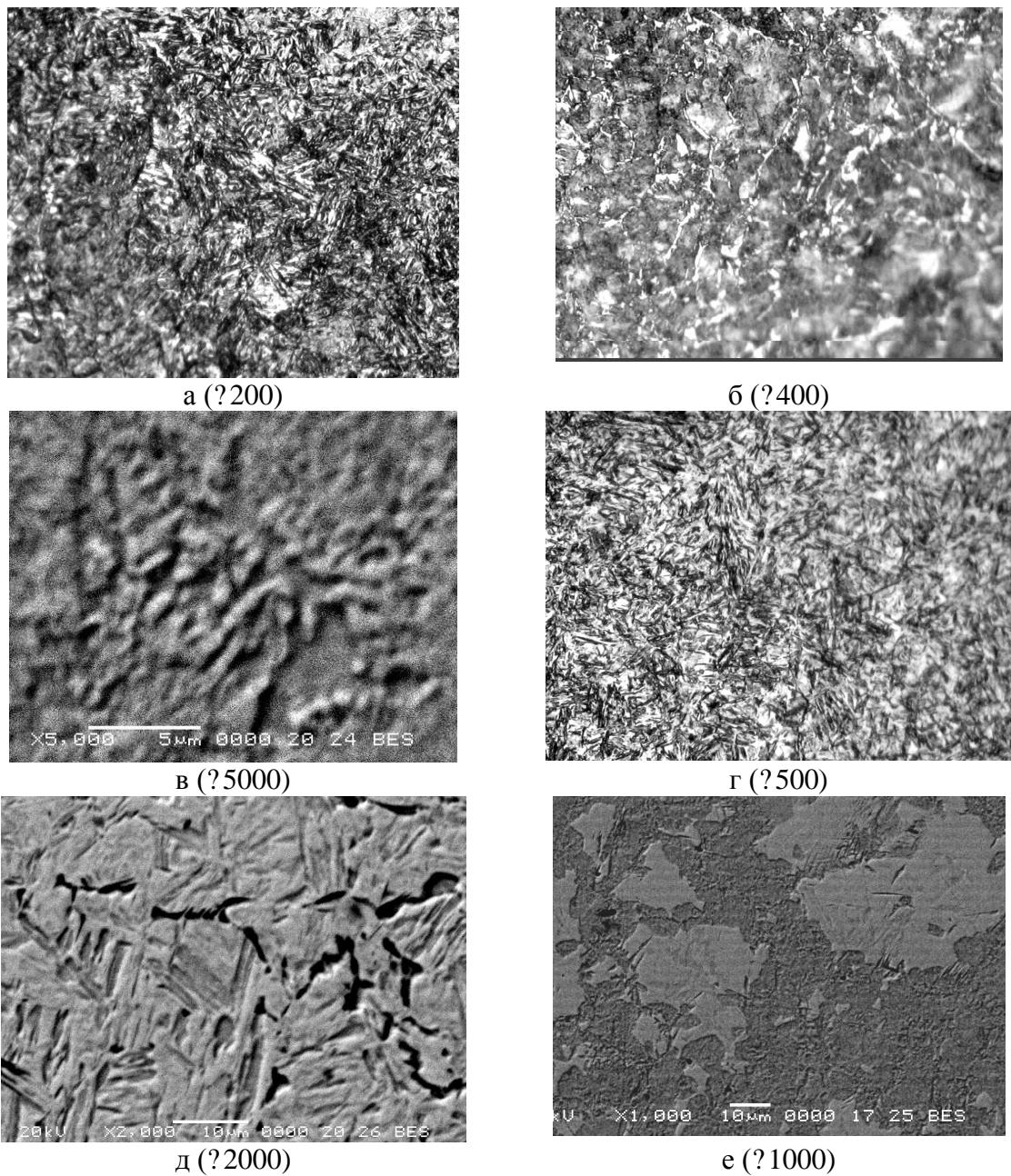


Рис. 2. Микроструктура стали 45 в закаленном состоянии: а – закалка в воду; б, в – закалка в масло; г, д – закалка в 0,8 %-ом растворе полимера, е – закалка в 1,6 %-ом растворе полимера (а, б, г – металлографические исследования; в, д, е – исследования методом сканирующей электронной микроскопии

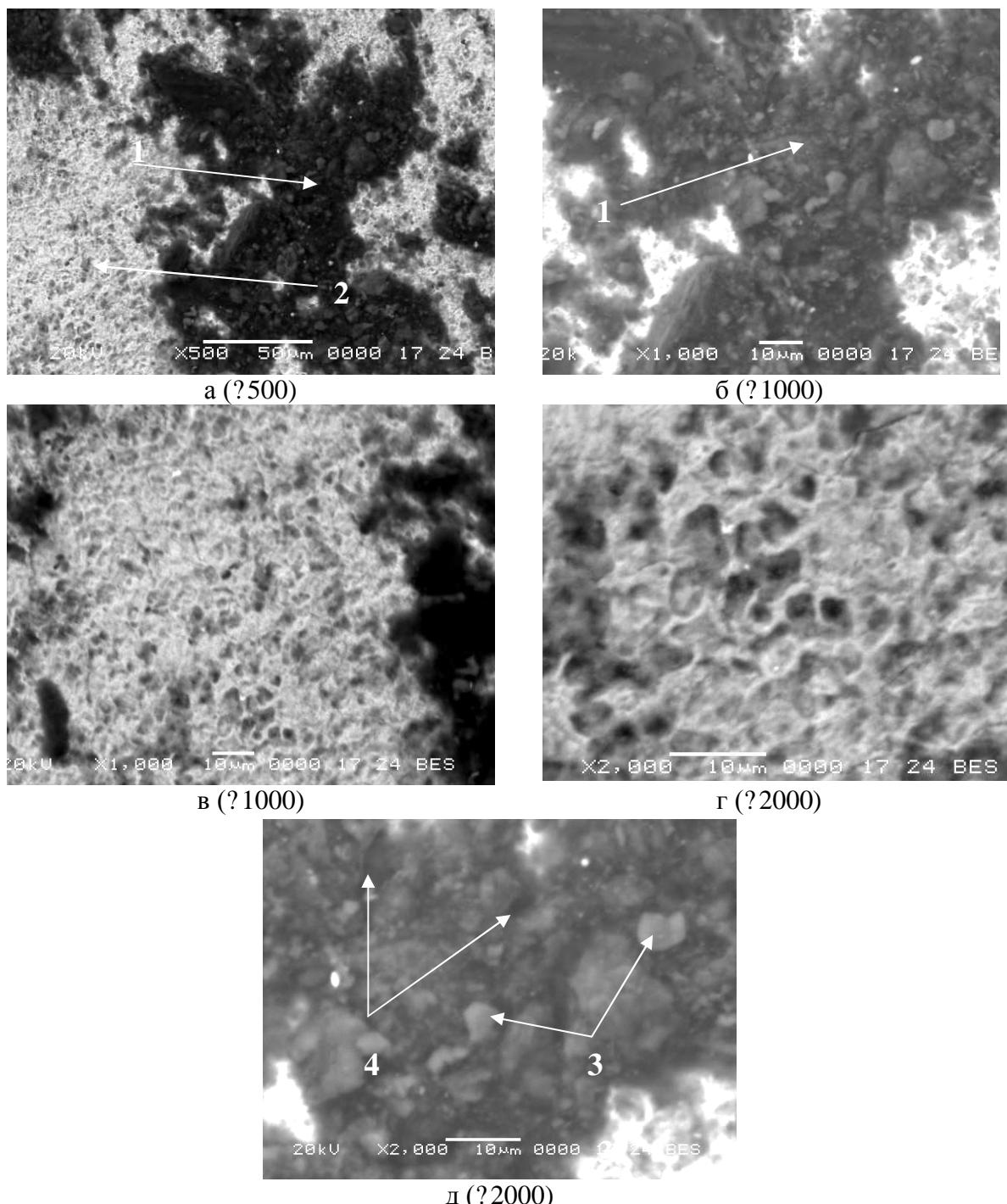


Рис. 3. Структура поверхностной пленки стали 45 после закалки в воду (исследования методом сканирующей электронной микроскопии)

После закалки в масло необходимо проводить обезжиривание (промывку) и при необходимости химическую очистку поверхности изделий. Такая пленка состоит из трех принципиально отличающихся участков (рис. 4).

Таблица 1. Химический состав поверхности закаливаемых изделий из стали 45 (% масс)

Охлаждающая среда	Позиция включения	C	O	Al	Si	P	S	Na	Mg	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe
вода	средний (рис. 3а)	32,50	8,51	1,33	1,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,01	54,73
	1(рис.3а) 1(рис.3б)	48,09	28,42	11,10	11,29	-	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
	2(рис.3а)	22,03	7,74	0,42	0,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,20	67,92
	3(рис.3д)	41,26	35,42	10,63	10,65	0,04	0,07	-	-	-	0,86	-	-	-	0,01	1,05
	4(рис.3д)	66,90	8,00	7,69	6,99	-	0,20	-	-	-	-	-	-	-	0,12	10,10
масло	1(рис.4а) 1(рис.4б)	31,20	24,12	1,03	0,92	0,07	0,01	0,44	-	-	0,06	0,14	-	-	0,40	41,61
	2(рис.4а) 2(рис.4б)	26,85	3,59	0,10	0,23	0,07	0,26	0,15	-	-	0,12	0,02	-	-	1,14	67,44
	3(рис.4а)	28,64	19,14	0,38	4,03	0,27	0,10	0,11	-	-	0,04	0,10	1,01	0,61	1,08	44,50
	4(рис.4в) 4(рис.4д)	12,06	27,82	0,17	-	-	0,13	-	-	-	0,15	-	-	0,97	58,70	
	5(рис.4в)	54,88	22,23	7,61	7,98	-	1,11	0,12	0,02	0,52	0,55	1,45	0,15	0,09	-	3,31
	6(рис.4е)	19,12	18,81	0,19	4,26	0,50	0,15	-	-	-	0,11	0,04	-	0,64	1,27	54,89
	7(рис.4е)	7,51	-	0,22	0,64	0,04	0,22	0,14	-	0,10	-	0,04	-	0,25	1,53	89,31
	8(рис.4е)	9,82	1,88	0,16	1,08	0,03	0,05	-	-	0,15	0,01	0,19	-	0,80	1,47	84,36
1,6%-ый раствор полимера	средний рис.5а	33,27	16,26	2,39	2,61	0,16	0,16	-	-	-	-	-	-	-	0,55	44,59
	1(рис.5а)	14,90	15,04	0,37	1,15	-	0,09	0,79	0,08	0,16	-	0,18	-	-	1,42	65,83
	2(рис.5а)	50,98	28,03	7,24	6,84	0,05	0,21	0,08	0,09	-	0,17	0,43	0,16	-	0,17	5,54
	3(рис.5г)	32,96	36,16	15,14	13,94	0,19	-	0,23	0,01	-	-	0,15	-	-	0,14	1,08
	4(рис.5г)	65,18	26,25	3,39	3,45	0,09	0,20	0,32	0,02	0,24	0,10	0,13	0,01	-	-	0,62
	5(рис.5е)	12,94	14,74	0,26	0,91	-	-	2,04	-	-	0,21	0,01	-	1,09	67,80	
	6(рис.5е)	16,95	12,74	0,28	1,02	0,16	0,12	0,91	0,37	0,03	0,05	0,16	-	-	0,63	66,59

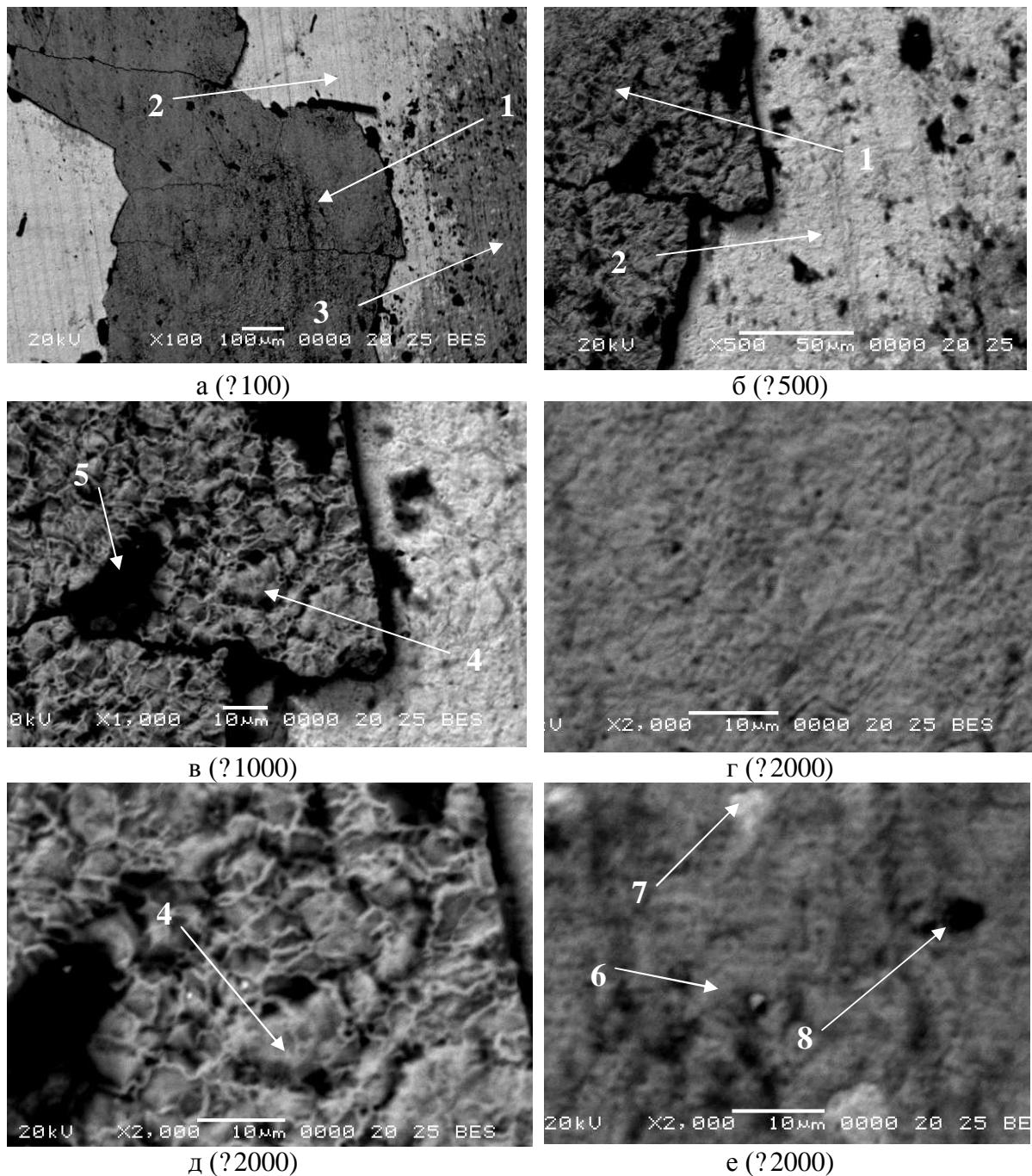


Рис. 4. Структура поверхностной пленки стали 45 после закалки в масло (исследование методом сканирующей электронной микроскопии)

Микросостав темных участков пленки (табл. 1) близок к оксидам и карбидам, предпочтительно железа сложного состава (поз. 1 рис. 4а). В то же время светлые участки пленки состоят в основном из карбидов железа (поз. 2 рис. 4а). Серые участки пленки (поз. 3 рис. 4а) 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. 4в) и алюмосиликатов (поз. 5 рис. 4в). В составе серых участков пленки присутствуют включения (поз. 6 рис. 4е) примерно совпадающие с их средним

составом при меньшей концентрации углерода, практически чистые участки железа (поз. 7 рис. 4в) и незначительно окисленные включения железа (поз. 8 рис. 4в).

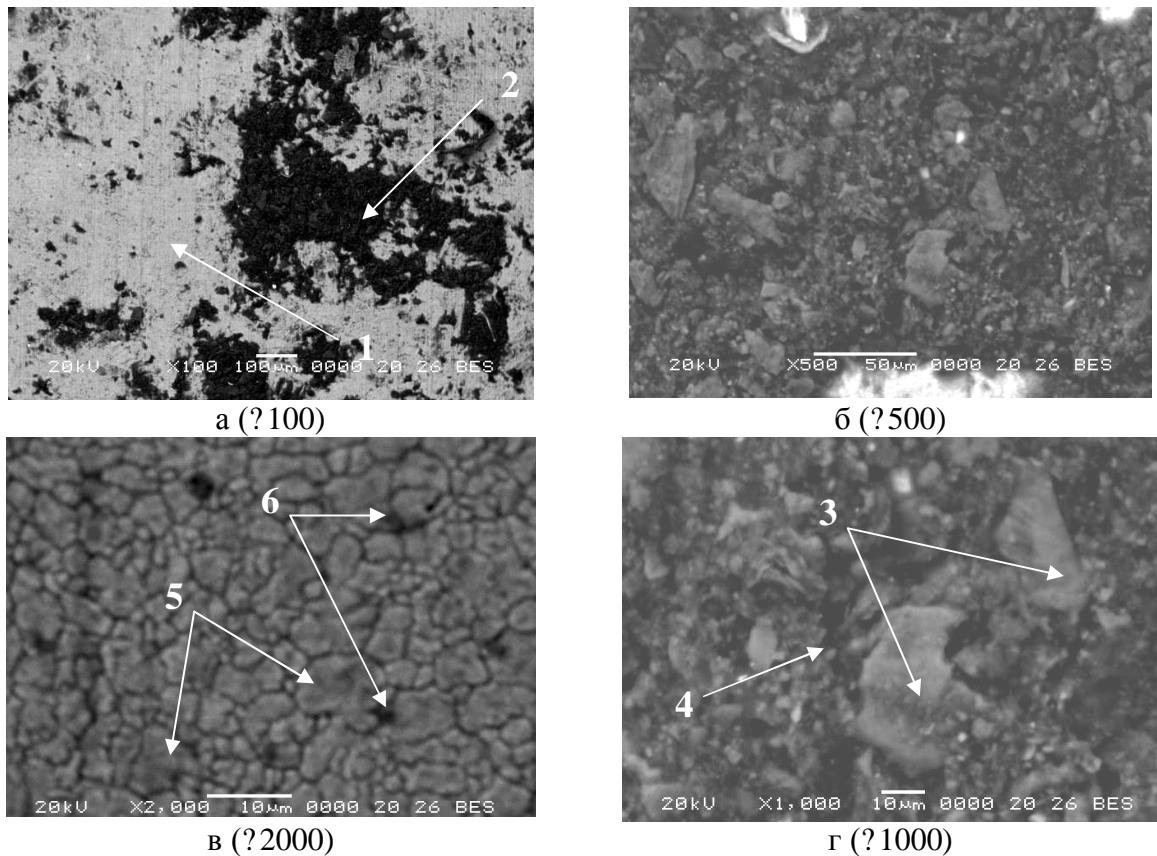


Рис. 5. Структура поверхностной пленки стали 45 после закалки в 1,6 %-ном растворе полимера (исследования методом сканирующей электронной микроскопии)

После закалки в водно-акриловом полимере образуется тончайшая оксидокарбидная железосодержащая пленка (табл.2) с присутствием небольших количеств глинозема, корунда и силикатов (рис. 5а). Светлая составляющая такой пленки (поз. 1 рис. 5а) состоит из оксидов и карбидов преимущественно железа сложного состава, имеющих мелкозернистое строение (поз. 5 рис. 5в) с межзеренными границами (поз. 6 рис. 5в) содержащими дополнительно соединения Mg и K. Темная составляющая пленки (поз. 2 рис. 5а) включает алюмосиликаты в железосодержащих оксидокарбидных включениях с неоднородными по составу зернами (более светлыми (поз. 3 рис. 5г) с более высокой концентрацией Al, Si, O и более темными с (поз. 4 рис. 5г) 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 наложен.

## **Заключение**

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 должно соответствовать pH 6-10, что способствует наиболее эффективному растворению высокополимерного соединения в воде и отсутствию 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.

## **Список литературы:**

1. Гарост А.И., Щуриков 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 (том II). (Сборник докладов IX Международного научно-технического конгресса термистов и металловедов). – Харьков: ННЦ «ХФТИ», 2008. – С. 301-306.
3. Гарост А.И. и др. Патент РБ на изобретение № 11233 от 22.07.2008 г. по заявке a20070625 от 24.05.2007 г. (МПК<sup>7</sup> С 21D 1/56). Способ термической обработки изделий из черных металлов.
4. Термическая обработка в машиностроении: Справочник / Под ред. Лахтина, Ю.М., Рахштадта, А.Г., - М.: Машиностроение, 1980. – 783 с.

Сдано в редакцию 16.01.2009