

УДК 621.78.06

В. В. ГОРЮШИН, Н. Н. ИСТОМИН, А. Г. КСЕНОФОНТОВ, А. В. МАРСЕЛЬ, С. Ю. ШЕВЧЕНКО
МГТУ им. Н. Э. Баумана, АО "Московский подшипник" (ГПЗ-1)

Закалка шарикоподшипниковых сталей и деталей подшипников в полимерной среде УЗСП-1

В статье представлены результаты исследования влияния закалки в среде УЗСП-1 на комплекс свойств шарикоподшипниковых сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ, а также сведения по практическому применению растворов УЗСП-1 для закалки деталей подшипников, изготавливаемых из разных сталей и подвергаемых нагреву под закалку различными способами. Все исследования проведены на сталях промышленных плавок.

Проведенные ранее исследования и опыт промышленного применения показали [1–5], что среда УЗСП-1 при концентрации полимера $3 \pm 0,5\%$ является эффективным заменителем масла для закалки среднеуглеродистых низко- и среднелегированных сталей. Для высокоуглеродистых шарикоподшипниковых сталей типа ШХ15 3%-ный водный раствор УЗСП-1 не является оптимальным, как это впервые указано в работе [6].

В работе оценивали наиболее важные технологические свойства шарикоподшипниковых сталей после закалки в водных растворах УЗСП-1 и отпуска: деформационную способность, склонность к трещинообразованию, твердость и микроструктуру.

Закалочные деформации определяли по изменению расстояния H между "губками" С-образных образцов типа колец Френча упрощенной конфигурации [4, 7] и по изменению ряда параметров реальных колец подшипников. Склонность к образованию трещин при закалке в водных растворах УЗСП-1 оценивали магнитным методом на дискообразных образцах с прорезью и деталях. На образцах указанных типов определяли твердость и исследовали микроструктуру после закалки и отпуска по оптимальным для каждой стали режимам.

Предварительными многократными исследованиями было установлено, что при закалке колец подшипников из высокоуглеродистых сталей типа ШХ15 с наружным диаметром от 40 до 90 мм в растворах УЗСП-1 с концентрацией 3; 4; 5 и 6% происходит образование трещин, доля которых неодинакова от партии к партии, но в целом снижается с повышением концентрации полимера. При закалке в 7%-ном растворе УЗСП-1 образования трещин колец практически не происходит. Подробно результаты этих исследований рассмотрены в работе [8].

Учитывая предварительные исследования, в данной работе закалку образцов и деталей подшипников

из высокоуглеродистых шарикоподшипниковых сталей проводили в 7%-ном растворе УЗСП-1. Для сравнения часть образцов и деталей закаливали в масле МЗМ-16. После закалки все образцы подвергали отпуску.

Установлено (рис. 1), что деформация С-образных образцов из сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ после закалки в УЗСП-1 в основном меньше, чем после закалки в масле. Особенно существенное снижение деформаций (более чем на 35%) наблюдается в образцах из стали ШХ15.

Микроструктурный анализ показал, что образцы из сталей ШХ15СГ и ШХ20СГ имеют сквозную прокаливаемость в максимальном сечении (20 мм). Образцы из стали ШХ15 в центре наибольшего сечения содержали небольшую долю троостита после закалки в масле и значительную — после закалки в 7%-ном растворе УЗСП-1. Однако твердость поверхности образцов в обоих случаях была на одинаковом уровне (61–62 HRC_{0,1}) (табл. 1).

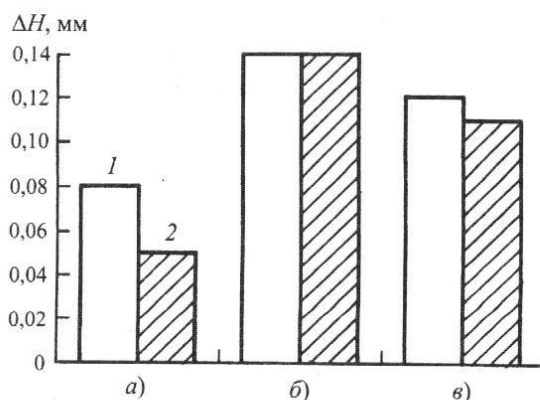


Рис. 1. Изменение размера ΔH образцов из сталей ШХ15 (а), ШХ15СГ (б), ШХ20СГ (в) после закалки и отпуска: 1 — закалка в масле; 2 — закалка в 7%-ном растворе УЗСП-1

Таблица 1

Марка стали	Твердость HRC_3	
	Закалка в масле	Закалка в УЗСП-1
ШХ15	58–61 61–62	48–56 59–61
ШХ15СГ	61–62	62–63
ШХ20СГ	60–61	61–62

Примечания: 1. Приведена твердость HRC в наибольшем сечении образцов после закалки в масле МЗМ-16 или 7 %-ном растворе УЗСП-1 и отпуска. 2. Для стали ШХ15 в числителе дана твердость центра сечения, в знаменателе — поверхности образца. В остальных случаях твердость по сечению образцов одинаковая.

Трещин на образцах из сталей ШХ15 и ШХ20СГ не было обнаружено после закалки как в УЗСП-1, так и в масле*.

В целом можно отметить, что закалка образцов из высокоуглеродистых подшипниковых сталей в 7 %-ном растворе УЗСП-1 не приводит к увеличению в них деформации по сравнению с закалкой в масле и в большинстве случаев не вызывает образования трещин.

Дальнейшие исследования и производственное опробование закалки в 7 %-ном растворе УЗСП-1 проводили на кольцах и телах качения подшипников.

Исследовали наружные кольца шариковых радиальных подшипников трех типоразмеров: 180203 (наружный диаметр $D_n = 40$ мм), 207 ($D_n = 72$ мм) и 308А ($D_n = 90$ мм) из стали ШХ15. Партии колец (по 50 штук) закаливали в масле и УЗСП-1. Кольца подшипников на связках нагревали до 830°C и подвергали выдержке в течение 20 мин (кольца 180203/01), 35 мин (207/01) и 40 мин (308/01). Затем проводили закалку в УЗСП-1 или масле и отпуск при 160°C 3 ч. Определяли закалочные деформации колец, их твердость, наличие поверхностных дефектов, исследовали микроструктуру.

Твердость колец (табл. 2), закаленных в УЗСП-1, находится практически на уровне твердости колец, закаленных в масле и соответствует пределам, указанным в требованиях РТМ 37.006.155–75 (61–65 HRC_3). После закалки и отпуска на поверхности колец трещин и мягких пятен не обнаружено. Микроструктура колец после закалки в масле и УЗСП-1 соответствует баллам 2–3 шкалы № 3 РТМ 37.006.155–75.

При исследовании деформации колец определяли изменение наружного диаметра и овальности в процессе закалки и отпуска по методике, принятой на АО “Московский подшипник”.

* Трещины наблюдались только в местах наличия концентраторов (в вершинах прямоугольных надрезов) на образцах из стали ШХ15СГ.

Таблица 2

Тип кольца подшипника	Твердость HRC_3	
	Закалка в масле	Закалка в УЗСП-1
180203/01	63–64	63–63,5
207/01	62–64	61,5–63
308А/01	63–64	63–64

Примечание. Приведена твердость колец подшипников после закалки в масле МЗМ-16 или 7 %-ном растворе УЗСП-1 и отпуска.

Таблица 3

Кольцо подшипника	Закалочная среда	Диаметр кольца, мм		
		до закалки	после закалки	после закалки и отпуска
180203/01	Масло	$40,39 \pm 0,13$	$40,42 \pm 0,13$	$40,40 \pm 0,13$
	УЗСП-1	$40,35 \pm 0,04$	$40,39 \pm 0,04$	$40,36 \pm 0,04$
207/01	Масло	$72,33 \pm 0,12$	$72,41 \pm 0,12$	$72,38 \pm 0,12$
	УЗСП-1	$72,33 \pm 0,05$	$72,41 \pm 0,07$	$72,37 \pm 0,07$
308/01	Масло	$90,51 \pm 0,14$	$90,60 \pm 0,14$	$90,57 \pm 0,14$
	УЗСП-1	$90,49 \pm 0,12$	$90,57 \pm 0,12$	$90,52 \pm 0,12$

Для колец всех трех типоразмеров можно отметить следующее. Диаметр колец при закалке в УЗСП-1 увеличивается практически так же, как при закалке в масле (табл. 3). При отпуске диаметр колец в обоих случаях уменьшается. Разброс значений диаметра колец сохраняется примерно в одинаковых пределах при закалке в обеих средах и после отпуска (рис. 2).

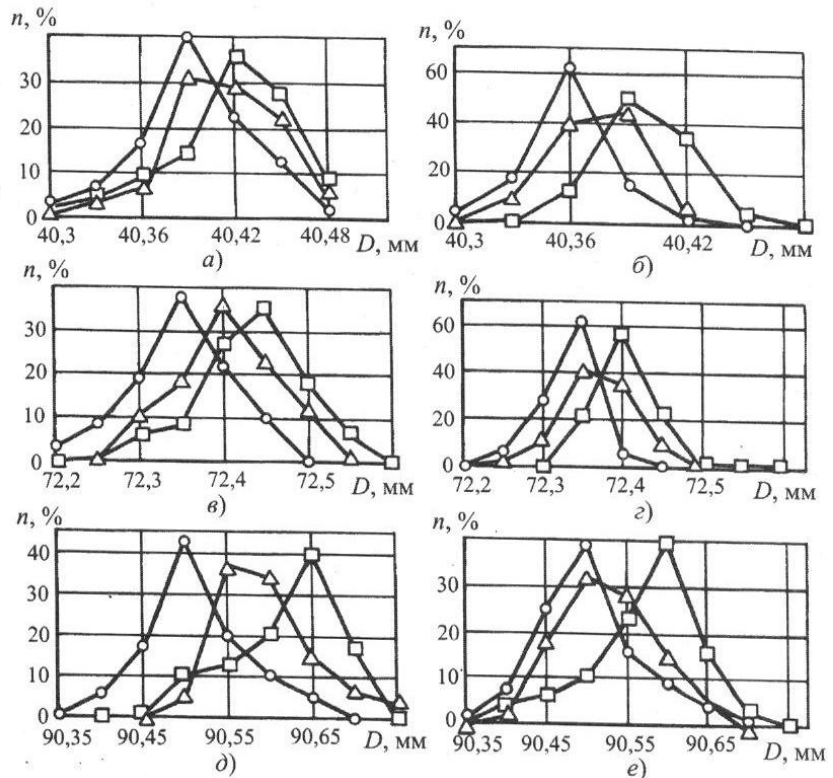


Рис. 2. Частотное распределение диаметров колец 180203/01 (а, б), 207/01 (в, г) и 308А/01 (д, е) после закалки и отпуска: а, в, д — закалка в масле; б, г, е — закалка в 7 %-ном растворе УЗСП-1

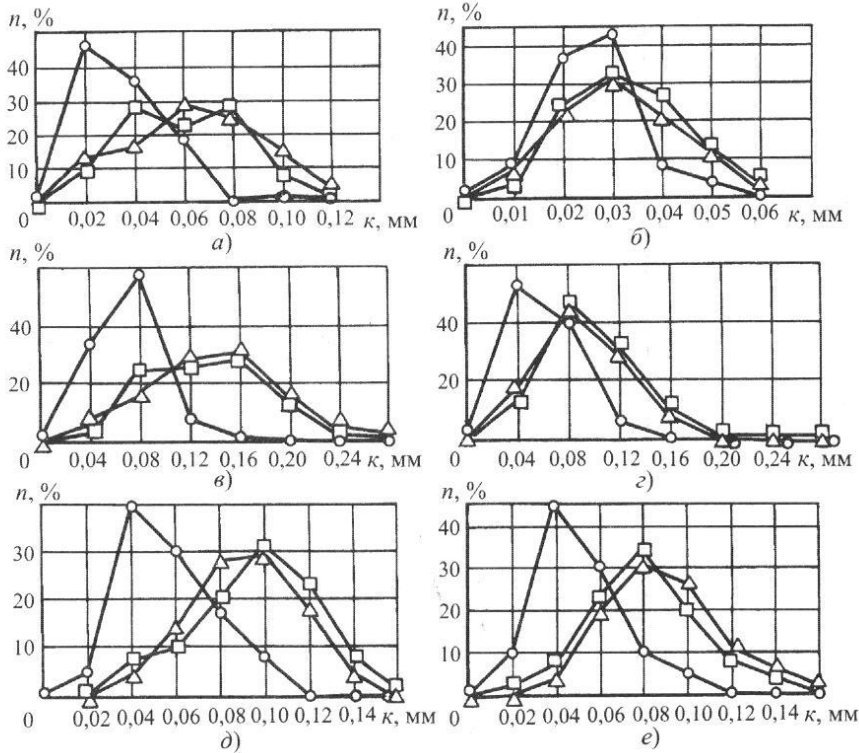


Рис. 3. Частотное распределение овальности (κ) колец 180203/01 (а, б), 207/01 (в, з) и 308А/01 (д, е) после закалки и отпуска: а, в, д — закалка в масле; б, з, е — закалка в 7 %-ном растворе УЗСП-1

У колец 180203/01 после закалки в масле овальность увеличилась в 2 раза, а после закалки в УЗСП-1 практически не изменилась (табл. 4). У колец 207/01 после закалки в масле разброс значений овальности значительно увеличился по сравнению с исходным, а после закалки в УЗСП-1 практически не изменился. Лишь у наиболее массивных колец 308А/01 после закалки в УЗСП-1 наблюдалось большее изменение овальности, чем после закалки в масле. Следует отметить, что овальность большинства термически обработанных колец в партиях соответствовала нормам, допускаемым по ОН 3706-061-69 (0,15; 0,20 и 0,25 мм для колец 180203/01; 207/01 и 308А/01 соответственно). При отпуске овальность колец всех исследованных типоразмеров практически не изменяется (рис. 3).

Приведенные результаты исследований позволяют утверждать, что закалка в 7 %-ном растворе УЗСП-1 обеспечивает получение требуемой твердости и мик-

роструктуры колец подшипника, при этом деформации колец меньше или, по крайней мере, такие же, как при закалке в масле МЗМ-16.

Закалка в 7 %-ном растворе УЗСП-1 была также опробована для деталей с отношением длины к диаметру 1,5 : 2,5.

В частности, исследовали конические ролики подшипников 7510 и 807713 из стали ШХ15. Партии по 50 роликов закаливали в масле МЗМ-16 и 7 %-ном растворе УЗСП-1: ролики 807713 после выдержки при 860 °С 60 мин, ролики 7510 — при 840 °С 35 мин. Затем их подвергали отпуску при 160 °С 2 ч. Измеряли твердость, исследовали микроструктуру, определяли наличие поверхностных дефектов.

После закалки в обеих средах ролики 7510 (\varnothing 9,9 мм) имеют микроструктуру, соответствующую баллам 2–3 шкалы № 3 РТМ 37.006.155–75. Твердость роликов (табл. 5) удовлетворяет требованиям РТМ. После закалки в масле ролики 807713 (\varnothing 20,6 мм) имеют микроструктуру балла 2, а после закалки в УЗСП-1 — балла 7, что является нижним пределом требований РТМ. Твердость этих роликов (табл. 5) также находится на нижнем пределе.

На поверхности роликов после закалки в обеих средах не было обнаружено закалочных трещин и троститных пятен.

По-видимому, при закалке в 7 %-ном растворе УЗСП-1 могут быть получены требуемые твердость и структура роликов из стали ШХ15, диаметр которых не превышает 20 мм.

В работе проводили широкие производственные опробования растворов УЗСП-1 для закалки разнообразных деталей подшипников.

Значительное внимание было уделено закалке равноосных деталей, которыми являются шарики подшипников качения. В течение 6 месяцев на барабанной муфельной печи Б-70 термического цеха осуществляли термическую обработку промышленных партий шариков диаметром от $\frac{5}{16}$ дюйма (7,938 мм) до $1\frac{5}{8}$ дюйма (41,27 мм) из сталей ШХ15 и ШХ15СГ.

Таблица 4

Кольцо подшипника	Закалочная среда	Овальность кольца, мм		
		до закалки	после закалки	после закалки и отпуска
180203/01	Масло	0,03 ± 0,02	0,06 ± 0,04	0,06 ± 0,06
	УЗСП-1	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,02
207/01	Масло	0,06 ± 0,04	0,12 ± 0,10	0,12 ± 0,10
	УЗСП-1	0,08 ± 0,05	0,12 ± 0,07	0,12 ± 0,07
308/01	Масло	0,05 ± 0,04	0,09 ± 0,06	0,07 ± 0,04
	УЗСП-1	0,05 ± 0,04	0,09 ± 0,03	0,09 ± 0,03

Таблица 5

Тип ролика	Твердость роликов подшипника, HRC,	
	Закалка в масле	Закалка в УЗСП-1
7510 (\varnothing 9,9 × 18,25 мм)	63 – 64	63,5 – 64,5
807713 (\varnothing 20,6 × 42,65 мм)	63,5 – 64	61 – 62

Примечание. Приведена твердость роликов после закалки в масле МЗМ-16 или 7 %-ном растворе УЗСП-1 и отпуска.

Закалку и отпуск шариков проводили по существующим оптимальным для деталей каждого типоразмера режимам. С целью обеспечения требований чертежа по твердости, микроструктуре, отсутствию троостита и мягких пятен применяли раствор УЗСП-1 с концентрацией от 0,87 до 1,17 %, как обладающий достаточно высокой охлаждающей способностью.

Анализ результатов опробования показал, что на некоторых наиболее мелких шариках $\frac{5}{16}$ дюйма двух партий образуются поверхностные трещины. В отдельных случаях на шариках $1\frac{5}{16}$ дюйма (33,34 мм) и $\frac{11}{16}$ дюйма (17,463 мм) при травлении обнаружены трооститные и мягкие пятна глубиной до 0,1 мм, что не превышало величины допуска на последующую механическую обработку.

В целом шарики всех типоразмеров после термической обработки имели твердость 62,5 – 66 HRC₃ и микроструктуру, соответствующие техническим требованиям.

Значительный интерес представляют результаты опытно-промышленного опробования закалки деталей в УЗСП-1 непосредственно от температуры нитроцементации. Нитроцементации подвергали партии различных кольцеобразных деталей сепараторного типа (кольца, шайбы и т.п.) толщиной 0,3 – 0,5 мм из стали 08кп. Нитроцементацию и последующую закалку проводили в печи типа “Пекат 1,3” с объемом закалочного бака 4 м³. В качестве закалочной среды использовали 3 %-ный раствор УЗСП-1. В печах данного типа закалочный бак располагается в загрузочно-разгрузочной камере под уровнем механизма загрузки деталей в печь. Загрузка деталей в печь и далее — в закалочный бак осуществляется на поддоне. Погружение поддона в закалочный бак в случае использования масла может привести к пожароопасной ситуации, что неоднократно происходило на практике. Замена масла на УЗСП-1 позволяет полностью исключить возможность возникновения пожара.

Нитроцементацию деталей проводили по существующему режиму: выдержка в камере насыщения при 830 ± 10 °С в течение от 10 до 80 мин в зависимости от типа детали. Последующую закалку деталей с поддоном осуществляли в УЗСП-1 с температурой от 40 до 70 °С. Толщина закаленного нитроцементованного слоя на обработанных деталях различных партий соответствовала требованиям технической документации.

Отрицательного влияния паров воды, образующихся над зеркалом закалочного бака в форкамере, на состав активной атмосферы в печи не обнаружено. Во избежание потемнения деталей необходимо не допускать подсоса воздуха в форкамеру перед погружением горячих деталей в закалочную среду. Нитроцементованные детали, прошедшие закалку в УЗСП-1, следует промыть в горячем содовом растворе, просушить и

смазать маслом методом погружения, что позволяет избежать коррозии при длительном хранении. Аналогичную антикоррозионную обработку целесообразно проводить для любых деталей, прошедших закалку в полимерных средах, если предполагается достаточно длительное хранение деталей, особенно в помещениях с нерегламентированной влажностью.

Отклонений по овальности и плоскостности обработанных деталей после нитроцементации, закалки и отпуска не наблюдали. Качество деталей соответствовало техническим требованиям.

Полученные результаты подтверждают многолетний опыт работы Кировского завода по возможности использования водополимерных сред для закалки деталей на агрегатах химико-термической обработки.

Еще одной областью применения среды УЗСП-1 явилось ее использование для закалки крупногабаритных колец подшипников различных типов после индукционного нагрева. Потребность внедрения УЗСП-1 возникла в связи с прекращением поставки с Грозненского нефтеперерабатывающего завода ранее используемой для этой цели масляной смазочно-охлаждающей жидкости на основе петралатума.

Индукционный нагрев под закалку колец диаметром от 0,5 до 2 м осуществляется на установках ЗИУ конструкции ГПЗ-1. Охлаждающее устройство конструктивно выполнено в одном узле с индукционным нагревателем. При вращении кольца сначала осуществляется индукционный нагрев беговой (рабочей) дорожки кольца, а затем непрерывно-последовательно подается охлаждающая жидкость. Вращение кольца, нагрев и закалка происходят непрерывно.

Для изготовления колец используют сталь 50ХФА, а в качестве заменителя — сталь 5ХНМ. Заготовки перед закалкой подвергают термическому улучшению.

Обработанные за весь период кольца по качеству беговой дорожки — твердости, толщине и микроструктуре закаленного слоя полностью соответствовали предъявляемым техническим требованиям. Отклонений по геометрическим размерам, вызванных применением УЗСП-1, не наблюдается.

Выводы. 1. Установлена возможность применения полимерной закалочной среды УЗСП-1 для закалки широкого круга деталей подшипников.

2. Водные растворы УЗСП-1 с концентрацией 7 % могут быть использованы для закалки колец и роликов подшипников из высокоуглеродистых сталей типа ШХ15, однако следует осуществлять тщательный подбор номенклатуры деталей, режимов и условий их термической обработки.

3. Растворы УЗСП-1 с концентрацией порядка 1 % могут быть использованы для закалки шариков средних размеров.

4. Растворы УЗСП-1 с концентрацией 3 % эффективны для закалки с индукционного нагрева крупногабаритных колец из сталей 50ХФА и 5ХНМ, а также тонких деталей из стали 08кп после нитроцементации.

5. Применение растворов УЗСП-1 различной концентрации не вызывает увеличения деформаций деталей, изготовленных из ряда шарикоподшипниковых сталей, по сравнению с закалкой в масле.

Список литературы

1. Русов К. Д., Едемский С. Г. Новая полимерная закалочная среда УЗСП-1 // МиТОМ. 1986. № 10. С. 29 – 31.
2. Горюшин В. В. Свойства улучшаемых сталей после закалки в водных растворах УЗСП-1 // МиТОМ. 1989. № 5. С. 2 – 6.
3. Горюшин В. В. О применении синтетических закалочных сред в промышленности // МиТОМ. 1991. № 4. С. 10 – 14.
4. Горюшин В. В. Влияние вязкости полимерной закалочной среды на ее закаливающую способность // МиТОМ. 1995. № 3. С. 28 – 30.
5. Сосновский П. В. Применение нетрадиционных охлаждающих сред в термообработке // Машиностроитель. 1996. № 11. С. 40 – 42.
6. Горюшин В. В., Истомин Н. Н., Ксенофонтов А. Г. и др. Исследование закалки шарикоподшипниковых сталей в полимерной среде УЗСП-1 / Тезисы докладов 3-го собрания металлургов России. Рязань. 1996. С. 59 – 60.
7. Божко Г. Т., Банных О. А., Кобаско Н. И. Сравнительная оценка эффективности закалочных сред на водной основе // МиТОМ. 1986. № 10. С. 21 – 25.
8. Горюшин В. В., Ксенофонтов А. Г., Шевченко С. Ю. Исследование кинетики охлаждения подшипниковой стали в полимерной закалочной среде УЗСП-1 // МиТОМ. 1997. № 7. С. 14 – 17.

УДК 621.78.06

А. А. БЕЛАНОВ, А. П. КУТЬЕВ, Н. С. МИРЗАБЕКОВА, А. Г. КСЕНОФОНТОВ, С. Ю. ШЕВЧЕНКО

МГТУ им. Н. Э. Баумана, ГосНИИОХТ, г. Москва,
ЗАО "Прокам", г. Нижнекамск

Исследование полимерной закалочной среды ЗАК-ПГ

В работе исследованы охлаждающие свойства новой пожаробезопасной полимерной закалочной среды ЗАК-ПГ с обратимой растворимостью на основе полимера ПГ-40. Разработанная среда позволяет получить широкую гамму режимов охлаждения при изменении содержания полимера в растворе. Подобран состав среды, при котором содержание полимера в растворе не изменяется в процессе эксплуатации.

Минеральное масло, широко применяемое на заводах для закалки, наряду с хорошими охлаждающими свойствами имеет ряд недостатков, в первую очередь — пожароопасность.

В связи с этим остается актуальным поиск закалочных сред, которые по скорости охлаждения занимают промежуточное положение между холодной водой и маслом. В нашей стране и за рубежом эту проблему решают путем внедрения в производство полимерных закалочных сред. Особый интерес представляют полимеры с обратимой растворимостью*. Принципиальная особенность таких полимеров — их осаждение на нагретой детали в начальный момент охлаждения в виде пленки с последующим ее растворением при снижении температуры до определенного значения (так называемой температуры инверсии). Варьируя соотношение воды и полимера, можно изменять вязкость раствора и его охлаждающие свойства.

Исследовали новую закалочную среду ЗАК-ПГ на основе полимера ПГ-40 (сополимер оксида этилена и

оксида пропилена). Эта среда относится к классу сред с обратимой растворимостью (температура инверсии около 72 °С).

Исследование проводили с помощью датчика Вольфсона из сплава Инконель-600 в соответствии со стандартом ISO 9950. Датчик нагревали до 850 °С и переносили в течение 1,5–2 с в раствор полимера. Были приготовлены растворы с различной вязкостью, в каждом из них проводили по 10 закалок датчика. До и после испытаний измеряли вязкость растворов.

На рис. 1 представлены кривые охлаждения датчика в исследованных растворах (средние по результатам 10 испытаний датчика), а на рис. 2 — зависимости скоростей охлаждения датчика от температуры. Видно, что изменением вязкости раствора можно получать различные режимы охлаждения. Так, для закалочной среды с вязкостью $15 \cdot 10^{-6}$ м²/с характерна такая же кривая охлаждения, как у масла. При этом скорость охлаждения ($v_{\text{охл}} \approx 50$ °/с) практически не изменяется в широком интервале температур перлитного превращения, в отличие от масла, которое имеет $v_{\text{охл}} = 15; 45$ и 25 °С при 600, 500 и 400 °С соответственно. В мартенситном интервале температур скорость охлаждения в

* Цукров С. Л., Комов В. И., Мирзабекова Н. С. Водополимерная закалочная среда Лапрол-3С // МиТОМ. 1993. № 4. С. 5 – 7.