

УДК 621.78.06

## Новая полимерная закалочная среда Акресол

В. В. ГОРЮШИН<sup>1</sup>, С. Ю. ШЕВЧЕНКО<sup>1</sup>, А. Г. ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ<sup>2</sup>, В. Н. ЦУРКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Москва,

<sup>2</sup> ОАО "Полимероргсинтез", г. С.-Петербург,

<sup>3</sup> РУДН им. Патриса Лумумбы, г. Москва

*Изучена охлаждающая способность водных растворов полимерных композиций на основе поликарбонновых кислот и сополимеров N-виниламидов. Проведены испытания новой закалочной среды на основе интерполимерных комплексов анионоактивных компонентов, а также оценка технологических возможностей и воспроизводимости свойств различных партий синтеза этой среды.*

### ВВЕДЕНИЕ

Водные растворы полимеров обладают рядом преимуществ перед традиционными минеральными маслами — они пожаробезопасны, безвредны для окружающей среды и здоровья людей. Охлаждающую способность полимерных сред можно регулировать, изменяя концентрацию полимера в растворе. Закалочные среды на основе полиакрилатов наиболее близки по охлаждающим свойствам к закалочным маслам [1, 2].

В качестве сырья для изготовления закалочных сред могут использоваться полимерные продукты, выпускаемые отечественной промышленностью. В настоящее время в России выпускается широкий ассортимент различных видов полимерных материалов, включающих полимерные дисперсии, эмульсии и растворы на основе непереломных карбоновых кислот и N-виниламидов. Наличие сырьевой базы позволяет создавать новые эффективные закалочные среды, удовлетворяющие потребностям заказчика как по количеству, так и по качеству. Цель настоящей работы — оценка возможности применения различных полимеров в качестве закалочных сред, а также технологических качеств новой закалочной среды на основе интерполимерного комплекса.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для сравнительных испытаний разработчиком были предоставлены образцы концентрированных водных растворов полимерных композиций разного состава и образец новой закалочной среды на основе интерполимерного комплекса. Были испытаны следующие составы:

- 1) на основе низкомолекулярных сополимеров поликарбонновых кислот (НСП);
- 2) на основе высокомолекулярных сополимеров поликарбонновых кислот (ВСП);

3) на основе низкомолекулярных сополимеров N-виниламидов (НСВ);

4) на основе высокомолекулярных сополимеров N-виниламидов (ВСВ);

5) опытно-промышленный образец закалочной среды на основе интерполимерного комплекса (ЗС).

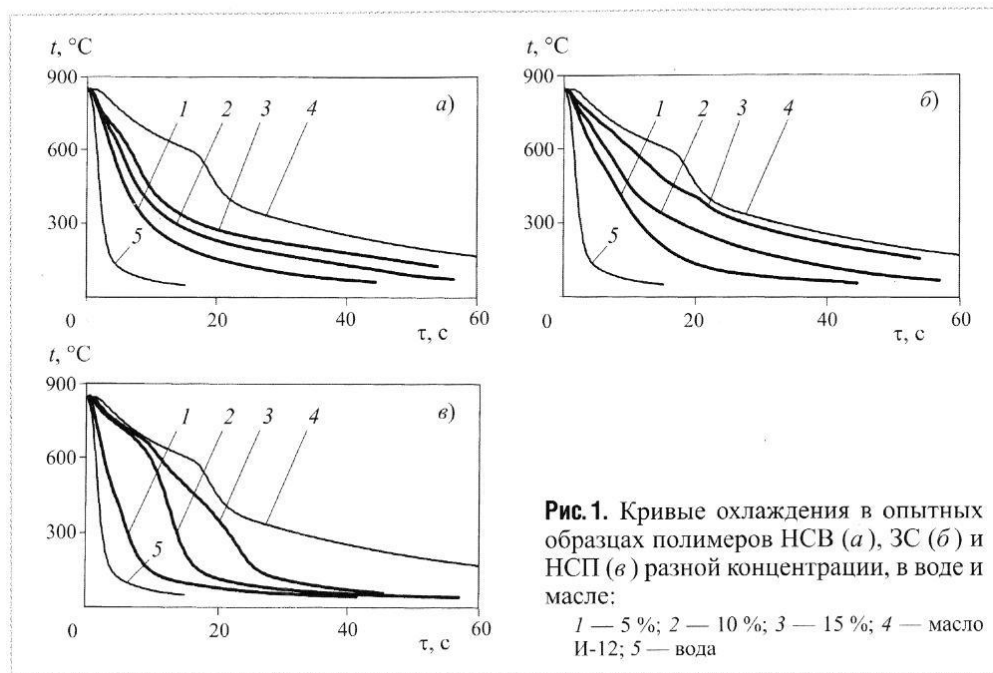
Из этих концентратов готовили 5-, 10- и 15%-ные водные растворы и исследовали их охлаждающую способность. Исследования проводили по методике стандарта ISO 9950 [3] с использованием цилиндрического датчика из сплава X20N80 диаметром 12,5 и длиной 60 мм с термопарой в геометрическом центре. Эксперименты осуществляли на установке [4] в Лаборатории проблем закалки кафедры "Материаловедение" МГТУ им. Н. Э. Баумана\*. Датчик нагревали до 850 °С в течение 10 мин, затем быстро переносили в закалочный бак вместимостью 2 л с исследуемой закалочной средой. Кривые охлаждения регистрировали с помощью компьютера, к которому через аналого-цифровой преобразователь подключали провод термопары датчика.

По кривым охлаждения определяли следующие числовые параметры: максимальную скорость охлаждения  $v_{\max}$ ; температуру достижения этого максимума  $t_{\max}$ ; скорость охлаждения при 300 °С  $v_{300}$ ; время охлаждения до 600, 400 и 200 °С ( $\tau_{600}$ ,  $\tau_{400}$ ,  $\tau_{200}$ ).

Сравнение указанных параметров проводили по T-критерию [5].

Деформации при закалке оценивали на кольцах с прорезью из стали 40X. Наружный диаметр колец составлял 55 мм, толщина 7 мм, ширина прорези 3 мм. Кольца подвергали закалке от 840 °С в масле И-12 и в 15%-ном растворе Акресол и последующему отпуску при 180 °С в течение 3 ч. Измеряли наружный диаметр и ширину прорези до и после тер-

\* В работе принимали участие Е. В. Галактионова и А. А. Попов.



**Рис. 1.** Кривые охлаждения в опытных образцах полимеров НСВ (а), ЗС (б) и НСП (в) разной концентрации, в воде и масле:

1 — 5 %; 2 — 10 %; 3 — 15 %; 4 — масло И-12; 5 — вода

мической обработки на инструментальном микроскопе УИМ-21.

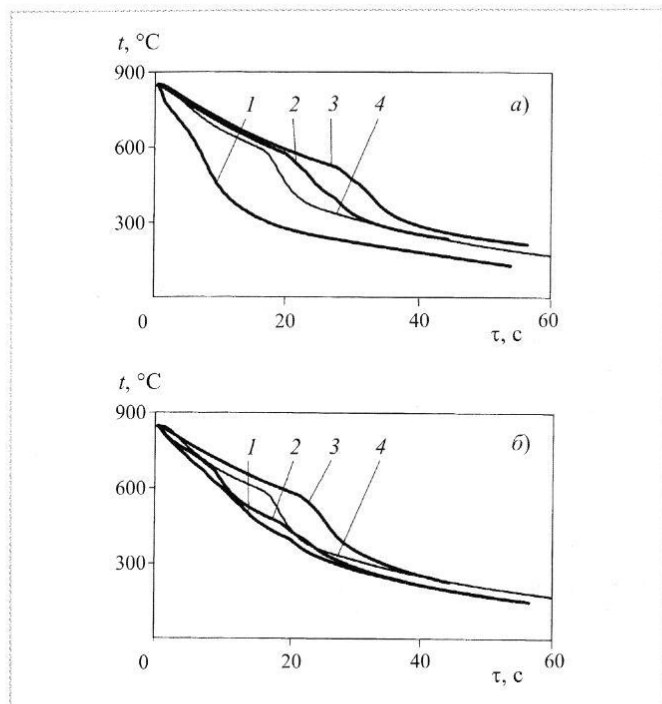
Равномерность охлаждения поверхности при закалке оценивали на пластинах диаметром 48 и толщиной 8 мм из стали 40Х. Пластины нагревали до 840 °С и закачивали в масле И-12 и в 15%-ном растворе Акресол. Затем поверхность пластин зачищали и на каждой стороне проводили по 50 замеров твердости на твердомере Роквелла (ГОСТ 9013–59).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследовали влияние концентрации на охлаждающую способность опытных растворов закалочных сред на основе полимерных композиций. На рис. 1 приведены кривые охлаждения датчика в 5-, 10- и 15%-ных растворах НСВ (а), ЗС (б) и НСП (в), а также кривые охлаждения в воде и масле И-12. Для замены закалочного масла наилучшим является 15%-ный раствор на основе интерполимерного комплекса (ЗС), так как кривая охлаждения в этом растворе наиболее близка к кривой охлаждения в масле И-12 (рис. 1, б). В мартенситном интервале температур скорости охлаждения в 10- и 15%-ных растворах этой среды невелики и сопоставимы со скоростями охлаждения в закалочном масле (7–12 °С/с).

Раствор на основе НСП является неудачным, так как он обладает слишком высокими скоростями охлаждения в мартенситном интервале температур (рис. 1, в).

Исследовали влияние температуры на охлаждающую способность 15%-ных опытных растворов состава НСВ и ЗС (рис. 2). Нагрев до 60 °С приводит к



**Рис. 2.** Кривые охлаждения в 15%-ных растворах опытных образцов полимеров НСВ (а) и ЗС (б), нагретых до различных температур, и в масле:

1 — 20 °С; 2 — 40 °С; 3 — 60 °С; 4 — масло И-12 с температурой 20 °С

сильному смещению кривой охлаждения раствора НСВ вправо (рис. 2, а, кривая 3), что свидетельствует о снижении охлаждающей способности среды. Например, время охлаждения до температуры 400 °С увеличивается в 2 раза. Это означает, что при неизбежном в процессе эксплуатации нагреве закалочной

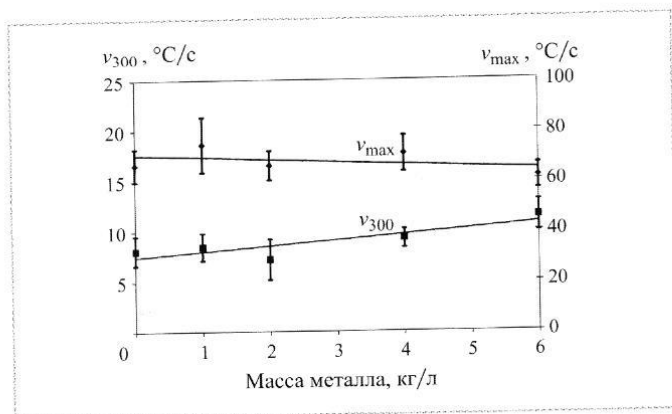


Рис. 3. Влияние массы закаленного металла на скорости охлаждения ( $v_{max}$  и  $v_{300}$ ) в 15%-ном растворе Акресол

среды прокаливаемость деталей будет резко снижаться. В значительно меньшей степени нагрев влияет на охлаждающую способность раствора ЗС (рис. 2, б). На нем и был остановлен выбор для проведения дальнейших исследований.

Исследовали эксплуатационную стойкость новой закалочной среды на основе интерполимерного комплекса (ЗС), которая получила название Акресол. В 15%-ном растворе закалывали стальные цилиндры, нагретые до 850 °С. На рис. 3 приведены зависимости  $v_{max}$  и  $v_{300}$  от массы закаленного металла, приходящейся на 1 л раствора. Скорости охлаждения практически не изменяются, что указывает на устойчивость полимера к термической деструкции.

Для промышленного применения полимерной закалочной среды крайне важной является способность предприятия-изготовителя производить концентрат среды с постоянными физико-химическими свойствами, воспроизводимыми от партии к партии. Лишь в этом случае будет обеспечено постоянство охлаждающей способности среды. Разработчиком было предоставлено четыре пробы концентрата закалочной среды Акресол, отобранные от разных партий. Из каждого концентрата готовили 15%-ный рас-

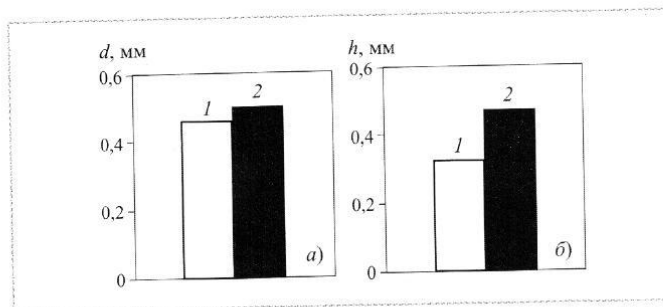


Рис. 4. Изменение диаметра  $d$  (а) и ширины прорези  $h$  (б) колец из стали 40X, закаленных в разных средах: 1 — в 15%-ном растворе Акресол; 2 — в масле И-12

твор, регистрировали по 10 кривых охлаждения, по которым рассчитывали числовые параметры, регламентируемые стандартом ISO 9950. Различие между партиями оценивали путем сравнения средних значений этих параметров по  $T$ -критерию. Результаты расчетов приведены в таблице. Значимо различающихся параметров у разных партий немного, и в целом партии среды можно считать различающимися несущественно.

Сравнение величины деформаций, возникающих при закалке, показало, что изменение ширины прорези и диаметра колец после закалки в 15%-ном растворе Акресол несколько меньше, чем после закалки в масле (рис. 4). Микроструктуры колец, закаленных в масле и в Акресол, идентичны.

Распределение твердости по поверхности образцов, закаленных в 15%-ном растворе Акресол и масле, показано на рис. 5. Средняя твердость и разброс значений твердости статистически различаются незначимо: после закалки в Акресол  $HRC = 52,2 \pm 0,4$ ; дисперсия твердости  $s^2 = 2,82$ ; после закалки в масле  $HRC = 51,5 \pm 0,4$ ; дисперсия твердости  $s^2 = 3,31$ .

В настоящее время проводится опытно-промышленное опробование новой полимерной закалочной среды Акресол.

Таблица. Параметры кривых охлаждения в растворах разных партий

Параметр	Партия 1	Партия 2	Партия 3	Партия 4	Сравнение партий 1-2		Сравнение партий 1-3		Сравнение партий 1-4		Сравнение партий 2-3		Сравнение партий 2-4		Сравнение партий 3-4	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_1 - X_2$	$T_{1-2}$	$X_1 - X_3$	$T_{1-3}$	$X_1 - X_4$	$T_{1-4}$	$X_2 - X_3$	$T_{2-3}$	$X_2 - X_4$	$T_{2-4}$	$X_3 - X_4$	$T_{3-4}$
$v_{max}$ , °C/c	87,11	66,40	68,30	65,80	20,71	8,16	18,81	8,88	21,31	7,79	1,90	7,50	0,60	6,16	2,50	7,09
$t_{max}$ , °C	649,33	644,10	691,50	630,50	5,23	54,87	42,17	80,03	18,83	41,65	47,40	90,86	13,60	59,88	61,00	83,54
$v_{300}$ , °C/c	9,02	9,38	9,42	8,54	0,36	1,62	0,40	1,26	0,48	1,13	0,04	1,87	0,84	1,79	0,88	1,46
$\tau_{600}$ , с	11,05	10,43	10,36	11,97	0,63	1,91	0,69	2,17	0,92	2,28	0,07	1,40	1,55	1,55	1,61	1,87
$\tau_{400}$ , с	16,61	16,76	16,59	18,87	0,14	2,25	0,03	2,37	2,26	2,70	0,17	1,72	2,12	2,15	2,29	2,27
$\tau_{200}$ , с	39,41	39,13	39,98	43,51	0,28	3,35	0,58	3,07	4,10	3,15	0,85	3,18	4,38	3,26	3,53	2,97

Примечание: если  $X_i - X_j < T_{i-j}$ , то различие между  $X_i$  и  $X_j$  считается незначимым.

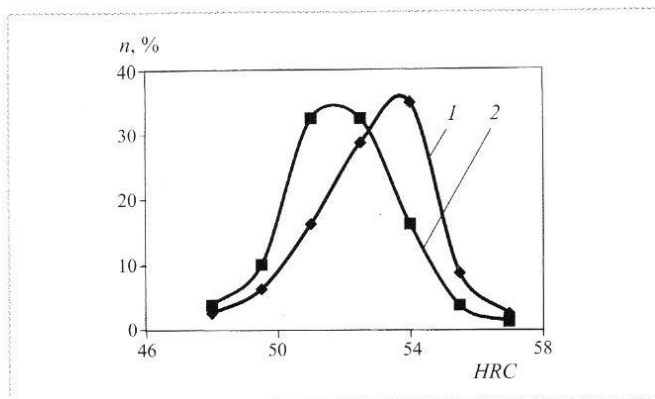


Рис. 5. Частотные кривые распределения твердости по поверхности пластин из стали 40X, закаленных в разных средах ( $n$  — частота случаев):

1 — в 15%-ном растворе Акресол; 2 — в масле И-12

### ВЫВОДЫ

1. Раствор на основе интерполимерного комплекса (Акресол) с концентрациями 10–15 % может быть использован в качестве закалочной среды взамен минерального масла.

2. При закалке большой массы металла (до 6 кг на 1 л закалочной среды) скорости охлаждения (максимальная и при 300 °С) в 15%-ном растворе Акресол изменяются незначительно.

3. Деформации стали при закалке в среде Акресол несколько меньше деформаций при закалке в масле. Равномерность охлаждения поверхности при закалке в среде Акресол и закалочном масле практически одинакова.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Закалочная среда Акресол рекомендуется для закалки широкого круга деталей из различных марок сталей, в том числе в качестве заменителя закалочного масла.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюшин В. В., Арифметчиков В. Ф., Цветков А. К. и др. Закалочная среда ПК-2 // МиТОМ. 1986. № 10. С. 9–13.
2. Горюшин В. В. Свойства улучшаемых сталей после закалки в водных растворах УЗСП-1 // МиТОМ. 1989. № 5. С. 5–7.
3. ISO 9950:1995(E). Industrial quenching oils — Determination of cooling characteristics — Nickel-alloy probe test method. Geneva: International Organization for Standardization, 1995. 9 p.
4. Ксеофонтов А. Г., Прусаков Б. А., Шевченко С. Ю. Разработка портативной установки для определения охлаждающей способности закалочных сред // МиТОМ. 2001. № 11. С. 39–40.
5. Пустыльник Е. Л. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М.: Наука. 1968. С. 138–146.

## Патенты на изобретения. Металлические материалы

Пат. 2288965 РФ, МПК C22C 21/10. Материал на основе алюминия / Белов Н. А., Золоторевский В. С., Чеверкин В. В.; МИСиС (ТУ); заявл. 29.06.2005; опубл. 10.12.2006 // Бюл. 2006. № 34 (1 ч.). С.233–234.

1. Материал на основе алюминия, содержащий цинк, магний, никель, железо и кремний, отличающийся тем, что он дополнительно содержит цирконий и скандий при следующем соотношении компонентов, % (масс.): 6–8 Zn; 2,5–3,5 Mg; 0,6–1,4 Ni; 0,4–1 Fe; 0,02–0,2 Si; 0,1–0,3 Zr; 0,05–0,3 Sc, остальное — Al. При этом температура равновесного солидуса материала составляет не менее 540 °С, а твердость материала — не менее 200 HV.

2–4. Материал по п. 1, отличающийся тем, что он получен в виде отливки, обладающей следующими свойствами на растяжение: временное сопротивление  $\sigma_B \geq 600$  МПа, предел текучести  $\sigma_{0,2} \geq 560$  МПа, относительное удлинение  $\delta \geq 3\%$ , или катаного листа с  $\sigma_B \geq 640$  МПа,  $\sigma_{0,2} \geq 600$  МПа,  $\delta \geq 4\%$ , или прессованного прутка с  $\sigma_B \geq 680$  МПа,  $\sigma_{0,2} \geq 640$  МПа,  $\delta \geq 5\%$ .

Пат. 2288966 РФ, МПК C22C 38/48. Коррозионно-стойкая сталь и изделие, выполненное из нее / Каблов Е. Н., Шалькевич А. Б., Вознесенская Н. М. и др.; ФГУП

“ВИАМ”; заявл. 01.04.2005; опубл. 10.12.2006 // Бюл. 2006. № 34 (1 ч.). С. 234.

1. Коррозионно-стойкая сталь, содержащая железо, углерод, хром, никель, молибден, алюминий, ниобий, церий, лантан, отличающаяся тем, что она дополнительно содержит кремний и кальций при следующем соотношении компонентов, % (масс.): 0,005–0,03 C; 8,5–11 Cr; 10–16 Ni; 1,5–2,5 Mo; 0,1–1,2 Al; 0,2–1,3 Si; 0,005–0,05 Ca; 0,1–0,3 Nb; 0,005–0,1 Ce; 0,003–0,05 La; остальное — Fe.

2–3. Коррозионно-стойкая сталь по п. 1, отличающаяся тем, что содержание компонентов, определяющих содержание аустенита в стали, удовлетворяет следующему соотношению:

$$K_M = Cr + 0,6Mo + 1,5Ni + 0,75Si + 56C - 0,1Al = 31 \div 32$$

или

$$K_M = Cr + 0,6Mo + 1,2Ni + 0,75Si + 56C - 0,1Al = 29 \div 31,$$

где  $K_M$  — коэффициент мартенситообразования.

4. Изделие из коррозионно-стойкой стали, отличающееся тем, что оно выполнено из стали по любому из пп. 1–3.