

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук,  
доцента **Дряхлова Владислава Олеговича**  
на диссертационную работу **Рязановой Анастасии Юрьевны**  
на тему: **«Разработка и коллоидно-химические свойства  
полиметилсилоксановой эмульсии для закалки стали»**,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по научной специальности 1.4.10. Коллоидная химия

### **Для отзыва были представлены:**

- диссертационная работа, состоящая из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, содержащего 135 наименования, 6 приложений; объем работы 153 страницы с 15 таблицами и 34 рисунками;
- автореферат диссертации на 20 страниц.

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В диссертационной работе обоснована актуальность создания водной эмульсии на основе полиметилсилоксанового масла для использования в качестве закалочной среды при термической обработке улучшаемых сталей. В современной практике металлообрабатывающего производства остаются нерешёнными проблемы, связанные с применением традиционных закалочных сред – воды и масла: высокая скорость охлаждения и дефектообразование у первой, пожароопасность и токсичность у второго. Перспективным направлением в области закалочных сред является применение прямых эмульсий типа «масло в воде». Малоизученность использования эмульсионных составов ПМС в качестве закалочной среды подтверждается отсутствием информации по влиянию разбавления и изменению температур в процессе закалки на свойства дисперсной системы – следовательно, тема диссертации актуальна и имеет высокую научную и прикладную значимость. Дополнительным аргументом является потребность в отечественных решениях (задача импортозамещения). В связи с чем, коллоидно-химическое обоснование получения агрегативно- и седиментационно устойчивых водных эмульсий полиметилсилоксановых масел при реализации высокоскоростного эмульгирования методом инверсии фаз является актуальной научной задачей

### **Общая характеристика работы**

**Во введении** соискателем обоснована актуальность темы диссертационной работы, определена степень разработанности данной темы, сформулированы цель и задачи работы, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, методология, методы и объекты исследования, определены положения, выносимые на защиту, показана достоверность результатов исследований, опытно-промышленная апробация результатов исследований.

**В первой главе** приведён обзор развития закалочных сред, обсуждены ключевые механизмы стабилизации эмульсий, а также особенности действия полимерных закалочных сред при термической обработке стали. Обоснован выбор полиметилсилоксанового масла, как дисперсной фазы, обладающей термостойкостью, гидрофобностью и химической инертностью, и поливинилового спирта.

**Во второй главе** подробно описаны объекты исследования: полиметилсилоксановое масло марок ПМС-100, ПМС-200, ПМС-300 (различающиеся кинематической вязкостью), поливиниловый спирт марки SUNDY PVA 088-05, а также образцы промышленных закалочных сред (ПК-М, И-20А, техническая вода), эффективность разработанного

в рамках диссертационной работы состава была проверена на стали марки 40X. Перечислены методы, направленные на изучение объектов исследования: лазерное динамическое светорассеивание, определение  $\zeta$ -потенциала, ротационная вискозиметрия, центрифугирование, спектрофотометрический анализ, оценка охлаждающей способности по стандарту ISO 9950, определение твердости по Роквеллу, металлографический анализ.

**В третьей главе** проведена сравнительная оценка реологических характеристик эмульсий ПМС различной молекулярной массы. Установлена прямая корреляция между кинематической вязкостью ПМС масла и агрегативной устойчивостью его водных эмульсий, стабилизированных ПВС. Выявлен доминирующий механизм стабилизации исследуемых эмульсионных систем, обоснована роль поливинилового спирта в формировании структурно-механического барьера на поверхности капель дисперсной фазы. Разработан способ получения водной эмульсии полиметилсилоксанового масла высокоскоростным методом инверсии фаз.

**В четвертой главе** соискателем проведена оценка эффективности разработанной водной эмульсии полиметилсилоксанового масла в качестве закалочной среды для термической обработки улучшаемой стали. Автором изучена зависимость вязкости эмульсии от температуры как индикатор закалывающей способности. Исследована охлаждающая способность разработанного состава, установлены кинетические параметры теплоотвода в сравнении с традиционными закалочными средами – водой, индустриальным маслом и полимерным раствором. Показано, что разработанная эмульсия обеспечивает более мягкий и управляемый режим охлаждения стали. Проведен анализ физико-механических свойств и структурных особенностей стали марки 40X после закалки в разработанной эмульсии: определены твердость, предел прочности, предел текучести, относительное удлинение и относительное сужение, а также прокаливаемость и микроструктура материала. Предложена феноменологическая модель процессов, протекающих в системе «закалочная эмульсия полиметилсилоксанового масла – сталь», раскрывающая механизм регулирования теплоотвода в три стадии – пленочное кипение, пузырьковое кипение и конвективный теплообмен. Разработана технологическая схема производства закалочной водной эмульсии на основе полиметилсилоксана, приведено технико-экономическое обоснование ее эффективности.

**В заключении** представлены обобщенные выводы диссертационного исследования.

Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе**

Научные положения и практические рекомендации обоснованы использованием комплекса современных физико-химических и коллоидно-химических методов исследования, включая методы лазерного динамического светорассеивания, электрофоретические измерения ( $\zeta$ -потенциал), ротационную вискозиметрию, центрифугирование, спектрофотометрический анализ, оценку охлаждающей способности по стандарту ISO 9950, металлографический анализ, определение твердости по Роквеллу. Логика постановки и проведения экспериментов последовательна и методически обоснована. Полученные результаты воспроизводимы, взаимно согласованы между собой. Выводы о корреляции между вязкостью ПМС и агрегативной устойчивостью эмульсий, о стерическом механизме стабилизации и о влиянии разработанной эмульсии на физико-механические

свойства и структуру стали корректно выведены из экспериментальных данных и аргументированы теоретически, исходя из классических коллоидно-химических представлений (теория ДЛФО, уравнение Крамера).

### **Научная новизна диссертационной работы**

Новизна научных положений, выводов и рекомендации заключается в следующем:

Автором коллоидно-химически обоснована возможность формирования агрегативно-седиментационно устойчивых водных эмульсий полиметилсилоксановых масел в условиях высокоскоростного эмульгирования методом инверсии фаз. Доказано, что реализация предложенного термокинетического режима (подготовка водного раствора ПВС при  $\vartheta_1 = 1000\text{--}1200$  об/мин,  $t_1 = 10$  мин,  $t_1 = 55\text{--}60$  °С с последующим эмульгированием ПМС при  $\vartheta_2 = 10000$  об/мин,  $t_2 = 1$  ч,  $t_2 = 30$  °С и скорости введения эмульгатора  $\vartheta_3 = 50\text{--}100$  мл/ч) инициирует межфазные взаимодействия, обеспечивающие получение стабильных эмульсий с идентичной дисперсностью и выраженным максимумом размера капель  $\sim 570$  нм независимо от исходной вязкости дисперсной фазы.

Установлена прямая корреляция между кинематической вязкостью полиметилсилоксанового масла и агрегативной устойчивостью его водных эмульсий, стабилизированных поливиниловым спиртом. Выявлено, что данные зависимости подчиняются уравнению Крамера со степенью достоверности аппроксимации  $R^2 > 0,95$ , при этом постоянство коэффициента Хаггинса доказывает неизменность гидродинамических условий на границе раздела фаз. Экспериментально обосновано, что в интервале температур от +10 до +40 °С конформация макромолекул ПВС остается неизменной, что обеспечивает реологическую стабильность полимерной оболочки дисперсной фазы в производственных условиях применения закалочной среды.

Выявлен доминирующий механизм стабилизации исследуемых ПМС эмульсионных систем, заключающийся в формировании прочного структурно-механического барьера макромолекулами ПВС на поверхности капель дисперсной фазы. Стерический характер стабилизации разработанных эмульсий подтверждается низкими значениями электрокинетического потенциала (менее 10 мВ по модулю). Установлено, что сформированные адсорбционно-сольватные слои обеспечивают высокую агрегативно-седиментационную устойчивость системы, при этом композиция обладает оптимальными пространственно-стерическими характеристиками, что выражается в минимальной вариации размера капель в объеме.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено решение научной задачи по получению водной эмульсии на основе полиметилсилоксанового масла и поливинилового спирта в качестве высококачественной и управляемой закалочной среды при термической обработке улучшаемых сталей. Предложена феноменологическая модель процессов, протекающих в системе «закалочная эмульсия полиметилсилоксанового масла – сталь», раскрывающая механизм мягкого и управляемого режима охлаждения, базирующегося на формировании адсорбционных слоев, регулирующих теплоотвод в три стадии – пленочное кипение, пузырьковое кипение, конвекция.

Разработан состав и рецептурно-технологические параметры получения водных эмульсий полиметилсилоксанов высокоскоростным способом эмульгирования методом инверсии фаз, предназначенных для использования в качестве закалочной среды при термообработке стальных изделий и деталей. Данная технология позволяет получать агрегативно-седиментационно устойчивую однородную эмульсию с субмикронным размером капель, характеризующуюся низкой вязкостью 0,05–0,1 Па·с в широком диапазоне концентраций эмульсий 15–40 %.

Экспериментально доказано, что температурные условия и механические

нагрузки не приводят к разрушению стабилизированных эмульсионных капель. Система демонстрирует высокую устойчивость, предсказуемость реологических характеристик и сохранение структурной целостности в широком интервале концентраций ПМС масла.

Установлены значения, характеризующие эффективность водной эмульсии ПМС масла как закалочной среды, демонстрирующие кинетику охлаждения стали: скорость охлаждения в среде 15–24 °С/с; температура водополимерной среды при закаливании: начало 20 °С, конец 50 °С. Характеристики стали марки 40Х после закалки в разработанной эмульсии: структурные дефекты не обнаружены; прокаливаемость – 20 мм; микроструктура – игольчатый тростит и мартенсит; твердость стали – 44 HRC; относительное удлинение – 17 %; предел текучести – 585 Н/мм<sup>2</sup>; предел прочности – 910 Н/мм<sup>2</sup>; относительное сужение – 62 %.

**Достоверность результатов** подтверждается применением комплекса современных методов исследования, обеспечиваются проведением экспериментов в допустимых пределах точности, большим набором данных и воспроизводимостью результатов повторных измерений, строгостью и корректностью обработки результатов, промышленной апробацией, выпуском опытной партии.

Основные положения диссертационной работы обсуждались на международных и всероссийских конференциях и форумах. Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 12 научных публикациях, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий и международные реферативные базы данных и системы цитирования, рекомендованных ВАК РФ.

#### **Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы и автореферата**

При ознакомлении с материалами диссертации Рязановой Анастасии Юрьевны возникли следующие вопросы и замечания.

1. Оценивалась ли устойчивость разработанной ПМС-эмульсии к биоразложению при попадании в окружающую среду. Насколько длительным может быть хранение такой эмульсии.

2. В работе экспериментально обосновано, что конформация макромолекул ПВС остается неизменной в интервале температур от +10 до +40 °С. С другой стороны, в главе 4 указано, что температура закалочной среды в процессе эксплуатации достигает +50 °С. Исследовалось ли коллоидно-химическое поведение эмульсии и конформационное состояние ПВС при температурах выше +40 °С (вплоть до рабочих +50 °С) и ниже +10 °С?

3. В пункте 3.4. диссертации приведены технологические параметры получения водной эмульсии полиметилсилоксанового масла методом инверсии фаз. Каким образом установлены оптимальные параметры эмульгирования (скорость 10000 об/мин, время 1 час, температура 30 °С, скорость введения ПВС 50–100 мл/ч)? Проводилась ли оптимизация этих параметров и по каким критериям оценивалась их оптимальность?

4. На основании каких физико-химических критериев и экспериментальных данных (помимо лазерного динамического светорассеивания) Вами сделан вывод о высокой дисперсности и агрегативной стабильности разработанной системы? Чем обусловлено установленное в работе постоянство субмикронного размера капель (~570 нм) при существенном изменении кинематической вязкости дисперсной фазы в ряду ПМС-100 – ПМС-300?

Высказанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на высокую положительную оценку представленной диссертационной работы. Диссертация

написана автором самостоятельно, грамотным техническим языком, материал изложен в логической последовательности.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертация **Рязановой Анастасии Юрьевны** является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится **решение научной задачи** по получению водной эмульсии на основе полиметилсилоксанового масла и поливинилового спирта в качестве высококачественной и управляемой закалочной среды при закалке сталей, **имеющей значение для развития** соответствующей отрасли знаний – коллоидная химия.

Учитывая актуальность исследуемых вопросов, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа на тему **«Разработка и коллоидно-химические свойства полиметилсилоксановой эмульсии для закалки стали»** соответствует критериям пп. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции), предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор **Рязанова Анастасия Юрьевна**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 1.4.10. Коллоидная химия.

**Официальный оппонент:**

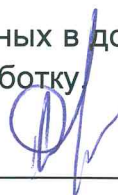
кандидат технических наук, доцент  
(специальность 03.02.08 – «Экология»),  
исполняющий обязанности заведующего кафедрой инженерной экологии ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»



Дряхлов Владислав Олегович

«24» июня 2026 г.

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку



Дряхлов Владислав Олегович

«24» июня 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Карла Маркса, 68

Тел.: 89063209809

E-mail: DryahlovVO@corp.knrtu.ru

Сайт: <https://www.kstu.ru>

