УДК 675.042
DOI 10.47367/0021-3497_2025_2_166

ПОВЫШЕНИЕ ОДНОРОДНОСТИ ЧАСТИЦ АКРИЛОВОЙ ЭМУЛЬСИИ ПОТОКОМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ИОНОВ

INCREASING THE HOMOGENEITY OF ACRYLIC EMULSION PARTICLES BY LOW-ENERGY IONS FLOW

И.И. ЛАТФУЛЛИН[1], Г.Р. РАХМАТУЛЛИНА[1], И.К. НЕКРАСОВ[2]

I.I. LATFULLIN[1], G.R. RAKHMATULLINA[1], I.K. NEKRASOV[2]

([1]Казанский национальный исследовательский технологический университет, [2]Казанский (Приволжский) федеральный университет)

([1]Kazan National Research Technological University, [2]Kazan (Volga Region) Federal University)

E-mail: lilatfullin@gmail.com

В работе проведено исследование влияния потока низкоэнергетических ионов, генерируемых в плазме высокочастотного емкостного разряда при пониженном давлении, на размер частиц акриловой эмульсии. Распределение размера частиц акриловой эмульсии оценивалось методом динамического светорассеяния. Модификация акриловой эмульсии потоком низкоэнергетических ионов проводилась при давлении в разрядной камере 41…55 Па, мощности емкостного разряда 300…850 Вт. Продолжительность модификации составила 10 минут. В качестве плазмообразующих газов испытаны аргон, атмосферный воздух, а также смесь пропана и бутана. Приведены зависимости распределения размеров частиц от мощности емкостного разряда. Оценивались показатели индекса полидисперсности и Z-среднего размера частиц акриловой эмульсии. Установлен оптимальный режим обработки акриловой эмульсии потоком низкоэнергетических ионов, при котором достигается наименьшее значение показателя индекса полидисперсности. Установлено, что распределение размеров частиц является мономодальным со значением моды, находящейся в диапазоне размеров частиц 122,4…141,8 нм. Описан вероятный механизм процесса полимеризации акриловой эмульсии под действием плазмы высокочастотного разряда. Установлено влияние вида плазмообразующего газа на размер частиц акриловой эмульсии.

The research the effect of low-energy ions flow generated in the plasma of radio-frequency capacitive discharge at low pressure on the particle size of acrylic emulsion was carried out in this work. The particle size distribution of acrylic emulsion was analyzed by dynamic light scattering method. Acrylic emulsion modification by low-energy ions flow was carried out at a discharge chamber pressure

of 41-55 Pa, capacitive discharge power of 300-850 W. The modification time interval was 10 minutes. Argon, atmospheric air, and a mixture of propane and butane were tested as plasma-forming gases. The characteristic curves of the particle size distribution on the capacitive discharge power are shown. The polydispersity index and Z-average particle size of the acrylic emulsion were determined. The optimum mode of acrylic emulsion modification by low-energy ions flow at which the smallest value of polydispersity index is achieved has been established. The particle size distribution was determined to be monomodal with a mode value located in the particle size range of 122.4-141.8 nm. The possible mechanism of the acrylic emulsion polymerization process by the action of radio-frequency discharge plasma is described. he effect of the plasma-forming gas type on the acrylic emulsion particle size is established.

Ключевые слова: акриловая эмульсия, поток низкоэнергетических ионов, метод динамического светорассеяния, распределение размера частиц.

Keywords: acrylic emulsion, low-energy ions flow, dynamic light scattering method, particle size distribution.

С целью повышения качества меховых материалов в настоящее время стали широко применяться полимеры. В производстве их используют для повышения прочностных показателей кожевой ткани, придания наполненности, мягкости, регулирования гидрофильно-гидрофобных и других свойств. Одними из востребованных полимерных соединений, позволяющих повышать качество мехового полуфабриката, являются акриловые полимеры.

Меховые материалы по своей структуре являются капиллярно-пористыми материалами. Изменение комплекса характеристик капиллярно-пористых материалов зависит от ряда факторов, ключевыми из которых являются диффузия полимерных соединений внутрь обрабатываемого материала, их равномерное распределение в объеме и закрепление на волокне. Для быстрой диффузии внутрь дермы и равномерного распределения в объеме кожевой ткани полимеры должны иметь невысокую молекулярную массу и, как следствие, небольшой размер частиц [1]. Регулирование размера частиц полимера позволяет повышать однородность его распределения. Соответственно, за счет изменения размеров частиц полимера и его однородности, позволяющего обеспечить равномерность наполнения кожевой ткани, следует ожидать улучшение свойств мехового полуфабриката. Известны работы [2…5], в которых для регулирования свойств полимеров применяется плазменная модификация.

Целью данной работы является повышение однородности распределения размеров частиц акриловой эмульсии путем ее модификации в потоке низкоэнергетических ионов, генерируемых в плазме высокочастотного емкостного разряда при пониженном давлении. Однородность распределения частиц акриловой эмульсии в свою очередь позволит повысить качество мехового полуфабриката.

Объектом исследования является акриловая эмульсия Drasil LP, представляющая собой водный раствор акриловой смолы, концентрацией 36±1 %. Drasil LP – жирующая анионная акриловая смола, применяемая в процессах додубливания.

Определение размеров дисперсной фазы раствора акриловой смолы проводили методом динамического светорассеяния на анализаторе размера частиц и дзета-потенциала серии «Zetasizer Nano ZS» (Malvern Instruments Ltd, Великобритания) с применением технологии M3-PALS. Анализатор оснащен He-Ne-лазером с мощностью 4 мВт и длиной волны 633 нм. Угол светорассеяния составлял 173°. Графическую интерпретацию результатов измерения получали с помощью программного обеспечения «DTS Application Software» компании Malvern Instruments. Ошибки измерений размера частиц составляют ±2 %.

Определение размера частиц методом динамического светорассеяния широко распространено [6…8] и позволяет оценивать распределение частиц по размерам, индекс полидисперсности (PDI), Z-средний размер частиц.

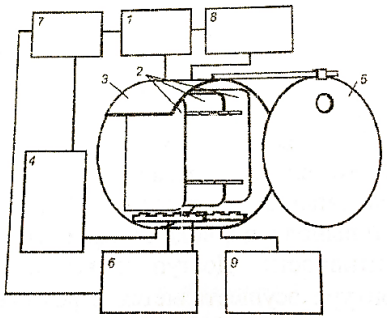


Рис. 1

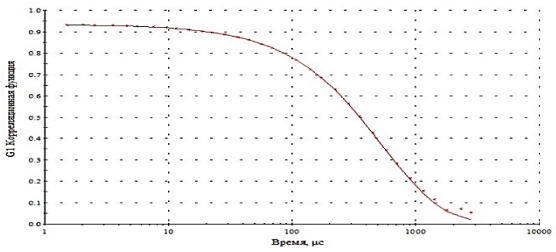
Обработку водного раствора акриловой смолы потоком низкоэнергетических ионов проводили в плазменной установке с частотой генератора 13,56 МГц. Основные узлы установки представлены на рис. 1 (1 – ВЧ-генератор; 2 – электроды; 3 – вакуумная камера; 4 – система откачки остаточного воздуха с вакуумными насосами; 5 – крышка вакуумной камеры; 6 – система подачи рабочего газа; 7 – система управления, обеспечивающая работу установки; 8 – система охлаждения; 9 – диагностический комплекс).

Известны работы [9…11], в которых обработка плазмой проводится непосредственно контактом электрода или плазмообразующего газа с обрабатываемой жидкостью. В данном исследовании раствор акриловой смолы размещали между электродами в герметичной емкости, заполненной плазмообразующим газом.

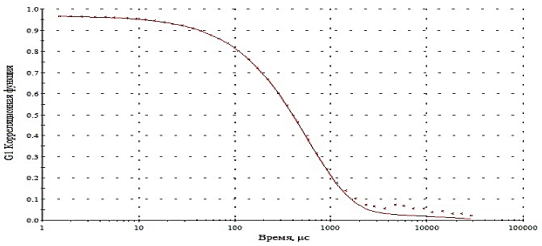
Модификацию акриловой эмульсии проводили в следующих режимах (табл. 1). Давление в разрядной камере p составляло от 41,0 до 55,0 Па; мощность емкостного разряда W_p варьировали в пределах 300…850 Вт; продолжительность модификации τ составляла 10 минут. В качестве плазмообразующего газа на данном этапе исследований выбран инертный газ – аргон, расход G_{Ar} которого составлял 0,04 г/с.

Таблица 1

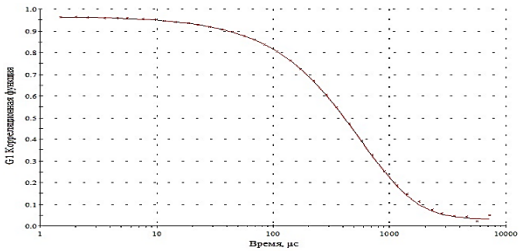
Режим обработки	W_p, Вт	τ, мин	G_{Ar}, г/с	p, Па
Режим 1	300	10	0,04	50,0
Режим 2	500	10	0,04	43,0
Режим 3	700	10	0,04	55,0
Режим 4	850	10	0,04	41,0



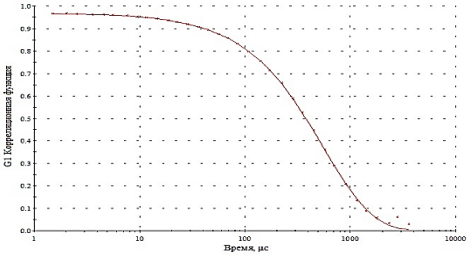
а)



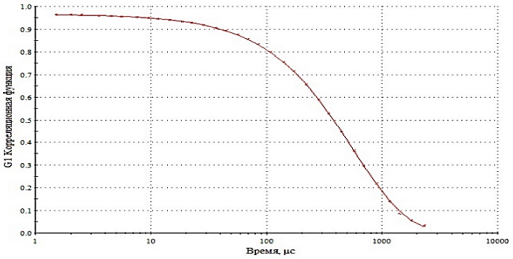
б)



в)



г)



д)

Рис. 2

При использовании метода динамического светорассеяния для анализа распределения частиц измеряется корреляционная функция, показывающая корреляцию значений интенсивности рассеянного света, измеренных через промежуток времени [12]. На рис. 2 представлены корреляционные функции измерений распределения частиц (а – контрольная эмульсия; б – эмульсия, обработанная при W_p = 300 Вт, p = 50 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; в – эмульсия, обработанная при W_p = 500 Вт, p = 43 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; г – эмульсия, обработанная при W_p = 700 Вт, p = 55 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; д – эмульсия, обработанная при W_p = 850 Вт, p = 41 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с).

Временная автокорреляционная функция интенсивности рассеяния определяет характерные масштабы промежутков времени, на которых движение рассеивающих центров скоррелировано, т. е. зависит от их положения в предыдущие моменты времени [13]. Спад экспоненты представленных корреляционных функций происходит в области, соответствующей большим характерным временам, что говорит о наличии в эмульсиях частиц с большим размером.

Таким образом, данные распределения частиц по размерам являются достоверными.

По результатам измерений распределения размеров частиц акриловых эмульсий получены гистограммы его зависимости от числа рассеивающих свет частиц (рис. 3: а – контрольная эмульсия; б – эмульсия, обработанная при W_p = 300 Вт, p = 50 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; в – эмульсия, обработанная при W_p = 500 Вт, p = 43 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; г – эмульсия, обработанная при W_p = 700 Вт, p = 55 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; д – эмульсия, обработанная при W_p = 850 Вт, p = 41 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с).

Как видно из представленных рисунков, все гистограммы распределения размеров частиц по их числу являются мономодальными со значением моды, находящейся в диапазоне размеров частиц 122,4…141,8 нм.

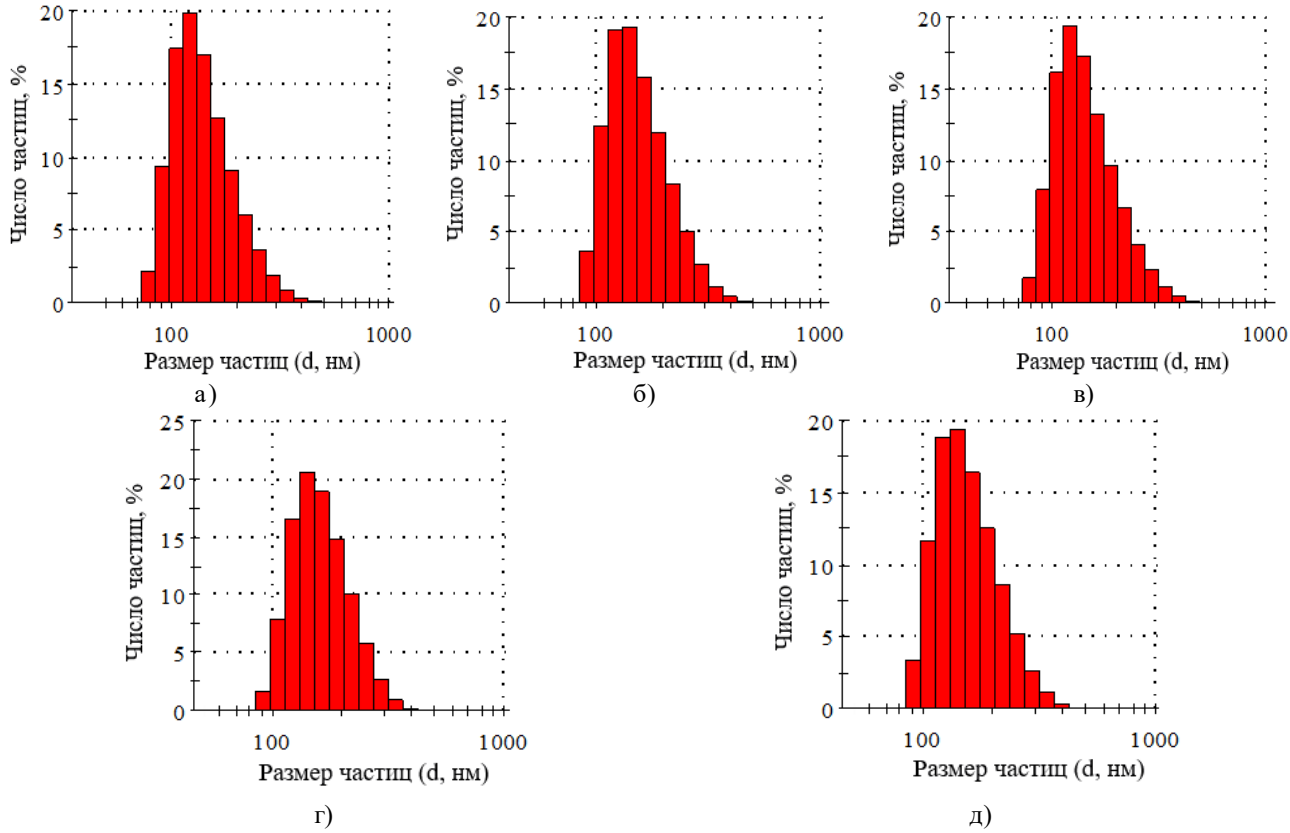


Рис. 3

На рис. 4 (а – контрольная эмульсия; б – эмульсия, обработанная при W_p = 300 Вт, p = 50 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} =0,04 г/с; в – эмульсия, обработанная при W_p = 500 Вт, p = 43 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; г – эмульсия, обработанная при W_p = 700 Вт, p = 55 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с; д – эмульсия, обработанная при W_p = 850 Вт, p = 41 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с) представлена зависимость распределения размеров частиц акриловой эмульсии от их количества.

Размер частиц в исследуемых акриловых смолах составляет от 78,82 нм до 458,7 нм. В экспериментальных образцах акриловой смолы, модифицированных плазмой ВЧЕ-разряда, отсутствуют частицы с размером 78,82 нм, но увеличивается доля частиц среднего размера. Так, после модификации акриловой смолы в режиме W_p = 700 Вт, p = 55 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с доля частиц с размером 141,8…295,3 нм увеличивается в среднем на 50,8 % по сравнению с исходной смолой. Доля частиц с размерами 91,28 нм и 105,7 нм сокращается на 82,8 % и 54,3 % соответственно.

При модификации акриловой смолы в режиме W_p = 850 Вт, p = 41 Па, τ = 10 мин, G_{Ar} = 0,04 г/с доля частиц с размером 141,8...295,3 нм увеличивается в среднем на 35 % по сравнению с исходной смолой, но в то же время не изменяется доля размеров частиц 396,1 нм и 458,7 нм. Доля частиц с размерами 91,28 нм и 105,7 нм сокращается на 65,6 % и 32,4 % соответственно.

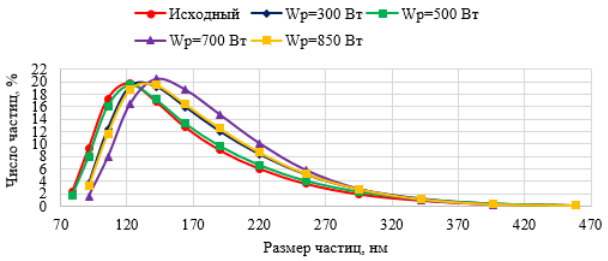


Рис. 4

Рис. 5

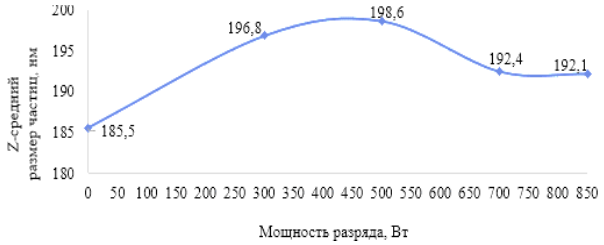


Рис. 6

Исследование влияния мощности высокочастотного емкостного разряда на размер частиц акриловой эмульсии оценивалось также по показателям индекса полидисперсности (PDI) и Z-среднему размеру частиц (рис. 5, 6). Индекс полидисперсности является соотношением стандартного отклонения к среднему размеру частиц. Низкое значение показателя PDI соответствует узкому распределению частиц по размерам, высокое значение PDI – широкому распределению с большим диапазоном размеров частиц. Так, при значении PDI, равном 0,1…0,3, исследуемая среда является монодисперсной, при значении PDI→1 – полидисперсной.

Наибольшее снижение индекса полидисперсности по сравнению с исходной акриловой смолой наблюдается при мощности разряда W_p = 700 Вт, и значение PDI составляет 0,049.

В результате воздействия потока низкоэнергетических ионов во всех опытных образцах акриловых эмульсий происходит увеличение Z-среднего размера частиц (рис. 6). Z-средний размер частиц исходной акриловой эмульсии составляет 185,5 нм. Наименьшее увеличение Z-среднего размера частиц по сравнению с исходной эмульсией на 3,6…3,7 % наблюдается при мощности разряда 700 Вт и 850 Вт: 192,4 нм и 192,1 нм соответственно.

Полученные результаты могут быть объяснены дополнительной полимериза-

цией, происходящей под действием потока низкоэнергетических ионов.

По литературным данным известно, что в результате воздействия плазмы происходят процессы полимеризации [14…26]. В работе [22] полимеризацию в плазме называют «атомной», она характеризуется значительной фрагментацией и (или) перераспределением структурных единиц или атомов в исходном соединении, а также одновременным протеканием реакций с участием частиц различной химической природы. Авторы исследований [21…26] выделяют несколько теорий механизмов плазменно-инициированной полимеризации, основными из которых являются ионный, радикальный механизмы и полирекомбинация. Известно, что для сложных виниловых эфиров, эфиров акриловой и метакриловой кислот применимы следующие механизмы полимеризации: свободно-радикальный, анионный, гетерогенный [22]. В работе [26] отмечается, что с энергетической точки зрения радикальный механизм полимеризации в плазме является предпочтительным, так как для образования радикала требуется меньшая энергия по сравнению с ионным механизмом. Дополнительным аргументом в пользу радикального механизма является тот факт, что концентрация (нейтральных) радикальных и атомарных частиц в плазме на порядок выше, чем ионов.

Первоначальным этапом полимеризации в плазме является инициирование, т. е. образование активных центров. Известно [27], что свободные радикалы могут образоваться при разрыве связи С–С в полимерных цепях в результате воздействия радиационных методов инициирования полимеризации, которые по своему механизму близки к модификации потоком низкоэнергетических ионов, формируемых из плазмы ВЧ-разряда пониженного давления с продувом газа. Также для образования радикала необходимо отщепить водород. Водород может быть оторван от полимерных цепей (Р) под действием частиц плазмы (электронов и ионов) и ультрафиолетового излучения: $PH + e^{-}/Ion/h\nu \rightarrow P\bullet + H\bullet$ [26]. Для виниловых мономеров известен процесс, в котором двойная связь раскрывается при столкновении с положительно заряженным ионом (I^{+}): $M\ (+I^{+}) \rightarrow R\bullet$. Однако важно отметить, что в результате этого процесса должен образоваться либо катион-радикал $M(+I^{+}) \rightarrow R^{+}\bullet + I$, либо бирадикал $M\ (+I^{+}) \rightarrow \rightarrow\bullet R\bullet + I^{+'}$.

Известно [24, 26], что образовавшиеся под действием плазмы радикалы могут вступить в конкурентную реакцию с кислородом, находящимся в растворе полимера, с образованием пероксидных радикалов: $R\bullet + \bullet O–O\bullet \rightarrow ROO\bullet$, которые также могут выступать инициаторами полимеризации [24].

В литературе отмечается широко признанная модель, основанная на электронном возбуждении молекул (М) или атомов газа-носителя (Х), для каждого подпроцесса:
– стадия инициирования $M \rightarrow M^{*}$ и $X \rightarrow X^{*}$;
– стадия передачи энергии $X^{*} + M \rightarrow X + M^{*}$;
– ионизация Пеннинга, если необходимо, этап инициирования $M^{*} \rightarrow M\bullet$;
– этап роста цепи $M\bullet + M \rightarrow MM\bullet$ или $M_n\bullet + M \rightarrow M_{n+1}\bullet$;
– рекомбинация радикалов $R_n\bullet + R_m\bullet \rightarrow P_{n+m}$.

В литературе известен термин «живущей» полимеризации [14, 15], в которой отсутствуют необратимые реакции обрыва и передач цепи. Согласно работе [14] выделяется ряд экспериментальных критериев «живущего» процесса полимеризации, одним из которых является унимодальное узкое молекулярно-массовое распределение синтезированного полимера.

Таким образом, увеличение размера частиц и уменьшение индекса полидисперсности акриловой смолы можно объяснить плазменно-инициированной полимеризацией, протекающей по радикальному механизму, предположительно путем отрыва атома водорода и расщепления связи С–С с последующей рекомбинацией образовавшихся радикалов.

Указанная гипотеза может быть подтверждена изменением полидисперсности модифицированных акриловых эмульсий. Синтетические полимеры представляют собой «набор» полимергомологов – макромолекул различной степени полимеризации [28]. Такое свойство характеризуется

полидисперсностью. На рис. 7 представлена зависимость полидисперсности акриловых эмульсий от мощности разряда.

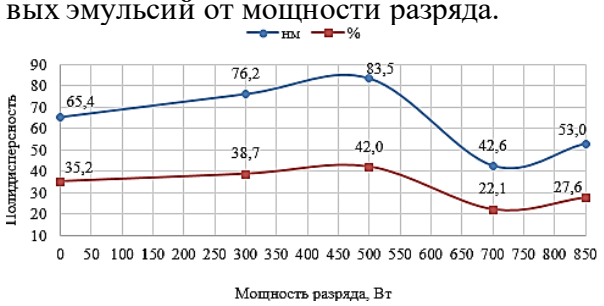


Рис. 7

Согласно представленным данным при мощности разряда 700 Вт полидисперсность акриловой эмульсии снижается на 37,2 % по сравнению с исходной эмульсией. В литературе [29] отмечается, что показатель полидисперсности является следствием разрушения или соединения макромолекул. Также происходит «перераспределение» длин макромолекул без изменения их количества [28]. Анализируя данные по изменению индекса полидисперсности, Z-среднего размера частиц, а также полидисперсности, можно сделать вывод о протекании плазменно-инициированной полимеризации акриловых эмульсий под действием потока низкоэнергетических ионов.

Дальнейшим этапом является исследование влияния реакционноспособных плазмообразующих газов – воздуха, а также смеси пропана и бутана – на размер частиц акриловой эмульсии. Обработку акриловой эмульсии проводили аналогично описанному ранее методу в следующих режимах (табл. 2).

На рис. 8 представлена зависимость распределения размеров частиц акриловой эмульсии от плазмообразующего газа.

Распределение размеров частиц в случае использования в качестве плазмообразующего газа смеси пропана и бутана полностью совпадает с кривой распределения исходной эмульсии. В случае применения в качестве плазмообразующего газа воздуха размер частиц акриловой эмульсии соответствует более узкому распределению по сравнению с распределением, где плазмообразующим газом является аргон.

Таблица 2

Режим обработки	Плазмообразующий газ	Расход плазмообразующего газа G, г/с	W_p, Вт	τ, мин	p, Па
Режим 5	Воздух	0,04	700	10	75,0
Режим 6	Пропан/бутан	0,01	700	10	51,0

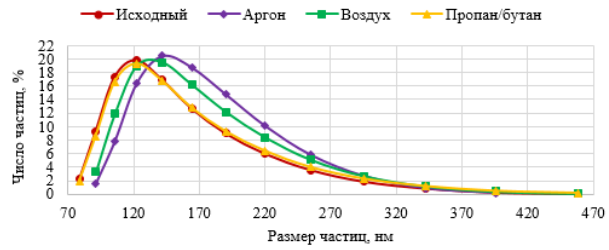


Рис. 8

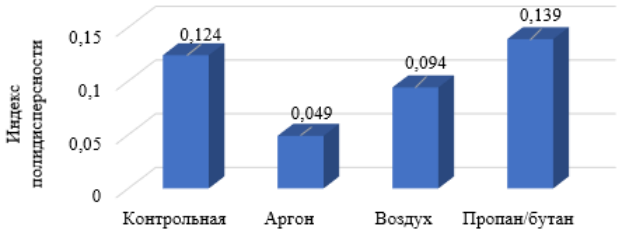


Рис. 9

Индексы полидисперсности акриловых эмульсий, обработанных в различных плазмообразующих газах, представлены на рис. 9.

При использовании в качестве плазмообразующего газа аргона достигается наименьшее значение индекса полидисперсности – 0,049.

Таким образом, исследовано влияние потока низкоэнергетических ионов, генерируемых в среде высокочастотного емкостного разряда при пониженном давлении, на размер частиц акриловой эмульсии. Установлено, что наименьшее значение индекса полидисперсности достигается в режиме W_p = 700 Вт, p = 55,0 Па, τ = 10 мин, расход плазмообразующего газа аргона G_{Ar} – 0,04 г/с, при этом Z-средний размер частиц составляет 192,4 нм, что говорит о возможности повышения однородности распределения размеров частиц акриловой эмульсии воздействием потока низкоэнергетических ионов. Исследовано влияние вида плазмообразующего газа на размер

частиц акриловой эмульсии. Установлено, что при использовании аргона достигается наименьшее значение индекса полидисперсности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Страхов И.П., Санкин Л.Б., Куциди Д.А.* Дубление и наполнение кож полимерами. М.: Легкая индустрия, 1967. 224 с.

2. *Cheng Y.L, Wang Y.K, Chen P. et al.* Non-thermal plasma assisted polymer surface modification and synthesis: A review // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2014, Vol. 7. № 2. P. 1…9.

3. *Liston E.M., Martinu L., Wertheimer M.R.* Plasma surface modification of polymers for improved adhesion: a critical review // Journal of adhesion science and technology. 1993, Vol. 7. № 10. P. 1091…1127.

4. *Kartik Nemani S., Kishore Annavarapu R., Mohammadian B. et al.* Surface modification of polymers: methods and applications // Advanced Materials Interfaces. 2018. Vol. 5. № 24. P. 1801247.

5. *Смирнов С.А., Титов В.А., Рыбкин В.В.* Влияние внешних факторов на параметры низкотемпературной плазмы при обработке в ней полимерных материалов // Российский химический журнал. 2013. Т. 57. № 3-4. С. 52…59.

6. *Хуторянский В.В., Смыслов Р.Ю., Якиманский А.В.* Современные методы исследования полимерных комплексов в водных и органических растворах // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2018. Т. 60. № 5. С. 357…383.

7. *Султанова Н.М., Белова И.А., Шабанова Н.А., Попов К.И.* Исследование водных растворов полиакриламида методом динамического рассеяния света // Успехи в химии и химической технологии. 2011. Т. 25. № 2 (118). С. 45…50.

8. *Elizalde O., Leal G.P., Leiza J.R.* Particle size distribution measurements of polymericdispersions: a comparative study // Particle & Particle Systems Characterization: Measurement and Description of Particle Properties and Behavior in Powders and Other Disperse Systems. 2000. Vol. 17. № 56. P. 236…243.

9. *Пивоваров А.А., Кравченко А.В., Тищенко А.П. и др.* Контактная неравновесная плазма как инструмент для обработки воды и водных растворов. Теория и практика // Российский химический журнал. 2013. Т. 57. № 3-4. С. 134…145.

10. *Титов В.А., Шикова Т.Г., Максимов А.И., Титова Ю.В.* Модифицирование полимеров в плазменно-растворной системе // Электронная обработка материалов. 2004. №. 3. С. 22…28.

11. *Шукуров А.* Плазменно-растворная обработка природных полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». 2019. Т. 62. № 7. С. 4…30.

12. *Черникова Е.В., Ефимова А.А., Спиридонов В.В. и др.* Спецпрактикум по физико-химическим и физико-механическим методам исследования полимеров. Ч. 1: Теория. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2013. 112 с.

13. *Куликов К.Г., Кошлан Т.В.* Определение размеров коллоидных частиц при помощи метода динамического рассеяния света // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. № 12. С. 26…32.

14. *Якиманский А.В.* Механизмы" живущей" полимеризации виниловых мономеров // Высокомолекулярные соединения. Серия С. 2005. Т. 47. № 7. С. 1241…1301.

15. *Шаповал Г.С., Городыский А.В.* Электрохимическое инициирование полимеризации // Успехи химии. 1973. Т. 42. № 5. С. 854…880.

16. *Пономаренко А.Т., Тамеев А.Р., Шевченко В.Г.* Синтез полимеров и модифицирование полимерных материалов в электромагнитных полях // Успехи химии. 2018. Т. 87. № 10. С. 923…949.

17. Химические реакции в низкотемпературной плазме: сб. статей / под ред. Л.С. Полака; АН СССР, Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топчиева. М., 1977. 201 с.

18. Очерки физики и химии низкотемпературной плазмы / под ред. Л.С. Полака; АН СССР, Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топичева. М.: Наука, 1971. 436 с.

19. *Полак Л.С., Овсянников А.А., Словецкий Д.И., Вурзель Ф.Б.* Теоретическая и прикладная плазмохимия. М.: Наука, 1975. 304 с.

20. *Вурзель Ф.Б., Полак Л.С.* Плазмохимия. М.: Знание, 1985. 48 с.

21. Применение низкотемпературной плазмы в химии: сб. статей / под ред. Л.С. Полака; АН СССР, Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топичева. М.: Наука, 1981. 170 с.

22. *Ясуда Х.* Полимеризация в плазме: пер. с англ. М.: Мир, 1988. 376 с.

23. Плазмохимические процессы / под ред. Л.С. Полака; АН СССР, Ин-т нефтехим. синтеза им. А.В. Топичева. М.: Наука, 1979. 221 с.

24. *Оулет Р., Барбье М., Черемисинофф П. и др.* Технологическое применение низкотемпературной плазмы: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1983. 144 с.

25. *John R. Hollahan, Alexis T. Bell.* Techniques and applications of plasma chemistry. A Wiley-Interscience publication. 1974. 399 p.

26. *Blasek G., Brauner G. et al.* Vakuum. Plasma. Technologien. Beschichtung und Modifizierung von Oberflachen. Teil 1.

27. Энциклопедия полимеров. Т. 1 / под ред. В.А. Каргина. М.: Советская энциклопедия, 1972. 1224 с.

28. Энциклопедия полимеров. Т. 2 / под ред. В.А. Кабанова. М.: Советская энциклопедия, 1974. 1032 с.

29. *Тугов И.И., Кострыкина Г.И.* Химия и физика полимеров. М.: Химия, 1989. 432 с.

R E F E R E N C E S

1. *Strakhov I.P., Sankin L.B., Kutsidi D.A.* Tanning and filling of leather with polymers. Moscow: Light Industry, 1967. 224 p.

2. *Cheng Y.L, Wang Y.K, Chen P. et al.* Non-thermal plasma assisted polymer surface modification and synthesis: A review // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2014, Vol. 7. № 2. P. 1…9.

3. *Liston E.M., Martinu L., Wertheimer M.R.* Plasma surface modification of polymers for improved adhesion: a critical review // Journal of adhesion science and technology. 1993, Vol. 7. № 10. P. 1091…1127.

4. *Kartik Nemani S., Kishore Annavarapu R., Mohammadian B. et al.* Surface modification of polymers: methods and applications // Advanced Materials Interfaces. 2018. Vol. 5. № 24. P. 1801247.

5. *Smirnov S.A., Titov V.A., Rybkin V.V.* Influence of external factors on the parameters of low-temperature plasma during its treatment of polymeric materials // Russian Chemical Journal. 2013. Vol. 57. № 3-4. P. 52...59.

6. *Khutoryansky V.V., Smyslov R.Yu., Yakimansky A.V.* Modern methods for the study of polymer complexes in aqueous and organic solutions // High-molecular compounds. Series A. 2018. Vol. 60. № 5. P. 357...383.

7. *Sultanova N.M., Belova I.A., Shabanova N.A., Popov K.I.* Study of aqueous solutions of poliacrylamide by dynamic light scattering // Uspekhi v chemii i khimicheskoy tehnologii. 2011. Vol. 25. № 2 (118). P. 45...50.

8. *Elizalde O., Leal G.P., Leiza J.R.* Particle size distribution measurements of polymericdispersions: a comparative study // Particle & Particle Systems Characterization: Measurement and Description of Particle Properties and Behavior in Powders and Other Disperse Systems. 2000. Vol. 17. № 56. P. 236…243.

9. *Pivovarov A.A., Kravchenko A.V., Tishchenko A.P. et al.* Contact nonequilibrium plasma as an intool for water and aqueous solutions treatment. Theory and practice // Russian Chemical Journal. 2013. Vol. 57. № 3-4. P. 134...145.

10. *Titov V.A., Shikova T.G., Maksimov A.I., Titova Yu.V.* Modification of polymers in plasma-solution system // Electronic processing of materials. 2004. № 3. P. 22…28.

11. *Shukurov A.* Plasma-solution processing of natural polymeric materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Khimiya i Khimichskaya Tekhnologiya. 2019. Vol. 62. № 7. P. 4…30.

12. *Chernikova E.V., Efimova A.A., Spiridonov V.V. et al.* Spetspraktikum po physico-chemical and physico-mechanical methods of research polimers. Ч. 1: Theory. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2013. 112 p.

13. *Kulikov K.G., Koshlan, T.V.* Determination of colloidal particle sizes using the method of dynamic light scattering (in Russian) // Journal of Technical Physics. 2015. Vol. 85. № 12. P. 26...32.

14. *Yakimansky A.V.* Mechanisms of “living” polymerization of vinyl monomers // High-molecular compounds. Series C. 2005. Vol. 47. № 7. P. 1241...1301.

15. *Shapoval G.S., Gorodysky A.V.* Electrochemical initiation of polymerization // Uspekhi Khimii. 1973. Vol. 42. № 5. P. 854...880.

16. *Ponomarenko A.T., Tameev A.R., Shevchenko V.G.* Synthesis of polymers and modification of polymeric materials in electromagnetic fields // Uspekhi chemii. 2018. Vol. 87. № 10. P. 923...949.

17. Chemical Reactions in Low Temperature Plasma: collection of articles / edited by L.S. Polak; Academy of Sciences of the USSR, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis. Moscow, 1977. 201 p.

18. Sketches of physics and chemistry of low-temperature plasma / edited by L.S. Polak; Academy of Sciences of the USSR, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis. Moscow: Nauka, 1971. 436 p.

19. *Polak L.S., Ovsyannikov A.A., Slovetsky D.I., Vurzel F.B.* Theoretical and Applied Plasma Chemistry. Moscow: Nauka, 1975. 304 p.

20. *Vurzel F.B., Polak L.S.* Plasma chemistry. Moscow: Znanie, 1985. 48 p.

21. Application of low-temperature plasma in chemistry: collection of articles / edited by L.S. Polak; Academy of Sciences of the USSR, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis. Moscow: Nauka, 1981. 170 p.

22. *Yasuda H.* Polymerization in plasma: Per. from Engl. Moscow: Mir, 1988. 376 p.

23. Plasma chemical processes / edited by L.S. Polak; Academy of Sciences of the USSR, A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis. Moscow: Nauka, 1979. 221 p.

24. *Oulet R., Barbier M., Cheremisinoff P. et al.* Technological application of low-temperature plasma: Per. from Engl. M.: Energoatomizdat, 1983. 144 p.

25. *John R. Hollahan, Alexis T. Bell.* Techniques and applications of plasma chemistry. A Wiley-Interscience publication. 1974. 399 p.

26. *Blasek G., Brauner G. et al.* Vakuum. Plasma. Technologien. Beschichtung und Modifizierung von Oberflachen. Teil 1.

27. Encyclopedia of Polymers. Vol. 1 / edited by V.A. Kargin. M.: Soviet Encyclopedia, 1972. 1224 p.

28. Encyclopedia of polymers. Vol. 2 / edited by V.A. Kabanov. M.: Soviet Encyclopedia, 1974. 1032 p.

29. *Tugov I.I., Kostrykina G.I.* Chemistry and physics of polymer. M.: Khimiya, 1989. 432 p.

Рекомендована кафедрой плазмохимических технологий наноматериалов и покрытий КНИТУ. Поступила 17.09.24.