

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ДВУХЖИДКОСТНЫХ КАПЕЛЬ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТОРИЧНЫХ ФРАГМЕНТОВ ПРИ МИКРОВЗРЫВНОМ РАСПАДЕ*

Р. М. Федоренко¹, Д. В. Антонов², П. А. Стрижак³

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований влияния температуры двухжидкостных капель на характеристики вторичных фрагментов при микровзрывном распаде. В качестве компонентов исходных двухжидкостных капель использовались: дизельное топливо, керосин, рапсовое масло и вода. Объемная концентрация горючего компонента при проведении экспериментов составляла 90%. Температура двухжидкостных капель и газовой среды регистрировалась с помощью комплекса сбора данных National Instruments и малоинерционных термопар. Температура газовой среды в проведенных экспериментах варьировалась от 630 до 750 К. Характеристики процессов микровзрывного распада двухжидкостных капель регистрировались с применением метода теневой съемки. Обработка полученных видеок кадров осуществлялась с применением авторских программных кодов в MATLAB. Основные регистрируемые характеристики: размеры исходных капель в процессе нагрева; количество и радиусы вторичных фрагментов; времена задержки микровзрывного распада; времена распада исходной двухжидкостной капли на вторичные фрагменты. Установлена переходная граница по температуре двухжидкостных капель перед паффингом и микровзрывом. Предложен безразмерный критерий F_{cd} , позволяющий учесть одновременный вклад затрат времени, необходимого для прогрева двухжидкостной капли до условий микровзрывного распада, времени, необходимого на образование вторичных фрагментов, и соотношения площадей поверхности жидкости после и до распада. С применением предложенного критерия выделены области, характерные для различных режимов распада.

Ключевые слова: микровзрывной распад; двухжидкостные капли; керосин; дизельное топливо; рапсовое масло; вторичные фрагменты; теневая съемка

DOI: 10.30826/CE24170206

EDN: XRSJTH

Литература

1. Гасанов Б. М., Буланов Н. В. Влияние концентрации и размера капелек дисперсной фазы эмульсии на характер теплообмена при кипении эмульсии // Теплофизика высоких температур, 2014. Т. 52. № 1. С. 93. doi: 10.7868/S0040364413060100. EDN: RRJLSH.
2. Watanabe H., Shoji Y., Yamagaki T., Hayashi J., Akamatsu F., Okazaki K. Secondary atomization and spray flame characteristics of carbonated W/O emulsified fuel // Fuel, 2016. Vol. 182. P. 259–265. doi: 10.1016/j.fuel.2016.05.121.
3. Ithnin A. M., Noge H., Kadir H. A., Jazair W. An overview of utilizing water-in-diesel emulsion fuel in diesel engine and its potential research study // J. Energy Inst., 2014. Vol. 87. P. 273–288. doi: 10.1016/j.joei.2014.04.002.
4. Ayhan V., Tunca S. Experimental investigation on using emulsified fuels with different biofuel additives in a DI diesel engine for performance and emissions // Appl. Therm. Eng., 2018. Vol. 129. P. 841–854. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.106.
5. Chmielewski M., Niszczota P., Gieras M. Combustion efficiency of fuel–water emulsion in a small gas turbine // Energy, 2020. Vol. 211. P. 118961. doi: 10.1016/j.energy.2020.118961.
6. Жуков В. Е., Павленко А. Н., Мусеев М. И., Кузнецов Д. В. Динамика межфазной поверхности самоподдерживающегося фронта испарения в жидкости с добавками наноразмерных частиц // Теплофизика высоких температур, 2017. Т. 55. № 1. С. 85–93. doi: 10.7868/S0040364417010252. EDN: YIAAWP.
7. Warncke K., Gepperth S., Sauer B., Sadiki A., Janicka J., Koch R., Bauer H.-J. Experimental and numerical investigation of the primary breakup of an airblasted liquid sheet // Int. J. Multiphas. Flow, 2017. Vol. 91. P. 208–224. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.12.010.
8. Yin Z., Nau P., Meier W. Responses of combustor surface temperature to flame shape transitions in a turbulent bistable swirl flame // Exp. Therm. Fluid Sci., 2017. Vol. 82. P. 50–57. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2016.11.004.

* Исследования проведены за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-71-10008, <https://rscf.ru/project/21-71-10008/>).

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, vfedrm@gmail.com

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, antonovdv132@gmail.com

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет, pavelspa@tpu.ru

9. Fu W. B., Hou L. Y., Wang L., Ma F. H. A unified model for the micro-explosion of emulsified droplets of oil and water // *Fuel Process. Technol.*, 2002. Vol. 79. P. 107–119. doi: 10.1016/S0378-3820(02)00106-6.
10. Shinjo J., Xia J., Ganippa L. C., Megaritis A. Physics of puffing and microexplosion of emulsion fuel droplets // *Phys. Fluids*, 2014. Vol. 26. P. 103302. doi: 10.1063/1.4897918.
11. Shinjo J., Xia J., Megaritis A., Ganippa L. C., Cracknell R. F. Modeling temperature distribution inside an emulsion fuel droplet under convective heating: A key to predicting microexplosion and puffing // *Atomization Spray*, 2016. Vol. 26. P. 551–583. doi: 10.1615/AtomizSpr.2015013302.
12. Strotos G., Malgarinos I., Nikolopoulos N., Gavaises M. Numerical investigation of aerodynamic droplet breakup in a high temperature gas environment // *Fuel*, 2016. Vol. 181. P. 450–462. doi: 10.1016/j.fuel.2016.04.126.
13. Antonov D. V., Fedorenko R. M., Strizhak P. A. Child droplets produced by micro-explosion and puffing of two-component droplets // *Appl. Therm. Eng.*, 2020. Vol. 164. P. 114501. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114501.
14. Antonov D. V., Piskunov M. V., Strizhak P. A. Breakup and explosion of droplets of two immiscible fluids and emulsions // *Int. J. Therm. Sci.*, 2019. Vol. 142. P. 30–41. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.04.011.
15. Антонов Д. В., Стрижак П. А. Интенсификация парообразования и вторичного измельчения капель огнетушащих составов // *Письма в журнал технической физики*, 2020. Т. 46. № 3. С. 23–26. doi: 10.21883/PJTF.2020.03.48987.18008. EDN: JEITK.
16. Yaws L. C. *Yaws' handbook of thermodynamic and physical properties of chemical compounds*. — Norwich, NY, USA: Knovel, 2003. 777 p.
17. Antonov D. V., Kuznetsov G. V., Strizhak P. A. Comparison of the characteristics of micro-explosion and ignition of two-fluid water-based droplets, emulsions and suspensions, moving in the high-temperature oxidizer medium // *Acta Astronaut.*, 2019. Vol. 160. P. 258–269. doi: 10.1016/j.actaastro.2019.04.048.
18. Антонов Д. В., Федоренко Р. М., Стрижак П. А. Коллективные эффекты при формировании вторичных фрагментов в результате микровзрывной фрагментации композиционных топлив // *Горение и взрыв*, 2022. Т. 15. № 22–33. doi: 10.30826/CE22150203.
19. Antonov D. V., Volkov R. S., Fedorenko R. M., Strizhak P. A., Castanet G., Sazhin S. S. Temperature measurements in a string of three closely spaced droplets before the start of puffing/micro-explosion: Experimental results and modelling // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2021. Vol. 181. P. 121837. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121837.
20. Chen S., Li D. Image binarization focusing on objects // *Neurocomputing*, 2006. Vol. 69. P. 2411–2415. doi: 10.1016/j.neucom.2006.02.014.
21. Soille P. *Morphological image analysis: Principles and applications*. — Berlin, Heidelberg: Springer, 1999. 328 p.
22. Fedorenko R. M., Antonov D. V., Strizhak P. A., Sazhin S. S. Time evolution of composite fuel/water droplet radii before the start of puffing/micro-explosion // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2022. Vol. 191. P. 122838. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.122838.
23. Egorov R. I., Tkachenko P. P., Taburchinov R. I., Chulkov A. O. The propagation and ignition of the finely dispersed coal–water aerosol // *Fuel*, 2020. Vol. 263. P. 116767. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116767.
24. Антонов Д. В., Вершинина К. Ю., Федоренко Р. М. Микровзрывная фрагментация двухжидкостных капель на основе таллового масла // *Письма в журнал технической физики*, 2023. Т. 49. № 14. С. 3–7. doi: 10.21883/PJTF.2023.14.55816.19575.
25. Avulapati M. M., Megaritis T., Xia J., Ganippa L. Experimental understanding on the dynamics of micro-explosion and puffing in ternary emulsion droplets // *Fuel*, 2019. Vol. 239. P. 1284–1292. doi: 10.1016/j.fuel.2018.11.112.
26. Antonov D. V., Fedorenko R. M., Strizhak P. A. Micro-explosion phenomenon: Conditions and benefits // *Energies*, 2022. Vol. 15. P. 7670. doi: 10.3390/en15207670.
27. Sazhin S. S., Bar-Kohany T., Nissar Z., Antonov D., Strizhak P. A., Rybdylova O. D. A new approach to modelling micro-explosions in composite droplets // *Int. J. Heat Mass Tran.*, 2020. Vol. 161. P. 120238. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.120238.
28. Shen S., Liu H., Liu Y., Liu X., Hu H., Hu Z., Wang T. Dynamic details inside water-in-oil (W/O) emulsion droplet and its impact on droplet evaporation and micro-explosion // *Fuel*, 2023. Vol. 338. P. 127254. doi: 10.1016/j.fuel.2022.127254.
29. Zhang H., Lu Z., Wang T., Che Z. Mist formation during micro-explosion of emulsion droplets // *Fuel*, 2023. Vol. 339. P. 127350. doi: 10.1016/j.fuel.2022.127350.
30. Tarlet D., Allouis C., Bellettre J. The balance between surface and kinetic energies within an optimal micro-explosion // *Int. J. Therm. Sci.*, 2016. Vol. 107. P. 179–183. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2016.04.008.
31. Volkov R. S., Strizhak P. A. Using planar laser induced fluorescence to explore the mechanism of the explosive disintegration of water emulsion droplets exposed to intense heating // *Int. J. Therm. Sci.*, 2018. Vol. 127. P. 129–141. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2018.01.027.
32. Mura E., Josset C., Loubar K., Huchet G., Bellettre J. Effect of dispersed water droplet size in microexplosion phenomenon for water in oil emulsion // *Atomization Spray*, 2010. Vol. 20. P. 791–799. doi: 10.1615/AtomizSpr.v20.i9.40.

Поступила в редакцию 04.12.2023