

КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

А. М. Столин¹, П. М. Бажин², Л. С. Стельмах³

Аннотация: Рассмотрены примеры основных качественных проявлений реологических эффектов тиксотропии и сверханомалии вязкости, связанные с современными химическими технологиями: аддитивная технология, тиксотропная металлургия, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) в условиях сочетания процессов горения и сдвигового высокотемпературного деформирования.

Ключевые слова: реология; тиксотропия; сверханомалия вязкости; горение; высокотемпературное деформирование; металлокерамические материалы; аддитивная технология; тиксотропные металлургические процессы; самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС)

DOI: 10.30826/CE22150213

EDN: WDKWLF

Литература

1. Столин А. М., Малкин А. Я., Мержанов А. Г. Неизотермические процессы и методы исследования в химии и механике полимеров // Успехи химии, 1979. Т. 48. Вып. 8. С. 1492–1517.
2. Семенов Н. Н. Тепловая теория горения и взрывов // Успехи физ. наук, 1940. Т. 24. Вып. 4. С. 433–486.
3. Зельдович Я. Б. Теория горения и детонации газов. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1944. 36 с.
4. Франк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М.: Наука, 1987. 502 с.
5. Мержанов А. Г. Процессы горения в конденсированных системах // Вестн. Акад. наук СССР, 1979. № 8. С. 10–18.
6. Merzhanov A. G. Combustion processes in chemical reaction engineering // 5th Congres “CHISA,” 1975. Article K4.20. P. 33.
7. Мержанов А. Г. СВС на пути к индустриализации // Наука — производству, 2006. № 2. С. 19–24.
8. Мержанов А. Г. Неизотермические методы в химической кинетике // Физика горения и взрыва, 1973. Т. 9. № 1. С. 4–36.
9. Merzhanov A. G., Barzykin V. V., Sheinberg A. S., Gontkovskaya V. T. Methodological principles in studying chemical reaction kinetics under conditions of programmed heating // Thermochim. Acta, 1977. Vol. 21. Iss. 3. P. 301–332.
10. Galakhov A. V., Zelenskii V. A., Shelekhov E. V., Kovalenko L. V., Alymov M. I. Powders for fabricating polycrystalline transparent ceramics: Synthetic procedures (an overview) // Int. J. Self-Propag. High-Temp. Synth., 2017. Vol. 26. No. 2. P. 129–133.
11. Симоненко Е. П., Симоненко Н. П., Лысенков А. С. и др. Реакционное горячее прессование ультравысокотемпературных керамических материалов $\text{HfB}_2\text{—SiC—Ta}_4\text{HfC}_5$ // Ж. неорганической химии, 2020. Т. 65. № 3. С. 420–432. doi: 10.31857/S0044457X20030149.
12. Козерожец И. В., Панасюк Г. П., Семенов Е. А. и др. Состояние воды в продуктах гидротермальной обработки гидрагиллита и $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ // Ж. неорганической химии, 2020. Т. 65. № 9. С. 1241–1247. doi: 10.31857/S0044457X20090093.
13. Козерожец И. В., Панасюк Г. П., Семенов Е. А., Васильев М. Г., Ивакин Ю. Д., Данчевская М. Н. Влияние кислой среды на гидротермальный синтез бемита // Ж. неорганической химии, 2020. Т. 65. № 10. С. 1325–1330. doi: 10.31857/S0044457X20100141.
14. Galiev F. F., Saikov I. V., Alymov M. I., Konovalikhin S. V., Sachkova N. V., Berbentsev V. D. Composite rods by high-temperature gas extrusion of steel cartridges stuffed with reactive Ni—Al powder compacts: Influence of process parameters // Intermetallics, 2021. Vol. 138. P. 107317. doi: 10.1016/j.intermet.2021.107317.
15. Шапкин Н. П., Папынов Е. К., Шичалин О. О. и др. Реакционное искровое плазменное спекание SiC и SiC— HfB_2 керамики на основе природного возобновляемого сырья // Ж. неорганической химии, 2021. Т. 66. № 5. С. 575–584. doi: 10.31857/S0044457X21050160.
16. Костиков В. И., Варенков А. Н. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы. — М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 506 с.
17. Еришова И. О. Влияние нитридов тугоплавких металлов на свойства спеченного молибдена и вольфрама // Металловедение и термическая обработка металлов, 2003. № 2. С. 26–30.

¹Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук, amstolin@ism.ac.ru

²Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук, olimp@ism.ac.ru

³Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова Российской академии наук, stelm@ism.ac.ru

18. Андриевский Р. А. Тугоплавкие соединения: новые подходы и результаты // Успехи физич. наук, 2017. Т. 187. № 3. С. 296–310.
19. Каблов Е. Н., Светлов И. Л., Карнов М. И., Нейман А. В., Мин П. Г., Карачевцев Ф. Н. Высокотемпературные композиты на основе системы Nb–Si, армированные силицидами ниобия // Материаловедение, 2017. № 2. С. 24–32.
20. Мячин Ю. В., Даренская Е. А., Ваулина О. Ю., Буякова С. П., Турунтаев И. В., Кульков С. Н. Исследование структуры и свойств стали, полученной с применением технологии инжекционного формования // Перспективные материалы, 2016. № 7. С. 73–78.
21. Varchanis S., Makrigrigios G., Moschopoulos P., Ditaokopoulos Y., Tsamopoulos J. Modelling the rheology of thixotropic elasto-visco-plastic materials // J. Rheol., 2019. Vol. 63. P. 609–639. doi: 10.1122/8.0000196.
22. Atay H. Y., Aışman D., Jirková H., Behulova M., Mašek B. Use of thixoforming as a manufacturing method for metallic composites // Met. Mater. Int., 2019. Iss. 9. doi: 10.1007/s12540-019-00373-5.
23. Павлов В. П., Виноградов Г. В. Обобщенная реологическая характеристика пластичных дисперсных систем // Коллоидный ж., 1966. Т. 28. № 3. С. 424–429.
24. Кистер Э. Г., Шеголевский Л. И. О реологическом поведении водных суспензий глин при нагревании // Докл. Акад. наук, 1970. Т. 195. № 1. С. 140–142.
25. Хилько С. Л., Титов Е. В., Федосеева А. А., Петренко А. Г., Федосеев Р. А. О возможности применения двух моделей эффекта сверханомалии вязкости для анализа кривых течения структурированных дисперсных систем // Коллоидный ж., 2006. Т. 68. № 1. С. 114–122.
26. Столин А. М., Худяев С. И., Бучацкий Л. М. К теории сверханомалии вязкости структурированных систем // Докл. Акад. наук, 1978. Т. 243. № 2. С. 430–433.
27. Столин А. М., Худяев С. И. Образование пространственно-неоднородных состояний структурированной жидкости в области сверханомалии вязкости // Докл. Акад. наук, 1981. Т. 260. № 5. С. 1180–1184.
28. Столин А. М., Иржак В. И. Структурно-неоднородные режимы течения в процессе формования полимерных волокон // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б, 1993. Т. 35. № 7. С. 902–904.
29. Chinn R. E. Powder injection molding of silicon carbide: Processing issues // Metal Powder Report, 2016. Vol. 71. No. 6. P. 460–464.
30. Аксененко А. Ю., Бычков С. А., Климов В. Н., Коробова Н. В., Тарасов Ф. Е., Фризен В. Э., Шевченко С. Ю. О влиянии условий кристаллизации на структуру тиксозаготовок из литейных Al сплавов // Металлургия машиностроения, 2013. № 2. С. 17–20.
31. Борисов В. Г. Технология производства фасонных изделий из алюминиевых сплавов методом тиксоформовки. Проблемы и решения // Технология легких сплавов, 2016. № 2. С. 71–79.
32. Decker R., LeBeau S., Wilson B., Reagan J., Moskovich N., Bronfin B. Thixomolding[®] at 25 years // Sol. St. Phen., 2016. Vol. 256. P. 3–8.
33. Kapranos P. Current state of semi-solid net-shape die casting // Metals — Basel, 2019. Vol. 9. No. 12. Article 1301.
34. Semenov A. B., Ngo T. B., Semenov B. I. Thixoforming of hypereutectic AlSi₁₂Cu₂NiMg automotive pistons // Sol. St. Phen., 2019. Vol. 285. P. 446–452.
35. Мержанов А. Г. // Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса. — Черноголовка: Территория, 2003. 368 с.
36. Столин А. М., Бажин П. М. Получение изделий многофункционального назначения из композитных и керамических материалов в режиме горения и высокотемпературного деформирования (СВС-экструзия) // Теоретические основы химической технологии, 2014. Т. 48. № 6. С. 1–13.
37. Столин А. М., Бажин П. М., Алымов М. И. Исследование деформирования продуктов СВС в условиях горения // Неорганические материалы, 2016. Т. 52. № 6. С. 672–678.
38. Бажин П. М., Столин А. М. Современные направления практического использования высокотемпературного сдвигового деформирования порошковых материалов в технологии СВС // Технологическое горение / Под ред. С. М. Алдошина, М. И. Алымова. — М.: РАН, 2018. С. 372–394.
39. Чижиков А. П., Столин А. М., Бажин П. М., Алымов М. И. Формирование керамических полых стержней методом СВС-экструзии // Докл. Акад. наук, 2019. Т. 484. № 6. С. 709–711. doi: 10.31857/S0869-56524846709-711.
40. Столин А. М., Стельмах Л. С., Карнов С. В., Алымов М. И. Внешнее трение в процессе СВС-компактирования // Докл. Акад. наук, 2019. Т. 487. № 6. С. 636–639. doi: 10.31857/S0869-56524876636-639.
41. Бажин П. М. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в условиях сдвигового высокотемпературного деформирования для получения композиционных материалов и изделий на основе тугоплавких соединений: Дис. . . . докт. техн. наук. — М., 2019. 380 с.
42. Бучацкий Л. М., Столин А. М. Высокотемпературная реология СВС-материалов // Инж.-физ. ж., 1992. Т. 63. № 5. С. 593–604.

Поступила в редакцию 18.02.2022