



力学所在柔性冲击防护材料研究中取得进展

作者: 吴先前 2022-10-15 10:11

【放大 缩小】

剪切增稠流体 (STF) 是一类非牛顿流体, 在低应变率下具有较好的流动性, 冲击条件下由于粘度急剧增加而快速吸能, 一定程度上协调了防护装备的柔韧性及坚固性之间的矛盾, 在柔性冲击防护领域具有重要的应用价值。前期, 我们对STF的冲击动力学行为及其与结构的相互作用进行了研究, 获得了STF压缩诱导液-固相变新机制、良好的动态能量吸收特性以及与结构的耦合增强耗散效应 (*J Appl Phys* 2015; *Appl Phys Lett* 2015; *Int J Mech Sci* 2018; *Int J Impact Eng* 2020)。但是, 由于常规呈流体状态的STF难以有效密封, 一直是困扰其在柔性冲击防护领域应用的难题。

为此, 中科院力学所流固耦合系统力学重点实验室吴先前副研究员提出STF微胶囊-聚合物基体复合材料设计思想, 一方面解决STF的工程应用难题; 另一方面通过STF的液-固相变、大量STF/基体界面阻抗不匹配效应以及STF与基体的耦合增强耗散效应, 进一步提升材料的冲击防护性能。通过与中国工程物理研究院化工材料研究所合作, 成功制备了STF微胶囊-硅橡胶基体 (SR-STF) 复合材料。研究发现SR-STF复合材料在低应变率下表现出良好的柔韧性, 但在高应变率下由于压缩及剪切诱导的增稠效应, 导致材料表现出较高的刚度, 具有显著的应变率敏感性; 且随着STF微胶囊质量分数的增加, SR-STF复合材料在低应变率下的柔韧性和高应变率下的刚度都迅速提高, 具有更强的应变率强化效应, 体现出对不同冲击载荷的智能自适应性。基于实验结果, 建立了包含STF微胶囊质量分数、应变硬化及应变率强化效应的粘弹性本构模型, 能够较准确地描述SR-STF复合材料的力学行为。研究工作为STF在柔性冲击防护领域的应用提供了新的设计理念和方案。

该成果以“Silicone rubber matrix composites with shear thickening fluid microcapsules realizing intelligent adaptation to impact loadings”发表在 *Composites Part B: Engineering* 上。中科院力学所朱珈庆研究助理和谷周澎博士研究生为共同第一作者, 通讯作者为中科院力学所吴先前副研究员和中科院化工材料研究所刘中平博士。该工作得到国家自然科学基金面上项目(No. 11272201, 12272020, 51802107) 等项目的支持。
论文链接: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110312>

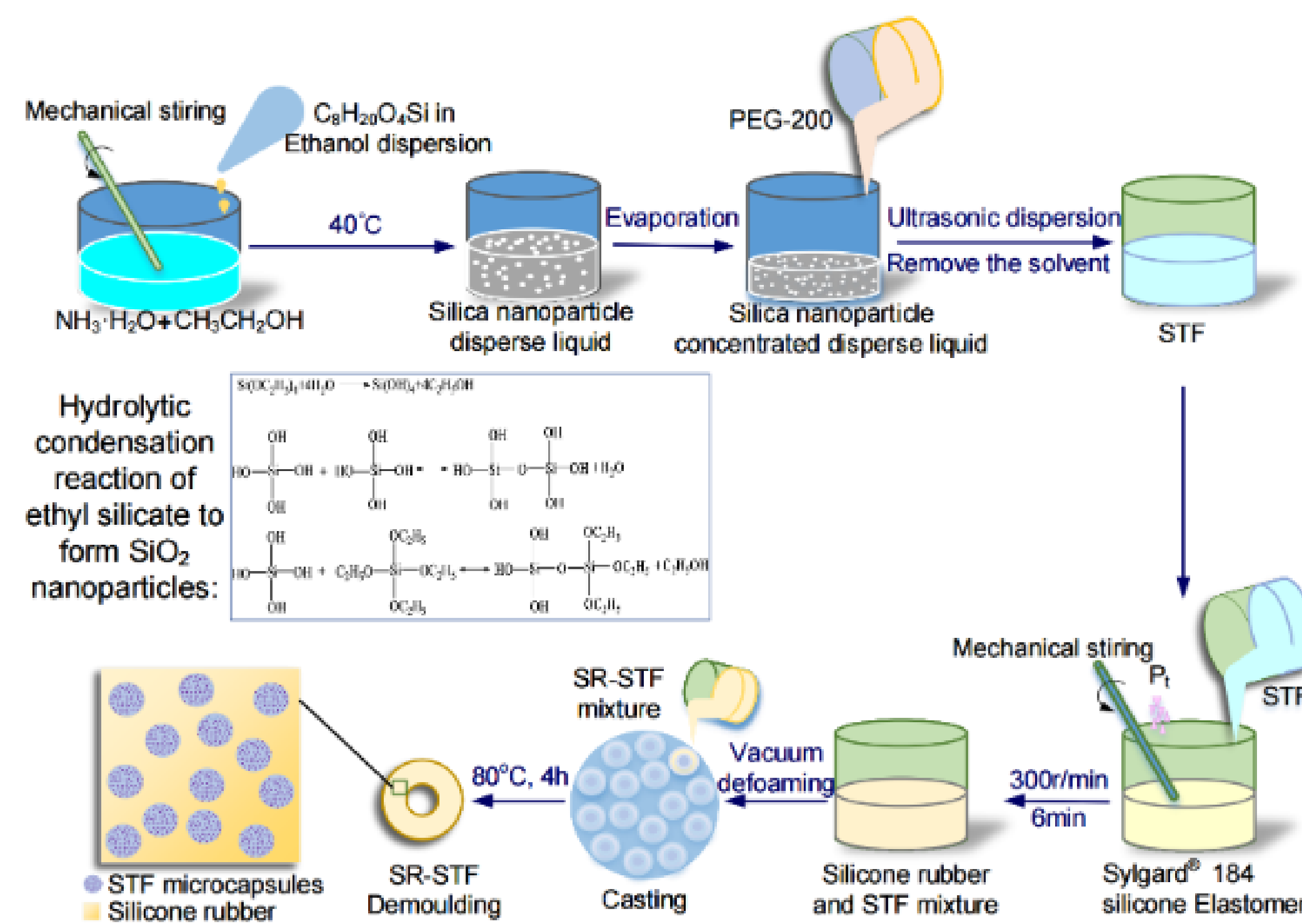


图1 SR-STF复合材料的制备原理示意图

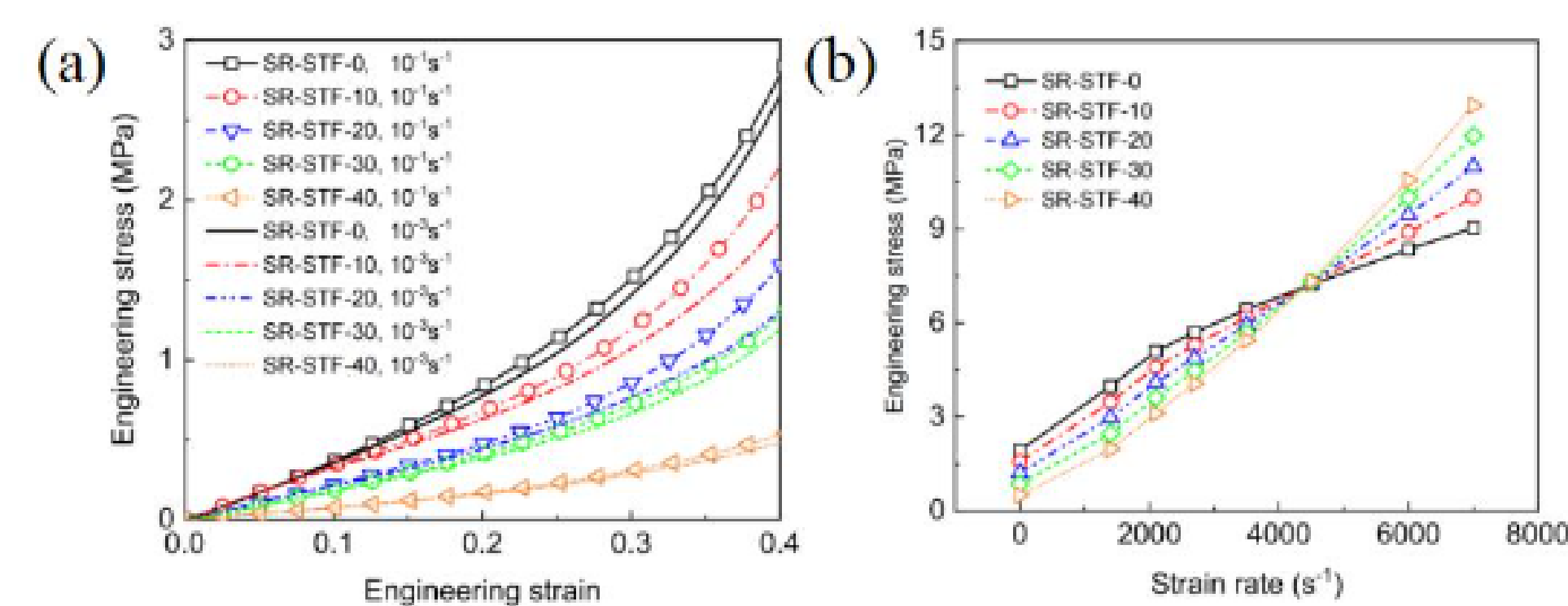


图2 (a) SR-STF复合材料在 10^{-3}s^{-1} 和 10^{-1}s^{-2} 的应力应变关系; (b) SR-STF复合材料在不同应变率下的应力值 (应变0.4)

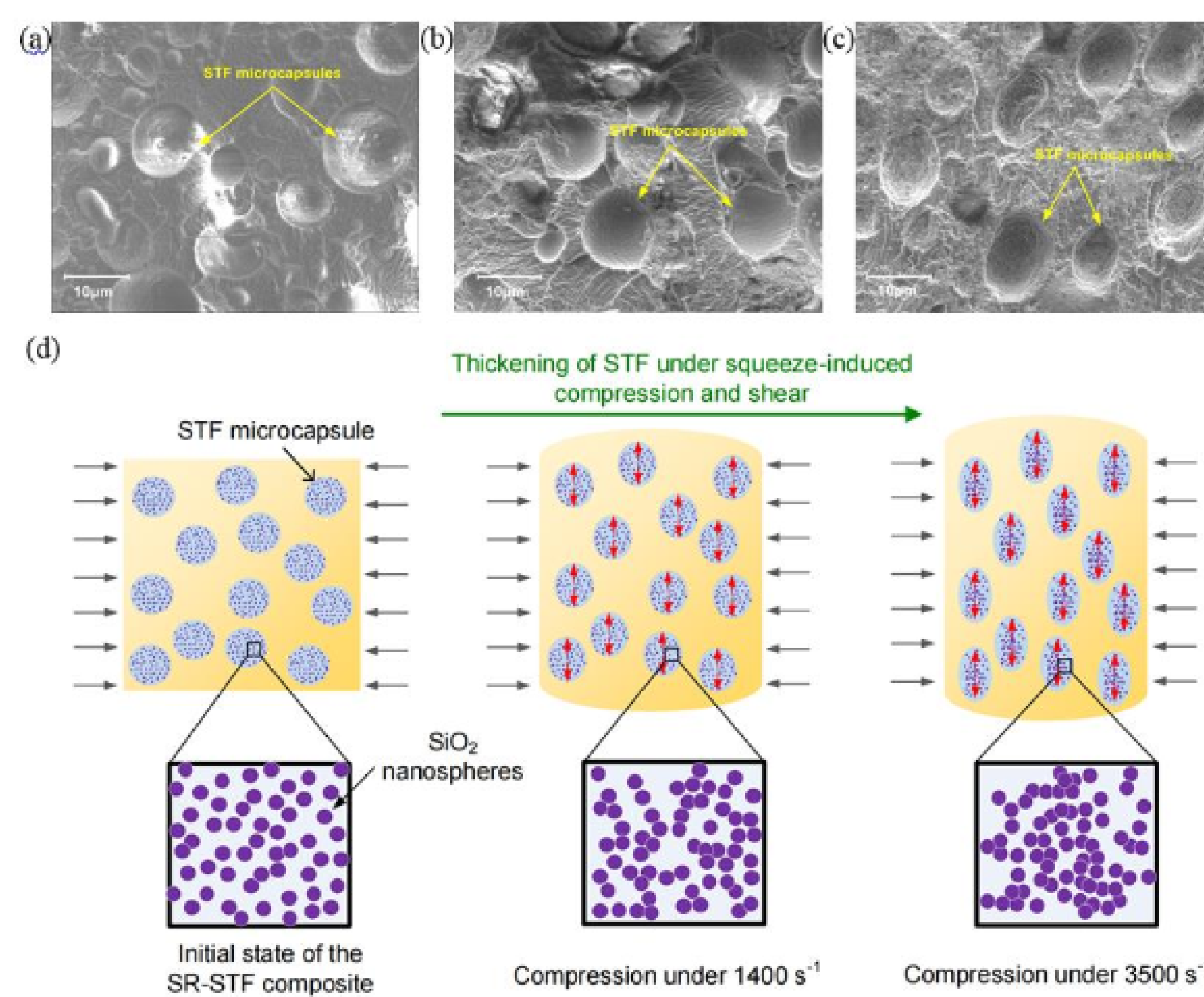


图3 SR-STF复合材料在(a) 冲击加载前, (b) 1400s^{-1} , (c) 3500s^{-1} 的微观结构; (d) SR-STF复合材料在不同应变率下的变形机理