

微通道中液态金属液滴的稳定生成研究

张晨晨, 王翔, 刘赵淼*

北京工业大学材料与制造学部

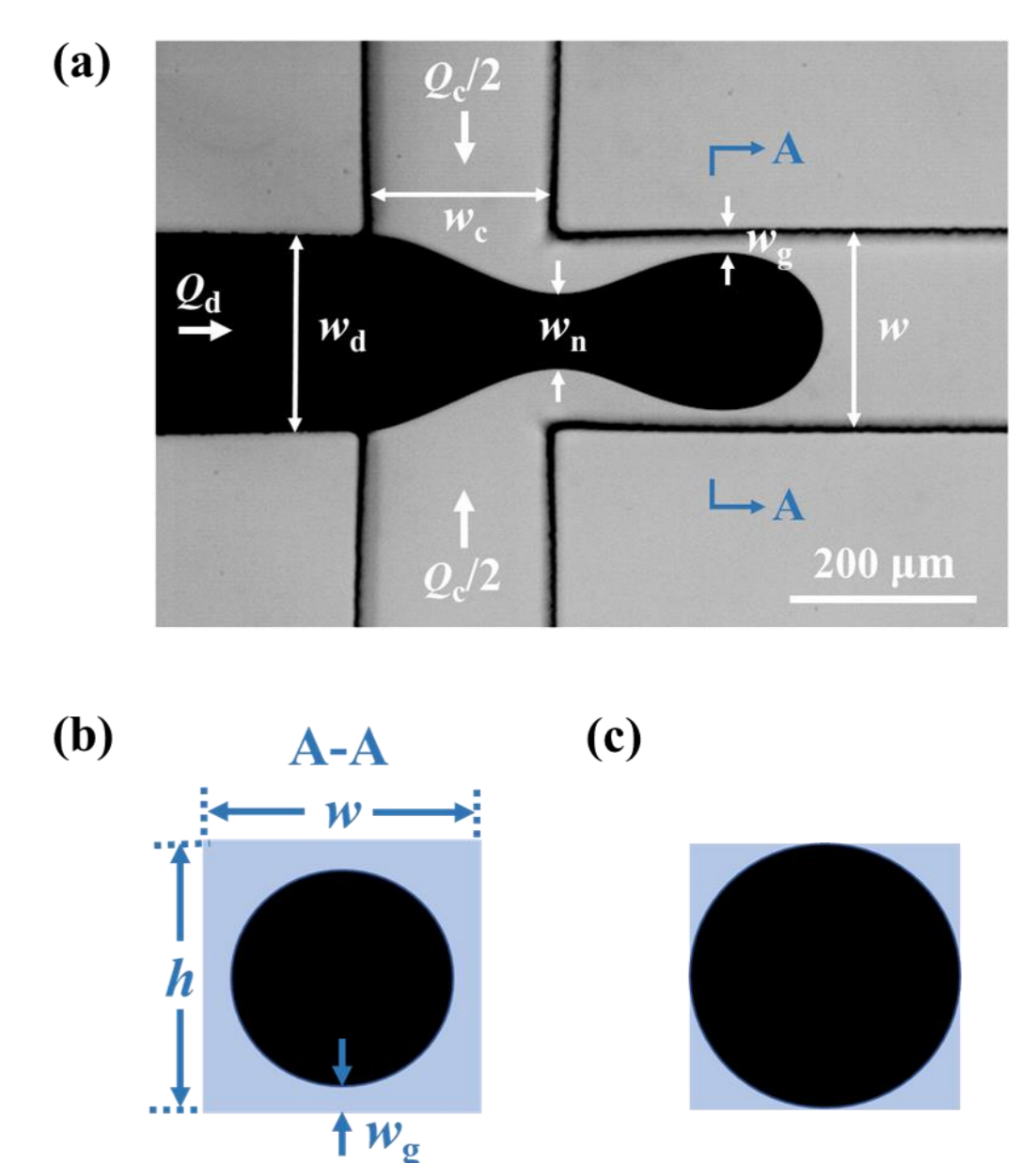
lzm@bjut.edu.cn

引言

微流控技术是生成液态金属液滴, 可以实现生成的液滴尺寸可控、单分散性好和生成通量高的需求。本文首先定义液态金属液滴的生成模式, 借助Micro-PIV拍摄的流场特性, 讨论了不同模式下的主导作用力。对各模式之间的转变条件进行了分析, 并使用无量纲参数建立相图。考虑到粘度比的影响, 建立了液滴生成体积的预测公式。

实验设置

微通道由PDMS浇筑固化后打孔、键合制作而成。通道宽度和高度均为 $200\mu\text{m}$ 。实验所用微通道结构如图所示。实验中采用的离散相为EGaIn(质量分数75%的Ga, 质量分数25%In), 连续相为四种不同浓度的甘油水溶液。连续相在交汇处上下两侧以 $Q_c/2$ 的流量同时剪切分散相生成液滴。此外, 连续相的流场是用Micro-PIV系统获得的, 我们通过Micro-PIV获得的流场与使用高速相机拍摄得到的液滴生成图像进行匹配, 确定液滴的最小颈部宽度。



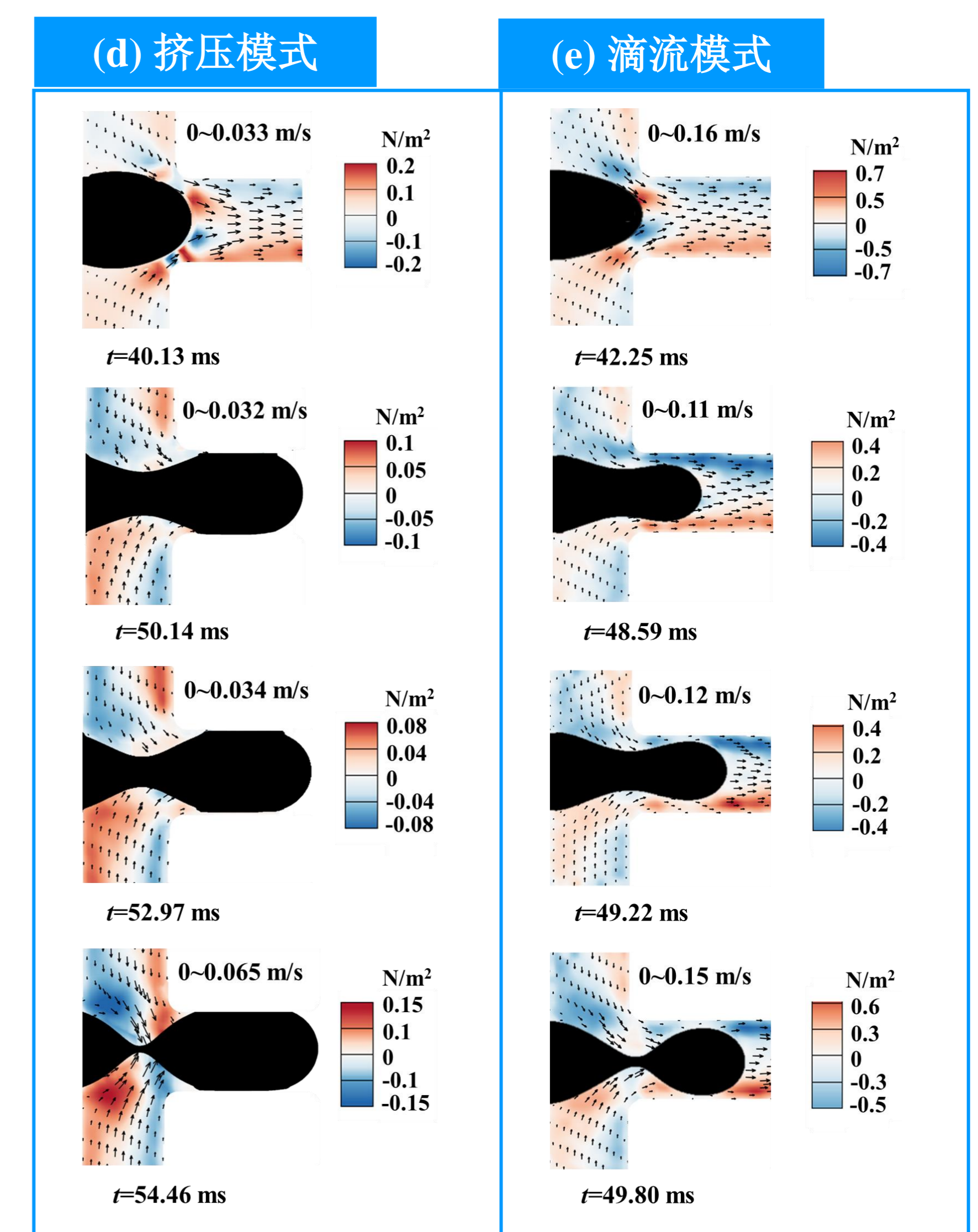
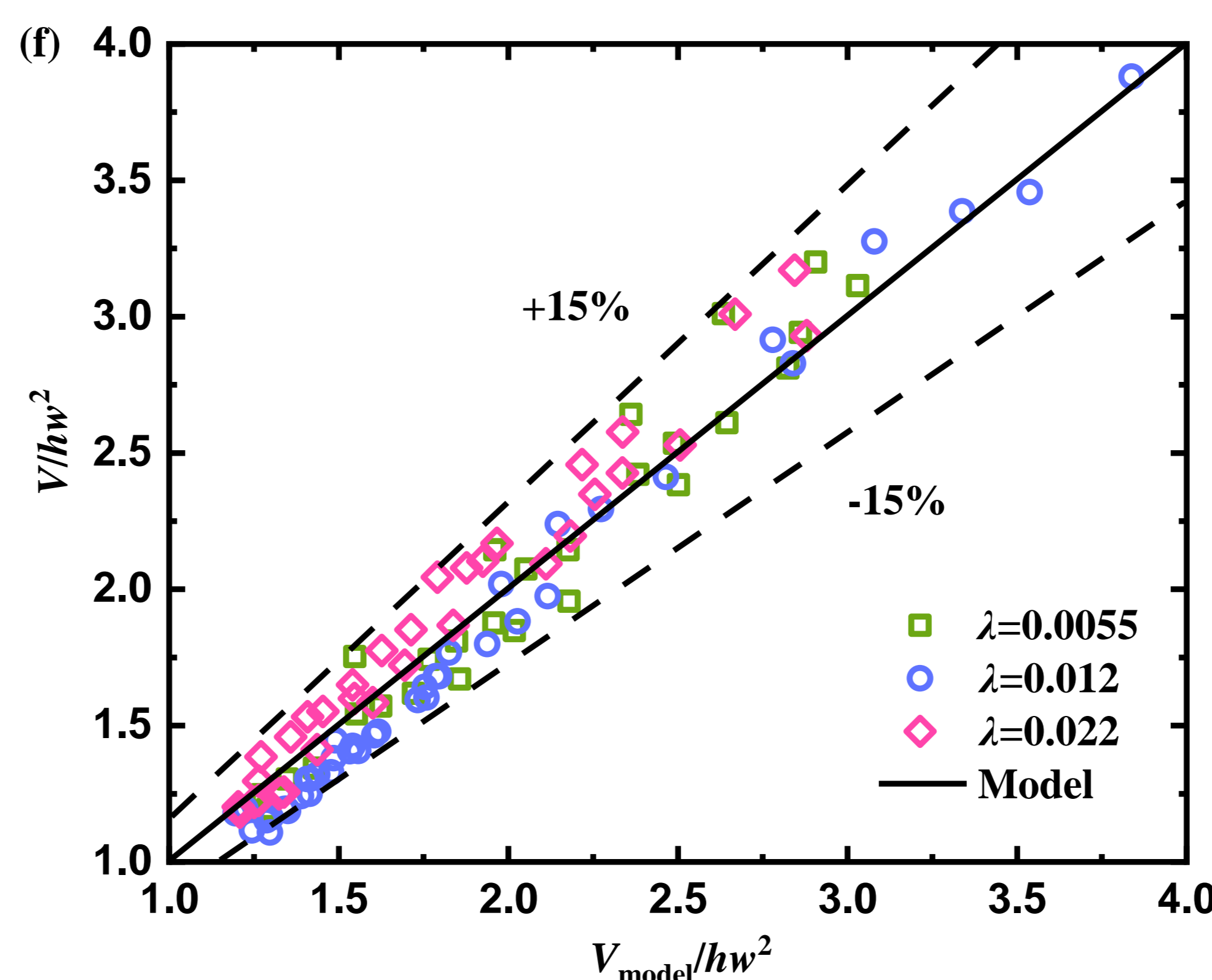
结果与讨论

通过通过调节两相流体的流速, 在方形截面微通道内观察到两种不同的液态金属液滴的生成模式: 挤压和滴流。通过连续相的速度场和剪切应力分布更加直观地展示生成过程的界面受力, 可以发现, 挤压模式下液滴生成的不同阶段中, 挤压和剪切起到的作用是变化的; 滴流模式下粘性剪切力在生成过程中一直起到重要作用。

此外, 通过考虑连续相粘度的影响, 提出了一个液滴体积的理论预测公式, 表示为

$$V/(hw^2) = 0.2\lambda - 0.19Ca^{-0.2}(1 + 1.79\lambda^{0.065}q),$$

对于不同的液体体系, 实验数据和理论预测之间吻合良好。



结论

通过Micro-PIV发现剪切力在不同生成模式下伴随着时间和空间上的变化, 而剪切力在滴流中起着更重要的作用。同时揭示了在生成过程中形成间隙的关键条件, 分析了间隙宽度的时间演变, 发现初始间隙宽度的临界值随着毛细数的增加而减少, 同时粘度比对临界值没有影响。此外, 利用无量纲参数 We_d , Ca_c 和 Re_c 建立了生成模式的相图, 证明了挤压力和剪切力在间隙的形成中都有重要作用。最后提出液态金属液滴的体积预测公式, 所揭示的破裂动态有助于理解极端条件下的物理机制。

致谢

感谢国家自然科学基金的资助。(12172017, 11872083, 12202020, 12272016)