

液-液界面形貌对微沟槽表面减阻影响的数值模拟研究

申峰, 陈杰, 朱林, 刘赵淼

北京工业大学材料与制造学部

1. 摘要

近年来, 在表面增加微条纹 (或沟槽), 将润滑液注入该表面 (Liquid-infused surfaces, LIS), 具有滑移减阻功能, 成为研究热点之一。目前研究多关注提高 LIS 的减阻率, 缺乏对润滑剂耗散后的减阻效果和流场结构的认识, 因此本文通过数值模拟对润滑剂耗散不同程度时的 LIS 进行了系统的研究, 并对机理进行了探讨。

2. 科学问题及研究方法

微沟槽内注入的液体使界面产生了滑移, 从而减小了工作流体的流动阻力。在流动剪切下润滑剂会慢慢损耗, 本文利用VOF模型模拟研究了损耗不同程度时的减阻效果和流场结构。

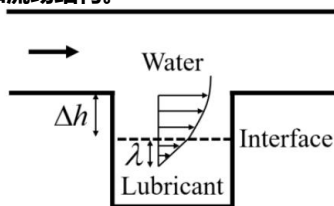


图1 损耗一部分润滑剂的LIS示意图

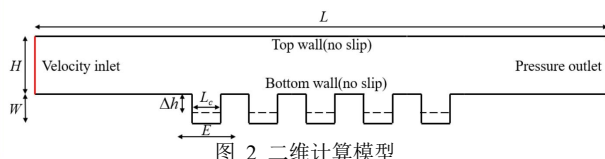


图2 二维计算模型

4. 结论

本文数值模拟研究了二维微沟槽中两相界面形貌对滑移减阻效果的影响。发现随着微沟槽内液-液界面的下降, 有效滑移长度先快速下降, 随后几乎不变。工作流体在界面上方会形成分离流, 导致润滑剂的涡流方向从顺时针转化为逆时针, 极大的降低了减阻效果, 并得到了形成分离流的临界深度 ($h_c=0.3\sim 0.4$)。研究结果解释了润滑剂损耗后减阻效果降低的原因, 有利于深化对液-液界面形貌对 LIS 减阻影响的认识, 为微沟槽结构设计提供理论指导。

3. 结果与讨论

- ① 界面下降深度对有效滑移长度的影响非常明显: 当 $h=0$ 时, 有效滑移长度最大, 随着 h 从 0 开始增加, 有效滑移长度先急剧减小 ($0 < h < 0.2$), 随后几乎不变 ($h > 0.2$)。并且在界面下降任何深度时有效滑移长度都是正值, 表明 LIS 一直起减阻作用, 并不会增加流动阻力。
- ② 当 $h=0.1, 0.2, 0.3$ 时, 工作流体呈附着流, 润滑剂涡是顺时针; 当 $h=0.4-0.9$ 时, 工作流体呈分离流, 形成了一个顺时针涡, 而润滑剂涡变为逆时针, 由此可知, 形成分离流的临界深度在 0.3 到 0.4 之间。

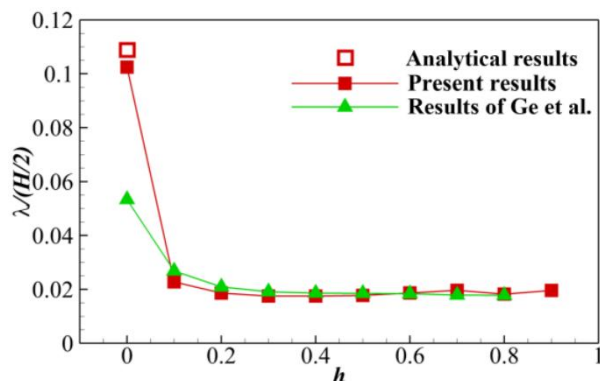


图3 有效滑移长度随界面下降深度的变化

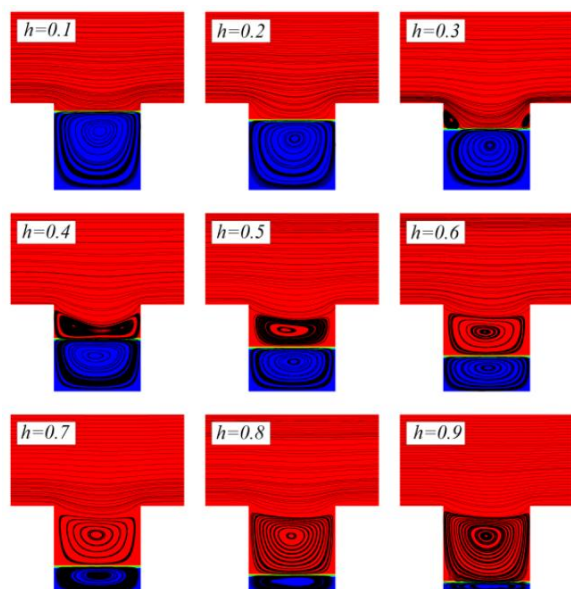


图4 界面下降不同深度时第三个凹槽的流线图