

Άνοση παραμορφώσιμη φυσαλίδα σε ιξωδοελαστικό διάλυμα: Ανάλυση της ασυνεχούς μεταβολής της ταχύτητας ανόδου με αύξηση του όγκου της

Φραγγεδάκης Δημήτρης, Δημακόπουλος Ιωάννης, Τσαμόπουλος Ιωάννης

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εργαστήριο Μηχανικής Ρευστών και Ρεολογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών 26054 Πάτρα

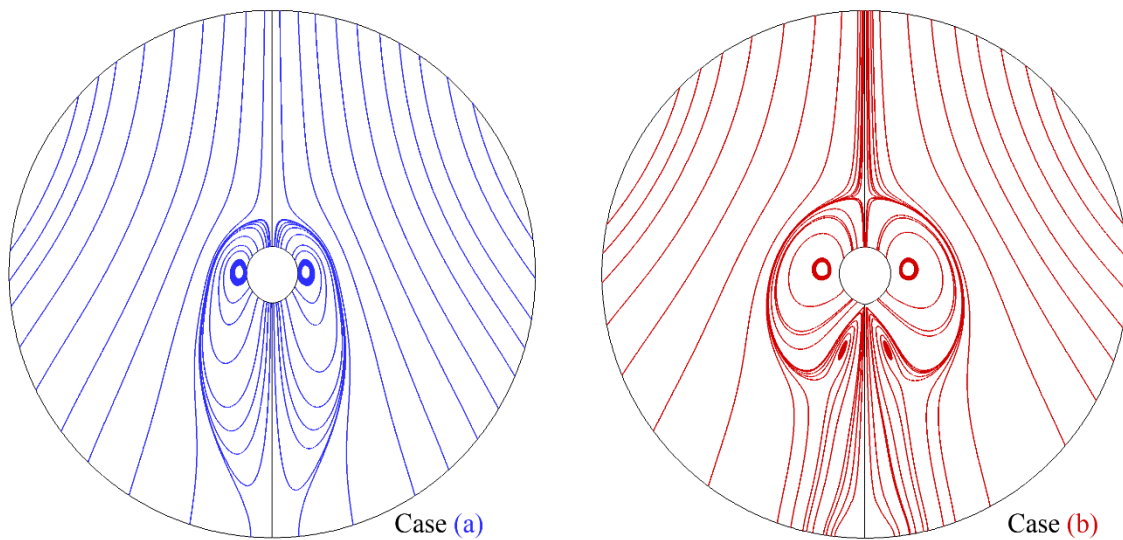
Emails: dimfraged@gmail.com, dimako@chemeng.upatras.gr , tsamo@chemeng.upatras.gr

Έχει διαπιστωθεί πειραματικά, ότι η άνοδος φυσαλίδας εντός ιξωδοελαστικού ρευστού, συνοδεύεται από πολύπλοκα φαινόμενα ροής γύρω από αυτήν, όπως είναι η δημιουργία στροβιλισμού αντίθετης φοράς από την αναμενόμενη (negative wake), και συνοδεύεται συχνά από ασυνέχεια στην μεταβολή της μόνιμης ταχύτητας ανόδου της ως συνάρτηση του όγκου της φυσαλίδας. Σε όλα τα πειράματα που έχουν διεξαχθεί, παρατηρείται η δημιουργία ενός σημείου καμψής στο πίσω μέρος της ελεύθερης επιφάνειάς της ενώ σε μερικά από αυτά χάνεται η αξονική της συμμετρία καθώς αποκτά μια σφηνοειδή απόληξη (wedge) στον νότιο πόλο της. Μερικοί ερευνητές έχουν συσχετίσει την ασυνέχεια στην ταχύτητα ανόδου της φυσαλίδας με την ύπαρξη του στροβιλισμού αντίθετης φοράς¹ ή ακόμη και με την δημιουργία του σφηνοειδούς σχήματος². Για την διερεύνηση των μηχανισμών που οδηγούν στα ανωτέρω φαινόμενα πραγματοποιήσαμε υπολογιστική μελέτη. Γι' αυτό το σκοπό έγινε χρήση της εκθετικής μορφής του ιξωδοελαστικού μοντέλου των Phan Thien και Tanner και προσδιορίσαμε τις παραμέτρους του με κατάλληλη προσαρμογή του σε πειράματα ρεολογικού χαρακτήρισμού πολυμερών³. Στη συνέχεια αναπτύξαμε κώδικα πεπερασμένων στοιχείων (κάνοντας χρήση ελλειπτικής γεννήτριας πλέγματος και των μεθόδων SUPG και EVSS) και προσομοιώθηκε η άνοδος της φυσαλίδας, υπολογίζοντας ταυτόχρονα τις παραμορφώσεις που πραγματοποιούνται στο σχήμα της καθώς αυξάνεται η ακτίνα της. Η προσέγγιση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να επηρεάζονται ταυτόχρονα όλοι οι αδιάστατοι αριθμοί: Bond, Archimedes και Deborah. Οι προβλέψεις μας αναπαράγουν με μεγάλη ακρίβεια τα σχήματα των φυσαλίδων³ και τα αποτελέσματα στην περιοχή που εμφανίζεται η ασυνέχεια στην ταχύτητα ανόδου, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συνέχισης μήκους τόξου (arc-length continuation). Η ασυνέχεια αποδίδεται σε ένα βρόχο υστέρησης, αλλά δεν απαιτεί την δημιουργία σφηνοειδούς σχήματος στο σχήμα της φυσαλίδας. Στροβιλισμός αντίθετης φοράς προβλέπεται σε ακτίνες φυσαλίδας μικρότερες αυτής στην οποία πραγματοποιείται το άλμα στην ταχύτητα ανόδου. Στο Σχ.1 παρατίθενται δύο στιγμιότυπα του ροϊκού πεδίου πριν και μετά το άλμα της ταχύτητας ανόδου. Είναι εμφανής η ποιοτική αλλαγή του ροϊκού πεδίου μεταξύ των 2 σχημάτων (Σχ. 1 (a)-(b)) εφόσον όπως παρατηρείται στην δεύτερη περίπτωση, έχει δημιουργηθεί στροβιλισμός αντίθετης φοράς στην περιοχή που βρίσκεται στο πίσω μέρος της φυσαλίδας. Η αλλαγή αυτή αποδίδεται στην οπισθοδρόμηση του ιξωδοελαστικού υλικού⁴ λόγω των υψηλών διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται στα πλαϊνά τμήματα της φυσαλίδας κατά την άνοσή της.

Ευχαριστίες: Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την οικονομική υποστήριξη του προγράμματος διμερούς συνεργασίας «Ελλάδας-Ισραήλ» (PHARMAMUDS) που συγχρηματοδοτείται από την Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Βιβλιογραφία

- 1) Herrera-Velarde, J. R., Zenit, R., Chehata, D., & Mena, B. (2003). The flow of non-Newtonian fluids around bubbles and its connection to the jump discontinuity. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 199-209.
- 2) Hassager, O. (1979). Negative wake behind bubbles in nonnewtonian liquids. *Nature*, 402-403.
- 3) Pilz, C., & Brenn, G. (2007). On the critical bubble volume at the rise velocity jump discontinuity in viscoelastic liquids. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 124-138.
- 4) Bird R. B., Armstrong R. C. and Hassanger O. (1987) *Dynamics of Polymeric Liquids*, John Wiley and Sons, 2nd edition, vol. 1.



Σχήμα 1. Ροϊκό πεδίο γύρω από μια φυσαλίδα αέρα για το ίδιο σεντ παραμέτρων. Οι ποιοτικές διαφορές είναι εμφανείς μεταξύ των 2 λύσεων για αδιάστατη ακτίνα της φυσαλίδας ίση με 2.02.