

KHẢO SÁT DÒNG CHẤT LỎNG TRÊN TƯỜNG PHẪNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP PIV

Nguyễn Anh Tuấn

Trường Đại học Thủy lợi, email: tuan_na_mxd@tlu.edu.vn

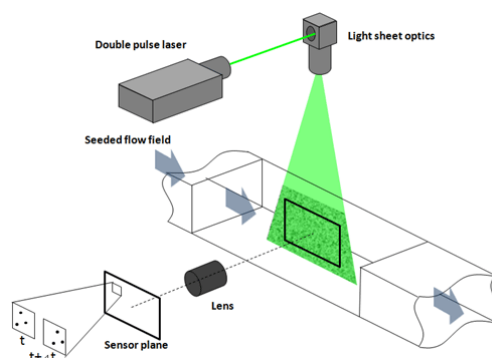
1. GIỚI THIỆU CHUNG

Phương pháp đo trường vận tốc dòng chảy bằng hình ảnh hạt (PIV) xuất hiện cách đây gần 30 năm và kể từ đó đã trở thành một kỹ thuật đo lường thiết yếu trong cơ học chất lỏng trong các phòng thí nghiệm ở cả viện nghiên cứu và trong công nghiệp. Những công bố liên quan đến PIV đã đại diện cho khoảng một nửa tổng số bài báo được trình bày trong Hội nghị chuyên đề quốc tế Lisbon về các ứng dụng của laser trong kỹ thuật cơ học chất lỏng được tổ chức từ năm 2000. Thành công này, được thúc đẩy bởi sự tiến bộ trong công nghệ laser cũng như công nghệ điện tử ghi hình ảnh, có thể được giải thích bằng số lượng lớn thông tin có thể được ghi lại ngay tức thời và đồng thời so với các phép đo khác kỹ thuật. Nó cũng liên quan đến sự phát triển của một số hệ thống thương mại đã làm cho kỹ thuật này dễ dàng phổ biến trên toàn thế giới cho rất nhiều ứng dụng khác nhau, từ quy mô vi lỏng (~ vài trăm micron) đến trường dòng lớn (~ 1 m) trong đường hầm gió.

Mặc dù PIV dựa trên một nguyên tắc đơn giản, nhưng cần cẩn thận trong việc triển khai thực tế để có được một phép đo đáng tin cậy và giảm sai số. Giá trị chính của kỹ thuật PIV là khả năng đo nhiều vận tốc tức thời không chỉ tại một điểm mà trên toàn bộ mặt phẳng đồng thời: cả hình ảnh hóa và định lượng cấu trúc 2D đều có sẵn. Điều này, cùng với những tiến bộ trong máy tính và công cụ hình ảnh số hoá, tạo nên sự thành công của nó trong hơn hai thập niên qua.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nguyên lý của phương pháp PIV hai chiều (2D-PIV)

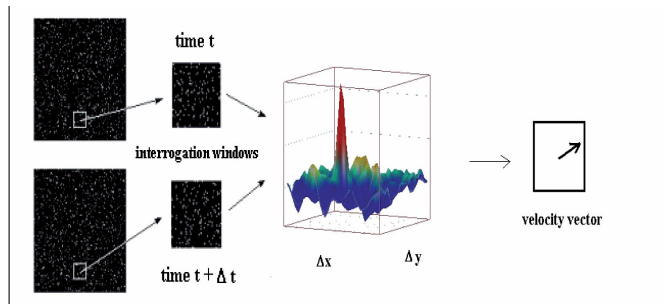


Hình 1. Thiết lập cấu hình đo dòng bằng phương PIV 2 chiều

nguồn ảnh: https://www.seika-di.com/en/measurement/principle_of_piv.html

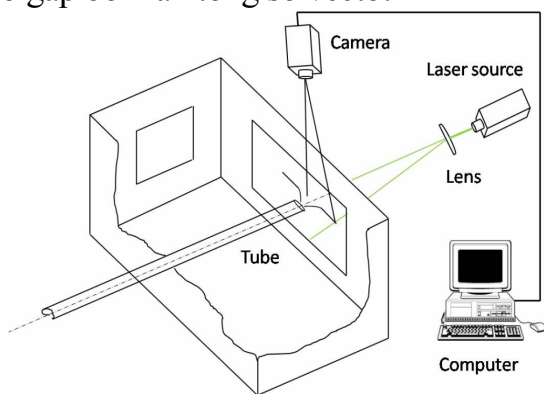
Dựa trên định nghĩa của vận tốc, tức là đạo hàm bậc nhất của vị trí theo thời gian, kỹ thuật này bao gồm đo độ dịch chuyển của phần tử chất lỏng (Δx) trong một khoảng thời gian nhất định (Δt). Vị trí của phần tử chất lỏng được chụp ảnh thông qua ánh sáng tán xạ bởi các hạt chất lỏng hoặc chất rắn được chiếu sáng bằng mặt phẳng laze (laser sheet). Trong hầu hết các ứng dụng, các hạt như vậy không hiện diện tự nhiên trong dòng chảy, do đó, phải được đưa từ bên ngoài vào (gieo hạt). Các hạt này được cho là đủ nhỏ và nhẹ để di chuyển theo vận tốc cục bộ của dòng chảy. Hình 2 cho thấy một cấu hình đo PIV hai chiều tiêu chuẩn điển hình (2D-PIV) được thiết lập. Một mặt phẳng trong dòng chảy được chiếu sáng hai lần có nghĩa là hai tấm ánh sáng laze chồng lên nhau. Ánh sáng

phân tán bởi các hạt được ghi lại trên hai khung riêng biệt trên một cảm biến máy ảnh kỹ thuật số tốc độ cao (CCD camera).



Hình 2. Đánh giá hình ảnh hạt bằng hàm tương quan chéo [2]

Để đánh giá, hình ảnh kỹ thuật số PIV được chia thành các khu vực nhỏ gọi là “cửa sổ thăm vấn” (interrogation window). Vector độ dịch chuyển địa phương hai chiều của các hình ảnh hạt giữa hai mặt phẳng ánh sáng được xác định cho một cửa sổ bằng hàm tương quan chéo thống kê trong không gian. Các cửa sổ thăm vấn lân cận có thể được chồng lên một phần để giảm khoảng cách giữa hai vector trong lưới vector kết quả. Thông thường, chồng lấn khoảng 50% có thể được chấp nhận. Khi đó sẽ làm tăng gấp đôi số vector theo mỗi hướng và do đó gấp bốn lần tổng số vector.



Hình 3. Sơ đồ thí nghiệm PIV

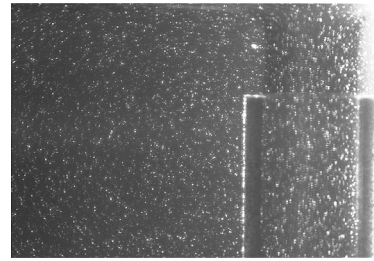
Bài báo này tập trung vào việc khảo sát thực nghiệm trường vận tốc dòng chất lỏng trên tường phẳng bằng phương pháp PIV, chú ý đến các nghiên cứu PIV về dòng chảy một pha. Bài báo sẽ bắt đầu với một cái nhìn tổng quan ngắn gọn của kỹ thuật PIV. Tiếp theo là phần mô tả thí nghiệm đo trường vận tốc bằng phương pháp PIV với chất lỏng là nước được phun ra khỏi đường ống mặt cắt

tròn và đập vào một mặt phẳng vuông góc với trục tâm ống.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

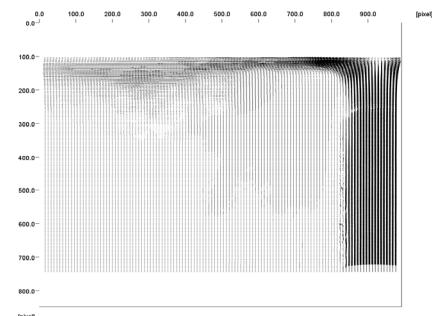
Thiết lập thí nghiệm

Hình 3 cho thấy thiết lập hệ thống đo PIV hai chiều của dòng trên thành tường phẳng. Một ống tròn có đường kính 10 mm đã được sử dụng trong thí nghiệm để phun vào thành tường phẳng tạo ra một dòng chảy trên thành tường. Đường ống này được lắp vào một mạch tuần hoàn dòng nước, bao gồm một bể điều khiển nhiệt độ, một máy bơm ly tâm và một đồng hồ đo lưu lượng điện từ (FD-M5A, Keyence, Nhật bản). Nhiệt độ nước được duy trì ở nhiệt độ $20 \pm 20^\circ\text{C}$.

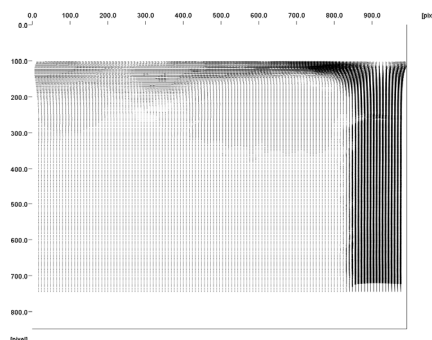


Hình 4. Hình ảnh các hạt truy vết

Các kết quả và thảo luận



a) Re (tại chỗ ra của vòi phun) = 5000



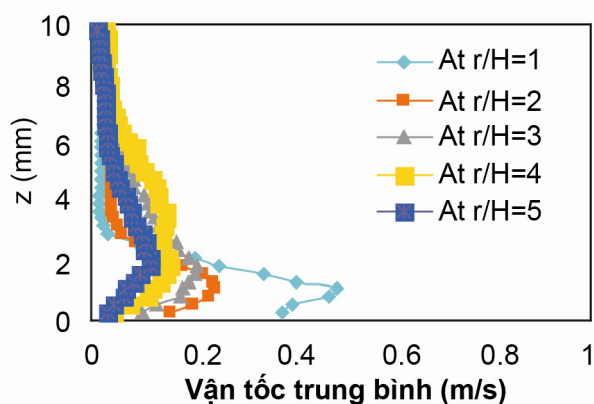
b) Re (tại chỗ ra của vòi phun) = 8000

Hình 5. Biểu đồ vector vận tốc toàn dòng

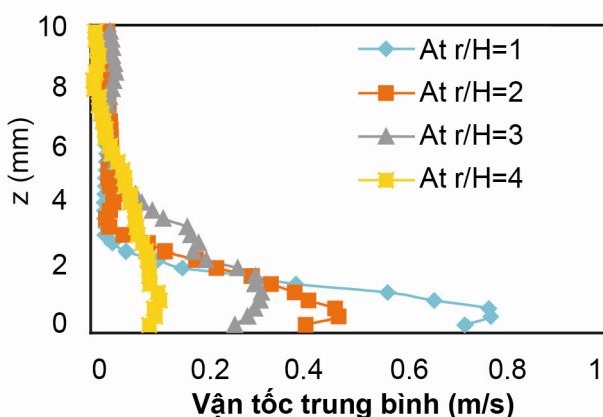
Ống tròn thẳng, đường kính trong $d = 10\text{mm}$ xả vào bể chứa dung dịch ($65\text{cm} \times 44\text{cm} \times 38\text{cm}$, 100 lít) có trang bị cửa sổ kính. Khoảng cách H giữa lõi ra ống và tường chắn được lấy là 10 mm (bằng đường kính ống d). Một mặt phẳng laser màu xanh lá, bước sóng 532nm, công suất 1w được sử dụng làm nguồn sáng (mặt phẳng $r - z$ trong Hình 3). Mặt phẳng laser được chiếu theo phương ngang qua bức tường chắn của cửa sổ kính vào lõi ra của vòi phun. Hình ảnh cho PIV được chụp bằng máy ảnh tốc độ cao với độ phân giải 1280×1024 pixel. Tốc độ khung hình của máy ảnh đã được thay đổi tùy thuộc vào tốc độ dòng. Các hình ảnh PIV được phân tích bằng kỹ thuật tương quan chéo. Vùng thăm vấn có kích thước 32×16 pixel không có sự chồng lấn của các khu vực liền kề được sử dụng cho lần vượt qua đầu tiên và vùng thăm vấn 16×8 pixel với độ chồng lấn 50% cho lần thứ hai. Sau khi trường vectơ được tính toán, trường này đã được xác thực bằng cách sử dụng bộ lọc trung vị cục bộ.

Cuối cùng, chúng tôi lấy trung bình 500 trường vận tốc tức thời và thu được trường vận tốc trung bình. Phần mềm mở JPIV đã được sử dụng để phân tích PIV. Các hạt hình cầu MBX-30 có đường kính trung bình 30 μm được cho vào để khảo sát dòng chảy.

Hình 5 là biểu đồ vector của dòng chảy trên thành tường phẳng với các số Reynolds tại lõi ra của ống lần lượt là $Re = 5000$ và 8000 . Và hình 6 là biểu đồ vận tốc của dòng chất lỏng chảy trên tường phẳng đi ra ngoài theo hướng kính. Tại vùng dòng chất lỏng va đập vào thành tường chắn, dòng chất lỏng bị dừng đột ngột (vận tốc gần như bằng 0). Sau đó dòng chất lỏng bị chuyển hướng và bắt đầu chảy trên tường chắn theo phương hướng kính tạo thành dòng lớp biên. Vận tốc của dòng chảy tăng dần và đạt vận tốc tối đa tại khu vực cách chỗ va đập của dòng chất lỏng tại vị trí $r/H = 1$ theo hướng kính. Sau đó dòng bắt đầu giảm tốc khi đi ra phía ngoài theo hướng kính (vận tốc dòng trên tường phẳng rất nhỏ khi khoảng cách $r/H = 5$). Khi số Reynolds tăng từ 5000 lên 8000, dòng lớp biên trên thành tường được mở rộng theo hướng kính.



(a) Re (tại chỗ ra của vòi phun) = 5000



(b) Re (tại chỗ ra của vòi phun) = 8000

Hình 6. Biểu đồ vận tốc trên tường phẳng

4. KẾT LUẬN

Việc khảo sát trường vận tốc dòng trên thành tường phẳng đã được thực hiện bằng phương pháp đo dòng PIV. Kết quả cho thấy chất lỏng gần như ngừng chảy tại vùng va đập khi ra khỏi ống và va chạm vào thành tường chắn. Tại khu vực này, dòng chất lỏng bị đổi hướng và bắt đầu chảy trên thành tường chắn. Tốc độ tăng dần đạt vận tốc cực đại trước khi giảm dần khi đi ra ngoài theo hướng kính. Số Re tăng sẽ mở rộng dòng trên tường phẳng theo hướng kính ra ngoài.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Zuckerman N, Lior N, Jet impingement heat transfer: Physics, Correlations, and Numerical modeling, *Advances in Heat Transfer*, Vol. 39 (2006), pp. 565-631.