# ANỐT HÓA CỨNG CHO NHÔM VÀ MỘT SỐ HỢP KIM NHÔM ĐỂ CẢI THIỆN CÁC TÍNH CHẤT BỀ MẶT

# HARD ANODIZING OF ALUMINIUM AND ITS ALLOYS TO IMPROVE SURFACE PROPERTIES

**Nguyễn Thuý Ái, Nguyễn Thanh Lộc, Đặng Vũ Ngoạn**
Khoa Công Nghệ Vật Liệu, Trường Đại học Bách Khoa Tp.Hồ Chí Minh, Việt Nam

**TÓM TẮT**

Anốt hóa cứng đã được biết đến như là một qui trình hiệu quả để tạo ra lớp phủ cứng và chịu mài mòn trên Al và hợp kim của nó. Lớp phủ này có bề dày (75-100 m) lớn hơn các lớp phủ anốt hóa thông thường. Tuy nhiên qui trình anốt hóa cứng lại đòi hỏi một số điều kiện riêng biệt như nhiệt độ rất thấp, mật độ dòng cao và dung dịch điện phân đặc biệt. Các đòi hỏi này gây khó khăn cho việc thiết kế và vận hành qui trình. Do đó việc tìm ra một qui trình mới có thể tạo ra lớp phủ cứng hơn nhưng ở nhiệt độ cao hơn là rất cần thiết. Trong bài báo này, qui trình anốt hóa cứng trong hỗn hợp dung dịch axít formic và axít oxalic đã được nghiên cứu trên Nhôm sạch kỹ thuật 99,8%, Hợp kim Al-Mg-Si (6061) đại diện cho nhóm hợp kim biến dạng không hóa bền bằng nhiệt luyện và Hợp kim Al-Cu (Đura) đại diện cho nhóm hợp kim biến dạng hóa bền bằng nhiệt, chứa pha thứ hai hóa bền. Ảnh hưởng của các thông số điện hóa đến bề dày, độ cứng, độ xốp, độ chịu mài mòn của lớp phủ cũng đã được khảo sát.

**ABSTRACT**

Hard anodizing is known as an efficient process to produce a hard and wear resistance coating over aluminum and its alloys. The thickness of this coating is thicker (75-100 mm) than the one obtained from normal anodizing. However the process requires some special conditions such as very low temperature, high current density and particular electrolytes. That brings out a lot of difficulties in process setting up and operation. Therefore, it is necessary to find a new process which can produce a harder coating at higher temperature. In this paper, hard anodizing over aluminum, Duralumin and 6061 alloy in a mixture of oxalic acid and formic acid was studied. The effects of electrochemical parameters on coating thickness, hardness, porosity and wear reasistance were also investigated.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, thế giới đang có xu hướng thay thế dần các hợp kim sắt thép thông thường bằng vật liệu nhôm vì những tính năng ưu việt của loại vật liệu này (nhẹ, bền ăn mòn và dễ tạo hình, v.v.). Đặc biệt là trong công nghệ hàng không, tàu biển, ôtô,v.v…giúp giảm đáng kể khối lượng của phương tiện điều đó dẫn tới tiết kiệm được nhiên liệu, tăng công suất hoạt động và giảm thiểu các tác nhân ô nhiễm môi trường. Trong đó, anốt hóa là một khâu quan trọng để xử lý các sản phẩm nhôm.

Những năm gần đây, công nghệ anốt hóa được đặc biệt quan tâm và phát triển mạnh mẽ ở khía cạnh công nghệ tạo ra những lớp phủ anốt hóa có độ dày (>50 µm) và độ cứng khá cao (trên 3500 MPa) khác với các lớp phủ anốt hóa trước đây thường rất mỏng không có khả năng chịu mài mòn. Lớp phủ anốt hóa cứng: dày, chịu mài mòn tốt, có độ xốp nhất định nên có khả năng ngấm dầu bôi trơn được ứng dụng khá phổ biến trong các lĩnh vực kỹ thuật công nghiệp để tăng cường khả năng hoạt động cho những chi tiết chịu mài mòn bề mặt như pitông, xylanh, bánh răng của động cơ hơi nước, v.v...

Công nghệ anốt hóa cứng đã được áp dụng khá thành công ở nhiều nước trên thế giới như: Anh, Mỹ, Thụy Sĩ, Hàn Quốc,v.v.Trong nước, công nghệ anốt hóa cứng đã được quan tâm nghiên cứu nhưng chưa phổ biến và ứng dụng rộng rãi. Các nghiên cứu chủ yếu thực hiện trên dung dịch sulfuric, với độ cứng trên dưới 4000 MPa và gặp nhiều khó khăn trong việc

phải làm lạnh dung dịch điện phân xuống tới -$5^0$C.

Do đó, đề tài được đặt ra với mục đích tìm kiếm những hệ dung dịch có khả năng anốt hóa sâu, tạo được những lớp phủ có độ cứng cao hơn và có khả năng anốt hóa cứng ở nhiệt độ thường

Ở Việt Nam, công nghệ anốt hóa cứng được ứng dụng rất nhiều trong việc tăng bền và phục hồi các chi tiết từ nhôm và hợp kim nhôm. Cụ thể như sau:

- Công nghệ anốt hóa cứng được dùng để nâng cao tuổi thọ, chế tạo và phục hồi các bản in offset thay vì trước đây phải nhập từ nước ngoài với giá khá cao. Các bản in được anốt hóa có tuổi thọ tăng lên rõ rệt từ 5000-10000 lần so với 500-1000 lần so với khi chưa anốt hóa [15].
- Đối với các chi tiết bộ đôi như piston, xecmăng, xylanh, các van trượt của phần tử khí nén, các chi tiết bạc lót trong bơm, v.v.thì anốt hóa là một khâu xử lý không thể thiếu để tạo bề mặt chịu mài mòn tốt và có khả năng tự bôi trơn.
- Đặt biệt là trong công nghiệp dệt, sợi có rất nhiều các chi tiết máy bằng nhôm cần được tăng cứng và tăng bền như: túi góp sợi, gàng kéo sợi, bộ góp sợi, v.v.

## 2. PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

Các thông số công nghệ tối ưu được chọn theo giá trị độ cứng cao nhất; giá trị độ dày chỉ dùng để đánh giá mức độ phù hợp về độ dày của lớp phủ anốt hóa cứng theo tiêu chuẩn ASTM (độ dày lớp anốt hóa cứng dùng trong kỹ thuật phải lớn hơn 50 µm) và nhận xét quy luật ảnh hưởng của các thông số điện hóa đến lớp phủ. Các giá trị tối ưu đưa ra chỉ là những số liệu phù hợp nhất trong khoảng giá trị khảo sát (được thể hiện bằng số in đậm).

**Chọn vật liệu làm mẫu**

Mẫu anốt hóa được chọn đại diện cho một số các nhóm hợp kim tiêu biểu.

Cụ thể như sau:

♦ Nhôm sạch kỹ thuật 99,8%

♦ Hợp kim Al-Mg-Si (6061) đại diện cho nhóm hợp kim biến dạng không hóa bền bằng nhiệt luyện.

♦ Hợp kim Al-Cu (Đura) đại diện cho nhóm hợp kim biến dạng hóa bền bằng nhiệt, chứa pha thứ hai hóa bền.

Thành phần các nguyên tố hóa học của các mẫu nghiên cứu (phân tích bằng máy quang phổ phát xạ Spectromax) như sau:

**Bảng 1: Thành phần nhôm sạch kỹ thuật**

| Nguyên tố | Thành phần % | Nguyên tố | Thành phần % |
|---|---|---|---|
| Si | 0,044 | Ti | 0,002 |
| Fe | 0,093 | Ag | 0,001 |
| Cu | 0,001 | B | 0,004 |
| Mn | 0,002 | Bi | <0,003 |
| Mg | 0,002 | Cd | <0,001 |
| Zn | 0,005 | Zr | 0,001 |
| Ni | 0,002 | Co | <0,001 |
| Cr | 0.002 | V | 0,004 |
| Pb | <0,002 | Ga | 0,009 |
| Sn | <0,003 | **Al** | **99,8** |

**Bảng 2: Thành phần hợp kim 6061**

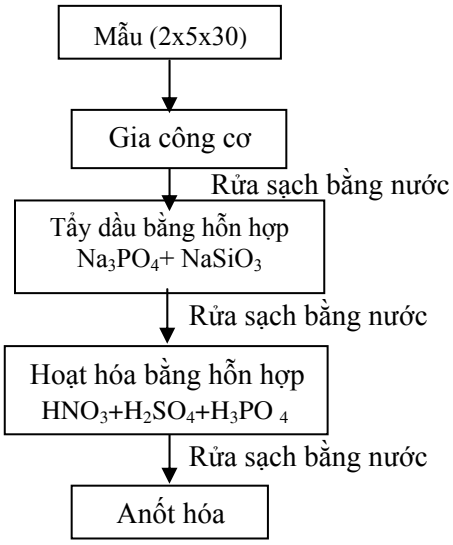
| Nguyên tố | Thành phần % | Nguyên tố | Thành phần % |
|---|---|---|---|
| Si | 0,468 | Ti | 0,013 |
| Fe | 0,192 | Na | 0,001 |
| Cu | 0,02 | B | 0,002 |
| Mn | 0,002 | Bi | 0,004 |
| Mg | 0,51 | Ca | 0,001 |
| Zn | 0,045 | Zr | 0,001 |
| Ni | 0,005 | Co | <0,001 |
| Cr | 0,003 | V | 0,004 |
| Pb | <0,002 | Ga | 0,016 |
| Sn | <0,003 | **Al** | **98,7** |

**Bảng 3: Thành phần hợp kim Đura**

| Nguyên tố | Thành phần % | Nguyên tố | Thành phần % |
|---|---|---|---|
| Si | 0,198 | Ti | 0,037 |
| Fe | 0,449 | Ag | 0,001 |
| Cu | 3,74 | B | 0,001 |
| Mn | 0,315 | Bi | <0,002 |
| Mg | 1,31 | Ca | 0 |
| Zn | 0,064 | Zr | 0,003 |
| Ni | 0,01 | Co | <0,001 |
| Cr | 0.01 | V | 0,003 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Pb | 0,003 | Ga | 0,006 |
| Sn | 0,009 | **Al** | **93,8** |

Các thí nghiệm anốt hóa được thực hiện theo quy trình sau:




## 3. KẾT QUẢ VÀ NHẬN XÉT

### 3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ mol formic/oxalic

Thí nghiệm được khảo sát dựa trên sự thay đổi tỷ lệ số mol của hai cấu tử trong hệ bằng cách giữ nguyên nồng độ axít oxalic và thay đổi nồng độ fomic, được ký hiệu từ C1(80-60) đến C5(80-140) tương ứng với nồng độ axít oxalic là 80g/l không đổi còn nồng độ axít formic thay đổi từ 60 đến 140 g/l. Các thí nghiệm đều được thực hiện ở mật độ dòng 6A/dm$^2$, nhiệt độ 30$^0$C, thời gian 60 phút. Các khoảng giá trị chọn khảo sát được tham khảo trên các tài liệu nước ngoài [1,2,8,9].

**Bảng 4 : Giá trị đo độ cứng và độ dày lớp anốt hóa theo thành phần axít formic**

| Tỷ lệ HCOOH/ $H_2C_2O_4$ (mol/mol) | Độ cứng (HV) *(Độ dày (mμ))* | | |
|---|---|---|---|
| | A | M | D |
| 1,5 | 398 *(48,68)* | 269 *(43,10)* | 256 *(14,48)* |
| 2 | **420** *(57,12)* | 320 *(46,00)* | 303 *(25,49)* |
| 2,5 | 381 (*67,30*) | 353 (*59,23*) | 302 (*40,56*) |
| 3 | 372 (*75,40*) | **370** (*63,01*) | 312 (*35,78*) |
| 3,5 | 328 (*66,60*) | 321 (*64,50*) | **318** (*55,26*) |

Ta thấy rằng, độ dày lớp anốt hóa của các mẫu đều tăng theo chiều tăng tỷ lệ mol formic/oxalic vì khi nồng độ axít tăng, quá trình tạo màng sẽ xảy ra nhanh hơn, độ dày và độ cứng tăng. Tuy nhiên, đến một giá trị nồng độ nhất định do sự hoà tan của lớp màng xảy ra mạnh dẫn đến tăng kích thước lỗ xốp nên độ cứng giảm xuống; giá trị độ cứng của các mẫu đi qua một điểm cực đại.

### 3.2. Khảo sát sự thay đổi giá trị pH tại tỷ lệ mol axít formic/axít oxalic tối ưu

Thay đổi đồng thời khối lượng axít oxalic và axít formic sao cho tỷ lệ mol không đổi theo hướng giảm giá trị pH của dung dịch. Giữ nguyên chế độ điện phân: 6A/dm$^2$, 30$^0$C, 60 phút.

Kết quả khảo sát được trình bày ở bảng 3.2, cho thấy khi tăng lượng axít, không có lợi cho quá trình tạo màng của nhôm sạch và hệ hợp kim 6061. Tuy nhiên, đối với hợp kim Đura thì quá trình có thuận lợi hơn một chút do hòa tan được phần lớn các pha thứ 2 nên có khả năng tạo lớp màng dày hơn nhưng giá trị độ cứng vẫn chưa cao.

**Bảng 5: Giá trị đo độ cứng và độ dày lớp anốt hóa theo giá trị pH**

| pH | Độ cứng (HV) *(Độ dày (mμ))* | | |
|---|---|---|---|
| | A | M | D |
| 2,61 | **420** (*57,12*) | | |
| 2,59 | 378 (*63,40*) | | |
| 2,55 | 377 (*60,17*) | | |
| 2,50 | 376 (*60,90*) | | |
| 2,54 | | **370** (*63,01*) | |
| 2,49 | | 369 (*64,45*) | |
| 2,42 | | 363 (*70,30*) | |
| 2,39 | | 313 (*66,19*) | |
| 2,52 | | | 318 (*55,26*) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2,48 | | | 332 (*58,50*) |
| 2,42 | | | **351** (*71,50*) |
| 2,38 | | | 345 (*73,49*) |

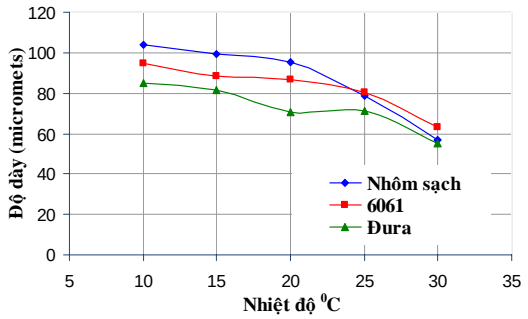
### 3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ

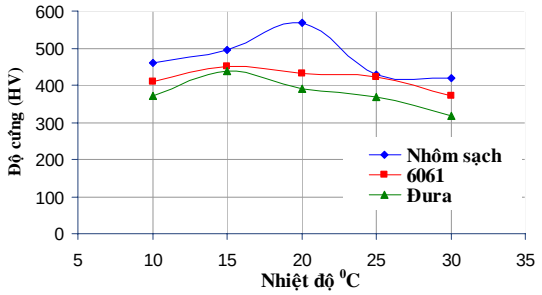
Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình anốt hóa được thực hiện tại nồng độ tối ưu mật độ dòng 6A/dm$^2$, thời gian 60 phút và nhiệt độ thay đổi từ 30$^0$C đến 10$^0$C.

Kết quả cho thấy, khi giảm nhiệt độ, độ dày lớp anốt hóa của nhôm sạch và các hợp kim đều tăng do giảm được đáng kể khả năng hòa tan của dung dịch, lớp màng ít xốp, độ cứng tăng theo chiều giảm nhiệt độ. Tuy nhiên, với độ dày quá lớn độ cứng giảm, do độ dày của lớp màng anốt hóa phát triển trên cơ sở tăng độ dày của phần xốp.

**Bảng 6: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ dày và độ cứng của lớp anốt hóa**

| Nhiệt độ | Độ cứng (HV) (*Độ dày (mμ)*) | | |
|---|---|---|---|
| | A | M | D |
| 30 | 420 (*57,12*) | 370 (*63,01*) | 318 (*55,26*) |
| 25 | 430 (*80,39*) | 421 (*78,50*) | 368 (*71,35*) |
| 20 | **569** (*95,06*) | 432 (*86,80*) | 389 (*70,64*) |
| 15 | 494 (*99,57*) | **450** (*88,50*) | **439** (*81,35*) |
| 10 | 459 (*103,70*) | 410 (*94,50*) | 372 (*85,05*) |



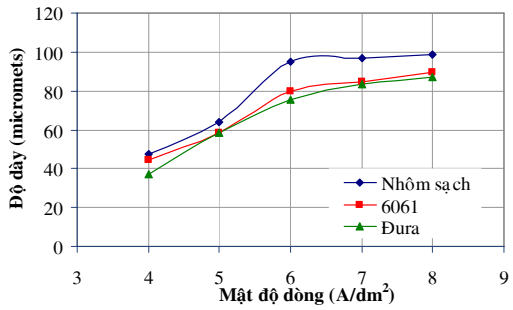

**Hình 1: Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ cứng và độ dày lớp anốt hóa.**

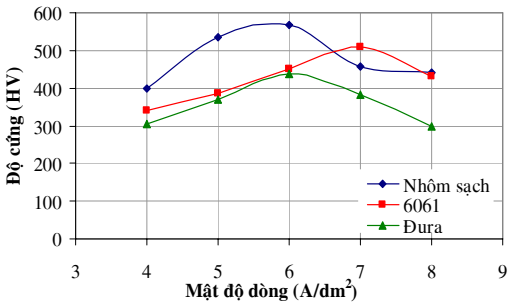
### 3.4. Ảnh hưởng của mật độ dòng điện

Khảo sát ảnh hưởng của mật độ dòng tại nồng độ, nhiệt độ tối ưu của từng loại hợp kim.

**Bảng 7: Ảnh hưởng của mật độ dòng đến độ cứng và độ dày lớp màng anốt hóa**

| Mật độ dòng (A/dm$^2$) | Độ cứng (HV) (*Độ dày (mμ)*) | | |
|---|---|---|---|
| | A | M | D |
| 4 | 398 (*47,50*) | 339 (*44,45*) | 306 (*37,10*) |
| 5 | 534 (*64,18*) | 385 (*58,38*) | 370 (*58,55*) |
| 6 | **569** (*95,06*) | 450 (*79,50*) | **439** (*75,50*) |
| 7 | 458 (*97,03*) | **510** (*84,78*) | 383 (*83,70*) |
| 8 | 440 (*98,74*) | 432 (*89,57*) | 298 (*87,05*) |



**Hình 2: Ảnh hưởng của mật độ dòng điện đến độ dày và độ cứng lớp anốt hóa**

Ta thấy rằng tồn tại một vùng bão hòa gần như nằm ngang ứng với giá trị mật độ dòng nằm trong khoảng 6-7 A/dm$^2$ được gọi là giá trị mật độ dòng tới hạn $j_{th}$ (hình 3.2). Với giá trị mật độ dòng $j>j_{th}$ thì độ dày tăng rất chậm và hầu như không tăng do hiệu ứng tăng nhiệt Jun-Lenxơ, sinh nhiệt cục bộ làm cho quá trình hòa tan màng xảy ra nhanh hơn. Tại thời điểm quá trình phát triển các cột oxít xốp và hòa tan chúng cân bằng nhau thì tốc độ màng anốt phát triển chậm lại và đạt chiều dày gần như bão hòa; độ cứng tương ứng giảm dần khi tăng j vượt quá giá trị $j_{th}$.

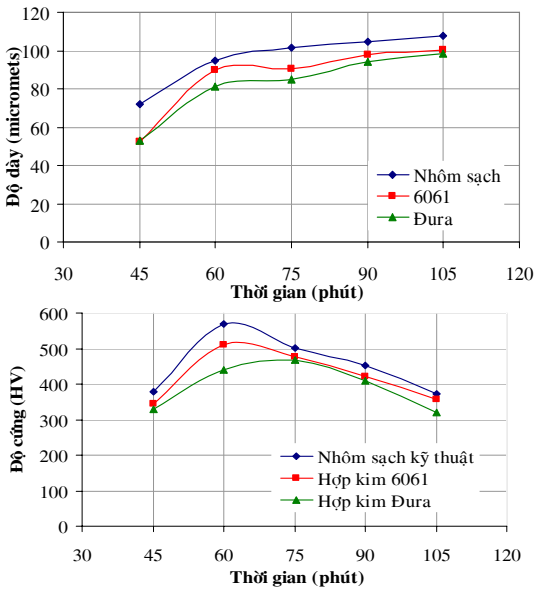
### 3.5. Ảnh hưởng của thời gian đến quá trình anốt hóa

**Bảng 7: Ảnh hưởng của thời gian đến độ cứng và độ dày lớp anốt hóa**

| Thời gian (phút) | Độ cứng (HV) *(Độ dày (mμ))* | | |
|---|---|---|---|
| | A | M | D |
| 45 | 380 (*72,21*) | 346 (*52,58*) | 328 (*52,77*) |
| 60 | **569** (*95,06*) | **510** (*89,80*) | 439 (*81,35*) |
| 75 | 502 (*101,45*) | 476 (*90,36*) | **467** (*85,02*) |
| 90 | 453 (*104,63*) | 423 (*98,12*) | 409 (*94,32*) |
| 105 | 371 (*107,88*) | 357 (*100,23*) | 319 (*98,36*) |

Theo dõi ảnh hưởng của thời gian đến độ dày của lớp phủ cho thấy độ dày lớp phủ tăng dần theo thời gian, màu sắc chuyển từ vàng sang vàng nâu, nhưng tốc độ phát triển lớp màng giảm dần. Độ cứng qua điểm cực đại sau đó giảm dần theo thời gian và độ tăng chiều dày lớp màng.

Qua khảo sát ảnh hưởng của điều kiện khuấy trộn (sục khí) cho thấy việc khuấy trộn làm đồng đều hóa nhiệt độ và thành phần dung dịch nên độ dày và độ cứng tăng một chút. Nhưng do axit formic là cấu tử dễ bay hơi nên việc khuấy trộn làm mất tính ổn định của dung dịch.

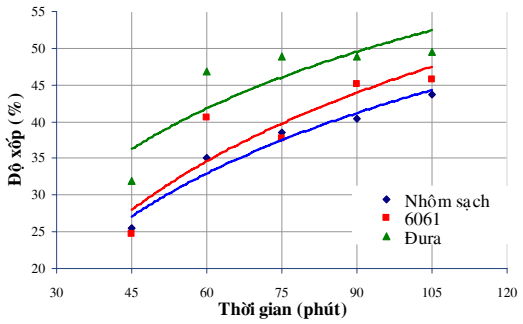



**Hình 3: Ảnh hưởng của thời gian tới độ dày và độ cứng lớp anốt hóa**

**Hình 4: Ảnh hưởng của thời gian đến màu sắc lớp phủ anốt hóa.**

### 3.6. Khảo sát độ xốp theo thời gian

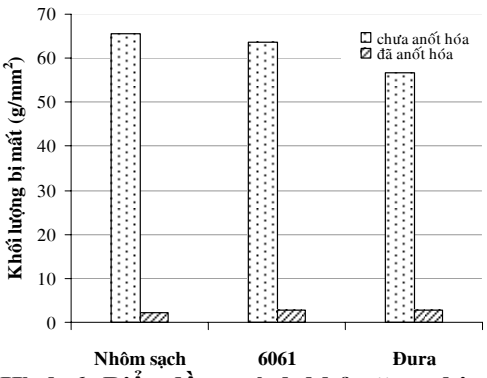
Theo thời gian anốt hóa, một mặt phát triển độ dày lớp xốp của màng nhưng mặt khác làm tăng kích thước lỗ xốp, do đó độ xốp tăng, độ cứng giảm. Độ xốp của lớp anốt hóa trong hệ dung dịch oxalic-formic nằm trong khoảng 25-50% thấp hơn độ xốp đạt được trong hệ dung dịch sulfuric từ 43-69% (hình 5). Từ góc độ sử dụng vật liệu cho thấy, giá trị độ xốp từ 25-50% khá phù hợp đối với tiêu chuẩn về độ xốp thể tích của hợp kim ổ trục hệ bạcbít (độ xốp 35-45%) theo yêu cầu làm việc của các bộ đôi, ổ trượt, làm việc trong điều kiện ma sát trượt có bôi trơn.




**Hình 5: Ảnh hưởng của thời gian đến độ xốp của lớp phủ anốt hóa**

### 3.7. Kiểm tra khả năng chịu mài mòn của lớp anốt hóa cứng

Nhận thấy rằng, khối lượng kim loại bị mất đi của nhôm sạch là lớn nhất, kế đến là hợp kim 6061 và hợp kim Đura tương ứng với khả năng chịu mài mòn của hợp kim tăng dần. Tuy nhiên lớp phủ anốt hóa trên nhôm sạch lại có khả năng chịu mài mòn cao hơn cả, phù hợp với kết quả đo độ cứng, do lớp oxít trên nhôm sạch sít chặt hơn. Điều đó cũng cho thấy rằng sự có mặt của những nguyên tố hợp kim trong lớp phủ làm ảnh hưởng rất lớn đến cấu trúc hình thành của lớp phủ anốt. Từ biểu đồ so sánh (hình 6) ta thấy khi được anốt hóa khả năng chịu mài mòn của chi tiết tăng lên gấp 20 lần.




**Hình 6: Biểu đồ so sánh khả năng chịu mài mòn của vật liệu nhôm và lớp anốt hóa**

Tóm lại, điều kiện anốt hóa tối ưu theo độ cứng được trình bày trong bảng sau:

**Bảng 8: Điều kiện anốt hóa tối ưu cho nhôm và hợp kim.**

| Điều kiện anốt hóa và tính chất của lớp phủ | Nhôm sạch | Hợp kim 6061 | Hợp kim Đura |
|---|---|---|---|
| Nồng độ axít axít oxalic (g/l) | 80 | 80 | 112 |
| Nồng độ axít axít formic (g/l) | 80 | 120 | 196 |
| Mật độ dòng ($A/dm^2$) | 6 | 7 | 6 |
| Nhiệt độ ($^oC$) | 20 | 15 | 15 |
| Thời gian (phút) | 60 | 60 | 75 |
| Độ cứng (MPa) | 5690 | 5200 | 5080 |
| Độ dày tương ứng (mm) | 95,06 | 89,8 | 85,02 |

## 4. KẾT LUẬN

So với các kết quả nghiên cứu trên hệ sulfuric phụ gia axít oxalic được công bố vào năm 1996 thì kết quả độ cứng của lớp phủ anốt hóa đạt trên cùng một loại nhôm sạch kỹ thuật 99,8% trong hệ hỗn hợp axít oxalic và axít formic cao hơn, đạt 5690 MPa so với trong hệ sulfuric là 4640 MPa [15].

Tuy nhiên, mỗi chế độ anốt hóa đều có những ưu điểm và khuyết điểm riêng của nó. Mỗi công nghệ phù hợp với từng đặc tính riêng của sản phẩm. Hệ sulfuric tuy kinh tế hơn về mặt vật tư hóa chất nhưng ngược lại phải thực hiện ở nhiệt độ âm. Thêm vào đó, những chi tiết cần độ cứng cao thì phương pháp này không đạt yêu cầu hay đối với những chi tiết cần bít kín, nhuộm đen thì công nghệ này không phù hợp vì độ xốp khá cao, màu sắc sáng. Hệ axít oxalic và axít formic tuy chi phí cho vật tư hóa chất cao hơn một chút nhưng ngược lại có khả năng anốt hóa cứng ở nhiệt độ cao hơn, giảm đáng kể chi phí cho thiết bị làm lạnh, năng lượng. Thêm vào đó giá trị độ cứng đạt được cao hơn nhiều.

Giá trị độ cứng và độ dày trên nhôm sạch đạt được ở nhiệt độ thường trong điều kiện khí hậu Việt Nam (nhiệt độ trung bình là $27^0C$) là 4200 MPa và 72 µm đã đạt yêu cầu về độ cứng và độ dày theo tiêu chuẩn ASTM B 580-79 (phiên bản 2000).

## MỤC LỤC THAM KHẢO

1. S. Wernick, O.B.E., F.R.I.C., F.I.M., F.I.M.F., R. Pinner, B.Sc., F.I.M.F., F.I. Corr.T., P.G. Sheasby, B.Sc, F.I.M.F : The Surface Treatment and Finishing of Aluminium and its Alloys, Finish Publications LTD. Teddington, Middlesex, England, 1987.

2. Jenny - The Anodic Oxidation Of Aluminium And Its Alloys, 1940.
3. Sanford process Corp - U.S. Pat. 4.128.461, 1978.
4. Lelong, P., Segond and Herenguel, J., Proc, Americian Electroplaters Assosiaction. 1959.
5. Trương Ngọc Liên - Ăn Mòn Và Bảo Vệ Kim Loại, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2004.
6. Nguyễn Đình Phổ - Ăn Mòn Và Bảo Vệ Kim Loại, Trường ĐHBK TpHCM, 1980.
7. V. F. Henley, Anodic Oxidation Of Aluminium And Its Alloys, Pergamon press Ltd, 1982.
8. José L.Gazapo and J. Gea, INESPAL Laminación, Alicante, Anodizing Of Aluminium, TALAT Lecture 5/2003.
9. http://www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/The_Industry/Transportation_Market/Auto_Truck/Default281.htm
10.http://www.caswellplating.com/kits/index.html.
11.Nguyễn Văn Dán, Công Nghệ Nhiệt Luyện Và Xử Lý Bề Mặt, Nhà xuất bản ĐHQG Tp.HCM, 2002
12.Campbell, W.J., Processing Conference Anodizing Aluminium, Nottingham, 1961.
13.Nguyễn Đình Soa, Hóa Vô Cơ, Trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM.
14.Marson R.B, Factors Affecting The Formation Of Anodic Oxide Coatings In Sulfuric Acid Electrolyte, J. Electrochem. Soc., Vol.102 (1965).
15.Phùng Thị Tố Hằng, Nghiên Cứu Công Nghệ Anốt Hóa và Ứng Dụng Để Xử Lý Bề Mặt Các Chi Tiết Nhôm và Hợp Kim Nhôm, Luận án phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật, trường ĐHBK, Hà Nội, 1996.
16.Nguyễn Khắc Xương, Vật Liệu Kim Loại Màu - NXB Khoa Học Kỹ Thuật Hà Nội, 2003.
17.Nguyễn Văn Lộc - Kỹ Thuật Mạ Điện - Nhà xuất bản Giáo dục, 2001.