

Chemical milling

李 鍾 南

〈高麗大 工大 教授 · 工博〉

1. 개 요

화학적 가공이란 화학적 질삭이라고 말할 수 있는 방법으로서 주조 또는 공작기계에 의한 질삭가공대신에 약품에 의한 용해작용을 이용해서 성형품을 만드는 방법이라 할 수 있다. 이 방법은 금속자의 눈금의 조각이나 플라스틱 제품에 눈금을 넣는 금형등에 이용되고 있다. 이는 원래 항공기공업방면에서 중용되어 개발된 기계가공에 대응하는 방법이다. 크기나 정밀도에 있어서 주조(die casting)가 부적당한 경우 혹은 모양이나 능률에 있어서 기계질삭에 의하는 것이 부적당한 경우에는 이 방법이 이용된다.

최근에 와서는 항공기기계제작 분야에 있어서의 알루미늄의 표면가공뿐만 아니라, 자동차, 건축부분의 구조부품의 성형분야에도 진출하는 경향이 있으며 가공대상금속도 실용금속일반에 걸쳐 확대되어 감으로써 가장 용도가 넓은 철강류에 까지도 응용되어 가는 실정이다.

이와 같이 종래의 기계적인 수단이 유일한 방법이라고 생각되었던 금속가공분야에 있어서 이러한 화학적 가공법이 도입되었다는 것은 심분 주목할만 한 가치가 있다.

이 화학적 가공법의 특징을 종래의 기계가공법과 비교하면 다음과 같다.

- ① 피가공판의 크기는 이를 수용하는 가공조의 용량에 따라 제한될뿐이며 어떠한 대형

물이라도 가공가능하다.

- ② 가공모양은 자유롭게 설계할 수 있고 더욱이 1매의 금속판에서 1 공정으로서 복잡한 모양으로 성형할 수 있다.
- ③ 따라서 이작업에서는 리벳팅, 용접등의 부대작업을 필요로 하지 않는다.
- ④ 그 가공면은 일반적으로 평활하고 마무리 연마공정을 생략할 수 있다.
- ⑤ 가공조작이 간편하여 특별한 숙련을 요하지 않고 설비도 가공조외에는 별로 고가의 기기류가 필요치 않다.
- ⑥ 이상과 같은 이유에서 본법의 가공비는 기계가공에 비해서 일반적으로 저렴하다.

2. 가공원리

그림으로서 가공원리를 설명하면 그림 1과 같다. 지금 a와 같은 구형의 박판의 한쪽 표면만을 가공욕에 침식되지 않도록 보호처리를 한 다음(이작업을 masking이라 부르며 가공욕에 대해서 내용해성의 보호피막을 resist라 한다). b의 가공욕중에 일정한 속도로서 침지시키면 S₁에서 나타낸 바와같은 Taper진 가공판을 얻을 수 있다. 이때 피가공판을 가공욕중에 침지하는 하강속도 및 인양할때의 上昇速度를 적절하게 조절함으로써 소정의 Taper Angle을 부여할수 있다. 다음에 가공면중P의 부분을 제외하고 전면을 masking 한 다음 c에 나타낸 바와 같이

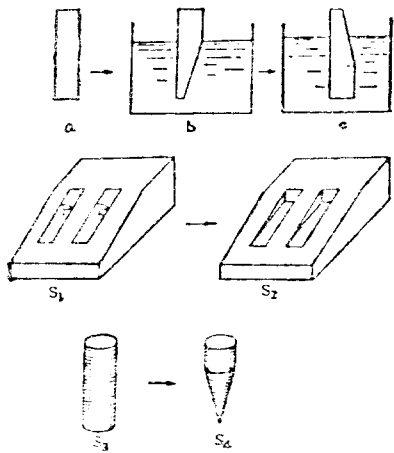


그림 1. 가공법의 원리

칩지방향을 역으로 해서 가공속중에 재차 칩지 시키면 S₂와 같은 성형판이 얻어진다. 또 S₃와 같은 원통소재로서 똑같은 가공법에 의해서 S₄와 같은 원추형으로 혹은 특수한 Taper 가공의 실시가 가능하다.

3. 가공작업

3-1. 전처리

금속의 용해속도는 탈지 및 산세 등의 표면에 비처리 여하에 따라 현저한 영향을 받지만 강력한 금속용해능을 발휘하도록 조정되어 있는 본 가공용액에서는 그의 영향은 비교적 적은 것 같다. 그러나 본법에서는 자연부식의 경우와는 달리 금속의 용해가 일정한 용해(가공) 속도로서 진행되어야 한다는 점. 즉 균일한 용해가 요구

되기 때문에 이를 방해하는 표면의 제인자는 배제되어야만 한다. 또한 이와같은 예비처리의 적부가 이후의 masking 작업에 있어서의 보호 피막의 균일한 피복 및 이와 금속소지면과의 적절한 밀착에 영향을 주며 나아가서는 가공면의 끝마무리 상태의 양부를 결정하는 사실에 주의하지 않으면 안된다. 그의 일례를 가성소다액을 사용한 알루미늄판의 가공에 대해서 표시하면 표 1과 같다.

3-2. Masking(마스킹)

피가공금속을 가공조중에 칩지시키기에 앞서 비가공면을 가공액으로부터 보호할 목적으로 소정의 모양에 맞춰서 비가공부분에 내용해성의 보호피막을 형성시키는 작업을 전술한바와 같이 masking이라 하는데 이 작업은 실제에 있어서는 몹시 귀찮은 작업으로서 그의 적정 및 능률적인 실시는 본법을 양산조작으로 성공시키는데 불가결한 요소이다. 그리고 본 가공제품의 cost를 좌우하는 큰 인자이기도 하다.

(1) Resist의 선정

알루미늄의 chemical milling이 성공한 큰 요인의 하나는 이 가공에 사용되는 가열된 알카리 용액에 장시간 견딜 수 있는 프리스틱도막이 최근의 고분자공업의 발전에 따라 용이하게 입수될 수 있게 되었기 때문이라고 한다. 그러나 실제로 사용되는 프라스틱의 종류는 반듯이 일정하지 않고 일반적으로 내구시간이 약 30시간인 네오프렌계의 것이 사용되어 왔다. 그러나 최근에도 비닐계의 프라스틱도료가 병용되고 있는데

표 1. 전처리의 방법

전처리 번호	처 리 방 법	세 정 방 법	세 정 액	온도(°C)	시간 (min)
1	용제세정→상온건조	용제세정	트리카로에틸렌액	80~90	5
2	용제세정→알칼리세정 →수세→건조(85~90°C 5분)	알칼리세정	Na ₃ PO ₄ 1.25% Na ₂ CO ₃ 1.25% 표면활성제 0.1%	80~85	0.5
3	용제세정→알칼리세정→ 수세→산세→湯洗→건조 (85~90°C 5분)	산 세	CrO ₃ 3.5% H ₂ SO ₄ 13%	80	10

염화비닐수지는 그의 내열성 때문에 가공온도가 낮은 경우에 한 한다. 영국에서는 에폭시포리아미드계통의 수지가 실용화 되고 있다. 이 프라스틱은 염산계의 가공액용 Resist로서도 사용된다.

이와같은 유기 Resist 이외에도 무기 Resist, 금속 Resist 류도 사용된다. 예를 들면 stainless 강외의 chemical milling 용의 특수한 가공액으로서 할로젠가스를 취입한 옥시염화린(POCl_3)이 제안되고 있으나 이가공액용 Resist로서는 울소규산소다(Na_2SiO_3)를 도포하고 이를 110°C 에서 건조한 것이 사용된다고 한다. 또한 가끔 인쇄용제판의 경우 아연모재위에 동을 Resist로서 피복되는 경우도 있다.

이들의 Resist 선정에 있어서는 그의 내식성 뿐만 아니라 수분이나 수소가스에 대한 투과성, 측면부식의 양부에 크게 영향을 주는 강성(가공성) 및 소지와 밀착성등의 제성질을 종합적으로 고려해야 한다.

(2) 피복작업

마스킹방법은 레지스트의 종류에 따라 일정치 않으나 가장 간단한 것은 침지조작에 의해서 달성될 수 있는 경우이다. 예를 들면 유기성레지스트인 경우는 적당한 용제를 사용해서 용해시킨 다음 그속에 피가공금속을 침지시켜 도포하여 가열에 의해서 용매성분을 증발제거시키는 것이다. 또 금속레지스트인 경우는 그 이온을 함유한 수용액으로부터 피가공금속과의 전기화학적성질의 차를 이용해서 치환석출시키는 것이 가능하다.

이와 같이 간단한 침지조작에 의하는 경우 레지스트와 소지면과의 사이의 밀착도는 그다지 강하지 않다. 그래서 유기성레지스트의 경우는 다시 소착작업에 의해서 금속 Resist의 경우는 전기도금에 의해서 레지스트의 밀착도를 강화하는 방법이 채용되고 있다. 그런데 이들의 밀착도는 반듯이 강했듯이 要求된다고는 할수 없다. 즉 가공면에 대해서는 가공액에 침지하기에 앞서 미리 이부분의 레지스트를 박리해두지 않으면 안되기 때문에 강고한 레지스트막은 필요로

하지 않는다. 오히려 밀착도는 약한 편이 박리작업에 편리하다. 그러나 한편 비가공면상의 레지스트는 다음의 Etching 공정중에 이부분을 가공액의 용해작용으로부터 보호할 필요가 있으므로 그의 밀착도를 적당히 강하게 할 필요가 있다. 이러한 레지스트의 밀착도의 조절은 숙련을 要한다. 불량한 레지스트막은 가공액이 막의 뒤쪽면에 스며들어가서 그 부분의 소지를 용해하여 불규칙한 측면부식을 하게 할 뿐만 아니라 때로는 가공조중에서 레지스트막이 박리하고 원인으로 된다. 따라서 Etching 작업중에는 레지스트로서 충분한 밀착도를 유지하면서 가공작업이 끝난후에는 박리도 그렇게 어렵지 않는 정도의 밀착도가 요구된다. 이러한 목적에는 종래의 메타리콘이라 불리우는 금속용사용 피스틀이 주목되고 있다. 이는 압축공기의 압력이나 용사거리로 임의로 조절할 수 있다. 레지스트와 소지와 밀착도를 어느 정도로 변화시킬 수 있기 때문이다.

(3) 박리작업

레지스트의 박리작업은 통상 2회에 걸쳐 행해지는데 제 1회는 가공면의 레지스트의 제거이고 제 2회는 가공처리한 후의 비가공면의 레지스트를 박리하기 위해서 행해진다. 이가운데에 후자는 피가공판 전체를 레지스트박리액중에 침지하는 방법 또는 가열팽윤시키는 방법에 의해서 비교적 간단하게 실시할 수 있으나 전자의 복잡한 가공면의 박리의 경우에는 직접 수공적으로 칼날을 사용해서 박리하는 경우가 많다. 이 박리작업의 능률개선은 본법의 중요한 기술적인 문제의 하나이다.

가공면의 레지스트의 제거에는 조각이 제에 의하여 식각 오복판에다 그림을 그리면서 레지스트피막을 기계적으로 박리 시키는 방법과 볼록판 및 사진제판 기술에서 발달한 사진적식각법(photo engraving)이 이용되기도 한다. 이는 비가공부분의 증크롬산코로이드피막이 광화학적으로 내식성물질로 변화하는 것을 이용한 것으로서 감광되어 있지 않은 부분 즉, 가공면상의 피막은 수용성 이기때문에 화학적으로 용이하게

표 2. Chemical milling 용 조성과 가공조건

	발 명 자	피 가 공 재 질	가 공 용 조 성	온도 및 가공속도	비 고
No.1	North American Aviation	Al 및 Al 합금	NaOH 7~10% Al 2.5%	80°C 0.045 in/hr	加工面の 粗度 50~60μ
No.2	Dow Chemical Corp. U.S.P. 2610765	Mg 및 Mg 합금 (Mg 80%, Al 3~12%, Zn 0.5~6%)	HNO ₃ 10% 제면활성제 0.05% 不溶性飽和脂肪酸2.0%	60~90°C 0.02~0.06 in/30 sec	加工液은 30LB/ in ³ 의 噴流로서 作用시킨다
No.3	Boeing Aircraft Co. U.S.P. 2,940 838(1960)	Matensite Stainless Steel 17%, Cr 7% Ni Stainless Steel 의 경 화 처리재	HNO ₃ 19.7%, HF12.3% CH ₃ COOH 2.1%, FeCl ₃ 6aq 1.7%, Fe(NO ₃) ₂ 1.7% 구연산 0.6% Na ₂ HPO ₃ 0.6% 殘部 H ₂ O 합계 100%	145°F 0.0456 in/hr	加工面の 粗度 50~120μ
No.4	United Aircraft Corp. U.S.P 2,940, 837(1960)	내열성 Stainless steel (Cr 15%, Ni 25%, Ti 2%, Mo 1.3%, V 0.3%, Al 0.2%, C 0.03%)	HCl 20~30.5% HNO ₃ 9.5~16%, FeCl 6aq. 0.15~1.0% 界面活性劑 0.005~0.008% 나머지 H ₂ O 計 100%	105~50°F 0.025 in/hr	加工面은 光澤化 加工速度는 HCl, HNO ₃ 의 配合比 에 따라 다르다
No.5	North American Aviation U.S.P 2,890, 944(1959)	Fe, Ni, CO, (周期率Ⅷ族에 屬하는金屬) 예; Stainless steel in conel	할로젠 화소 또는 HN O ₃ 을 기본조성으로 하고 여기에 磷酸鹽과遊離磷酸을 配合	—	液中の 金屬磷酸鹽을 管理해서加工速度를 調節한다
No.6	Allis Chaimers Manuf Co. U.S.P 2938, 774	주철, armco 철 Stainless steel (12~18%Cr)	無水옥시鹽化磷(POCl ₂) 中에 鹽素, 臭素, 沃素를 Bubbling 한다.	85~100°C 0.005~0.006 in/hr	加工面은 光澤化

용출제거 된다. 이 방법은 피가공판상에 사진현상에 의해서 성형모양을 쉽게 그리고 단시간에 복제되기때문에 양산적의의가 크다'

3-3. Etching

(1) 가공액의 기능과 그의 구성

기계절삭에 있어서 절삭공구에 해당하는 것이 가공액이며 그것이 구비해야 할 일반적 조건은 ① 피가공금속에 대해서 용해능을 갖일것 ② 용해면이 공식 및 그외의 구부적으로 불균일한 용해면으로 되지 않도록 평활능을 갖일것. ③ 소정의 치수모양에 정확한 용해를 할수 있는 조절기능을 갖일것 등이다.

1) 용해능

피가공금속에 대한 용해능에 있어서는 개개의 금속에 대해서 적당한 화학약품이 선택되지 않으면 안된다. 현재 chemical milling이 가장 보급되어 있는 알루미늄 및 stain-less steel에 대

한 가공액 조성의 일례를 표 2에 나타내었다.

가공시간을 단축해서 능률적인 실시를 가능케 하기 위해서 가공액의 용해능을 강화해서 피가공금속의 용해속도를 증대시킨다는 것은 필요불가결한 것이다. 이를 위해서는 다음과 같은 여러가지 수단이 필요하다. 즉,

(i) 가공액의 농도 및 온도를 조절한다. 가공속도에 미치는 이들의 영향을 그림 3에 나타내었다.

(ii) 액조성중에 피가공금속보다도 전기화학적으로 귀한 금속이온을 함유케 한다.

(iii) 특수가공액을 사용한다.

(iv) 피가공물-가공액제면을 교란시킨다.

2) 평활능

Chemical milling란 가공면이 평활하며 일반적으로 마무리 연마를 하지 않는다는 것은 기계가공법에 비해서 이 방법의 큰 특징의 하나이다 이와같은 평활능을 가공액이 구비하기 위해서는

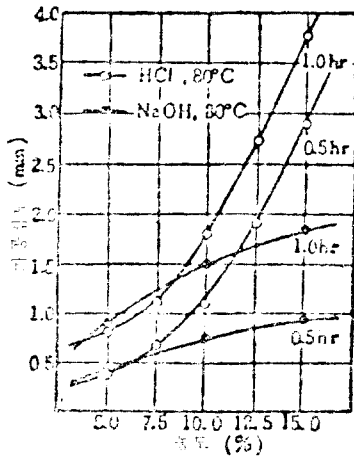


그림 2. 농도에 따른 가공속도 변화의一例

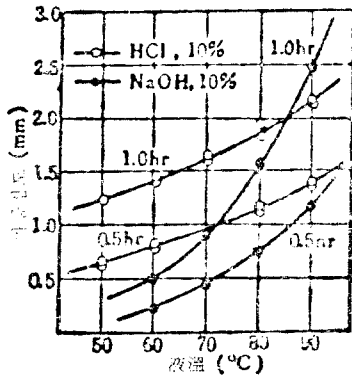


그림 3. 液溫에 따른 加工速度 변화의一例

본가공액의 조성에 화학연마액과 유사한 요소가 함유되어야 한다. 물론 화학연마액과 같은 광택능을 갖게 할 필요는 없다. 일반적으로 피가공면이 거칠러지게 되는 원인은 피가공재의 여러가지 불균일성에 기인하는 경우가 많다. 그중에 결정립의 크기나 분포에 기인하는 조직적 불균일, 기계적가공도의 차에 기인하는 물리적 불균일, 압연, 열처리와 같은 피가공재자체에 대한 금속화학적 방법에 의해서 그의 불균일성을 제거하는 수밖에는 별도로가 없다. 그러나 피가공재의 조성중에 가공액에 난용성 또는 불용성의 불순물을 함유하는 것과 같은 화학적 불균일성이 거칠러지는 원인이라면 가공액조성의 구성에 연구를 해야 한다.

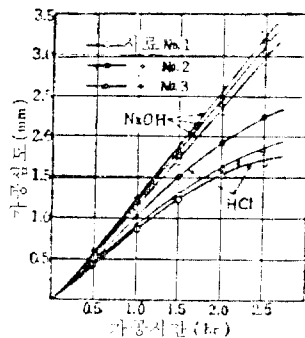
3) 조성능

가공액에 요구되는 제 3의 기능은 피가공판을 소정의 모양 및 치수로 정확히 가공조형하는 능력이다. 이는 기계가공에 비해서 본 가공법으로서 가장 곤란한 기능이라 할수 있다.

특히 측면 부식이 불균일하여 일반적으로 가공측면은 곡면을 형성한다. 따라서 일정한 곡률을 갖는 측면을 얻는다는 것도, 수직인 측면을 얻는다는 것도 대단히 어렵다. 그러나 원리적으로는 물리적 수단과 화학적 수단을 병용함으로써 일은 가능하다.

(2) 가공도의 조정

가공도(단위시간당의 피가공물의 두께의 감소를 mm 또는 inch 로서 표시함)와 가공시간과의 관계를 그림 4에 나타내었다. 여기에서 보는바와 같이 가공속도는 가공초기에 있어서는 일정한 값을 나타내지만 가공시간이 길어지면 차츰 감소한다. 더욱이 이경향은 염산가공액에 있어서 현저하다. 이는 가성소다액에 비해서 염산액이 노화하기 쉽다는 것을 나타내며 알루미늄가공에 있어서 염산액이 실용화되고 있는 큰 이유이다. 그러나 가공액은 잘 관리조정되면 장시간에 걸쳐 용해속도를 거의 일정하게 유지할 수 있으며 가공시간에 의해서 가공조를 대체로 예측할 수 있다.

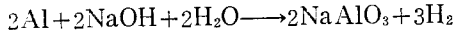


試料番號	Cu (%)	Fe (%)	Si (%)
No. 1	0.02	0.19	0.07
No. 2	0.03	0.18	0.21
No. 3	0.21	0.24	0.10

그림 4. 加工速度에 미치는 재질 및 가공시간의 영향

□ 解 說

알루미늄의 실용가공액은 전술한 바와 같이 가성소다를 사용하고 있으나 알루미늄의 용해에 따라 다음 반응식에서 보는바와 같이 알루미늄산소다를 생성시켜서 유리알카리 농도는 감소한다.



따라서 가공액의 용해능을 일정하게 유지하기 위해서는 작업중에 항상 알카리농도를 7~10%로 유지 되겠끔 새로운 가성소다를 수시 보급함과 동시에 생산한 알루미늄산소다를 산화알루미늄으로 변화시켰서 침전시킨 것은 제거하도록 해야 한다. 이와같이 관리된 가공액은 알루미늄 25%를 함유하며 80°C에서 0.045~0.06 in/hr의 가공속도를 갖는다.

(3) 가공욕조의 설비

Etching 작업은 단지 금속을 침지시키는 작업

이므로 설비로서는 가공조 및 예비처리용 탈지조, 후처리용 수세조, 필요에 따라서는 산세조(알루미늄 합금의 에칭의 경우 성형면에 동화합물이 부착하기 때문에 이를 제거하기 위해서 수세후 10~30%의 질산중에 침지한다) 등 이외에 가열장치, 가공액순환펌프, 피가공체의 운반 내지 침지용 호크리프나 크레인 등의 설비정도이다. 복잡하고 고가의 설비를 필요로 하지 않는다. 가공조에는 수평식과 수직식이 있다. 후자는 테이피가공을 할때에 사용된다.

가공조의 재질에 있어서는 알루미늄의 경우 알칼리액에 사용되기 때문에 철조로서 충분하지만 stainless steel의 경우는 가공액이 강산이기 때문에 내식성재료의 선택에 유의 할 필요가 있다.

大韓機械學會 論文集 購讀 申請案內

會員 여러분께서는 會誌와 論文集을 1977年度 부터 分離하여 發行하고 있음은 잘 알고 계실 것으로 思料됩니다.

會誌는 會費를 納付한 會員에 配布하여 드리고 있으나, 論文集은 購讀申請을 받아 申請하신 會員에 限하여 購讀料를 받고 配布하오니 分會를 통하거나 또는 學會에 直接 申請하시기 바랍니다.

年 度	論 文 集 購 讀 料	備 考
1977	3,000원 (卷當은 1,000원)	(年 4 卷發行)
1978	3,000원 (")	(年 3 卷發行)
1979	3,000원 (")	(年 4 卷發行)