

CHAPTER 5 Abrasive Grinding

5.0 ABRASIVE GRINDING

대부분의 경우, 시편 표면과 표면내부는 절단 후에 손상을 입는다. 손상의 정도와 깊이는 어떤 방법으로 절단되었는가에 따라 매우 달라진다. 연마의 목적은 이전 가공절차에 즉, 절단에 의한 손상을 제거하는 것이고 정확한 분석을 위해 시편의 미세조직을 원상태로 회복시키는 것이다. 또한 절단공정 보다 연마공정이 더 큰 손상을 생성시킬 수 있다는 가능성을 인식하는 것이 매우 중요하다. 다른 관점으로는, 매우 거친 연마재로 연마하는 것 보다는 정확한 Abrasive wheel 및 Wafering blade를 사용하여 시험영역에 최대한 가깝게 절단하는 것이 더 개선된 방법이라 할 수 있다. 금속조직학 시편준비에서, Silicon carbide, Zirconia, Alumina와 Diamond는 가장 널리 쓰이는 연마재이다. (그림 5-1)



Figure 5-1 일반적인 연마지.

적합한 연마재의 선택에 고려되어야 할 인자

- 연마재 형태
- 연마재 결합방법
- 연마속도
- 연마하중
- 윤활

5.1 연마에 사용되는 연마재

다음 설명은 연마에 사용되는 연마재에 대한 세부설명을 나타내었다. 아마도 가장 중요한 변수는 연마재고 이 연마재가 시편과 어떻게 상호작용하는 가이다. 금속조직학용 절단, 연마, 정마에 사용되는 일반적인 연마재를 Table XIV에 나타내었다.

TABLE XIV. 일반적인 금속조직학용 연마제

Abrasive	Hardness (Knoop-HK)	Hardness (Mohs)	Crystal Structure
Silica	820	6-7	Hexagonal -triagonal
Alumina	2150	8-9	-Rhombohedral Hexagonal (alpha or gamma phases)
Silicon Carbide	2480	9.1-9.5	Hexagonal rhombohedral
Boron Carbide	2750	9-10	Rhombohedral
Zircon	1500	7.5-8	Tetragonal
Diamond	8000	10	Cubic - hexagonal

5.1.1 Silicon Carbide

Silicon carbide(SiC)는 Silica와 Carbon 과의 고온 상호작용에 의해 제조된 연마재이다. Silicon carbide(SiC)는 육방정계의 결정구조를 가지며 2500HK의 경도 값을 갖는다.

본 연마재는 절단과 연마에 이상적인데 높은 경도와 날카로운 모서리를 보유하고 있기 때문이다. 또한 취성이 있어 연마 동안 쪼개지기 쉬우며 날카로운 모서리를 스스로 노출하는 특징이 연마 동안 발생한다. SiC는 표면손상을 최소화 하는 반면 절단속도를 최적화 할 수 있는 최적의 연마재다. 금속조직학용으로, SiC는 연마석(절단 휠)과 연마지(60grit~1200grit)로 사용된다.

접착 및 코팅된 SiC 연마지(그림 5-2)는 연마횟수를 최대화 하기 위해 고안된 것이다. 이와 같은 특징은 Backing에 연마알갱이를 수직으로 정렬 함으로서 얻을 수 있다.

Note: 코팅된 연마지는 공면이 아닌데, 이러한 점으로 인해 SiC 연마지는 우수한 절단속도를 나타내며 또한 시편손상을 최소화 한다.

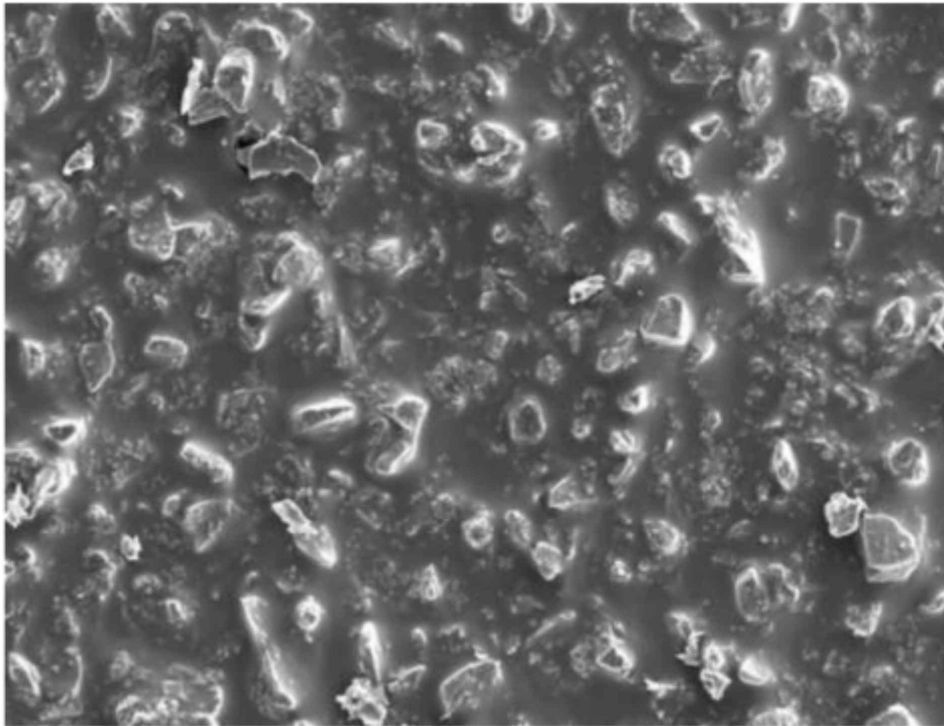


Figure 5-2 Coated SiC abrasive grinding paper.

SiC 연마지로 시편을 연마하는 것은 가장 일반적인 방법이며 금속의 거칠고 빠른 연마 및 균일한 연마속도를

반복성 있게 연출할 수 있다. SiC 연마지는 연마알갱이의 크기에 따라 구분된다. 연마알갱이 번호가 작을수록 거친 연마알갱이 크기를 나타낸다.

또한 유럽식의 입자표기 방식은 미국의 입자표기 방식과 서로 다르다. 가장 큰 차이점은 Opening의 크기가 금속와이어의 크기에 언제 도달하는 가로 표현한 방식이다. 유럽표기방식의 경우, 와이어의 크기는 고려되지 않는 반면에 ANSI 및 US 입자크기를 와이어 크기를 대신해 나타낸다. 미세한 입자크기의 경우, 유럽방식 번호표기는 상당히 커질 수 있다. 이와 같은 구분을 위해 유럽표기 방식에는 입자번호 앞에 “P”를 표기하고 있다.

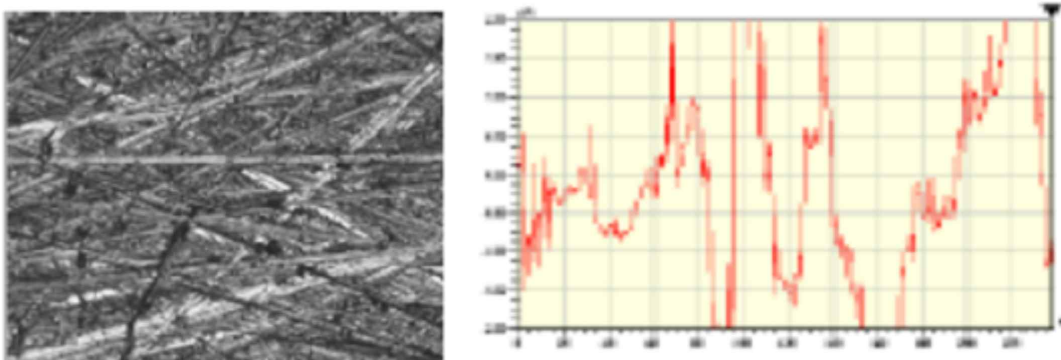
TABLE XV. Standard Abrasive Grading Comparisons

Standard grit size (ANSI) U.S. grading system	European P-grading convention	Medium Particle Diameter (microns)
60	60	250
120	120	106
180	180	75
240	P220	63
320	P360	40.5
360	P500	30.2
400	P800	21.8
600	P1200	15.3
800	P2400	6.5
1200	P4000	2.5

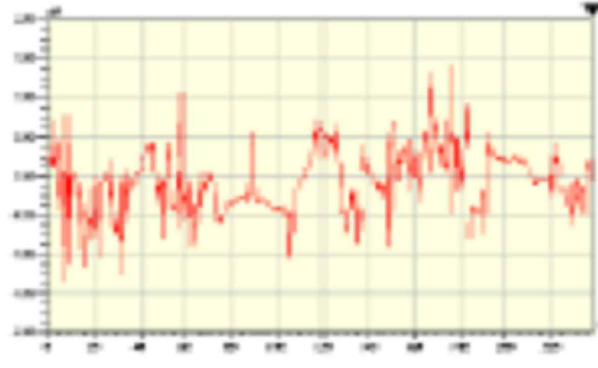
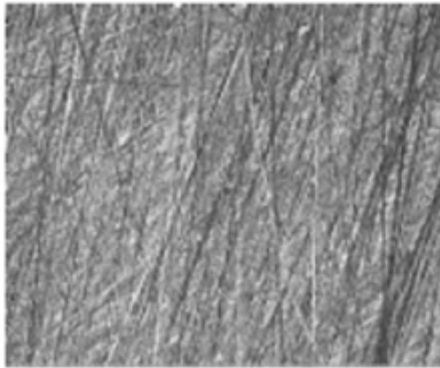
그림 5-3은 SiC 연마지를 사용하여 중간경도의 강을 연마하여 생성된 표면 거칠기에 대한 현미경사진과 2D surface profile이다.

Figure 5.3

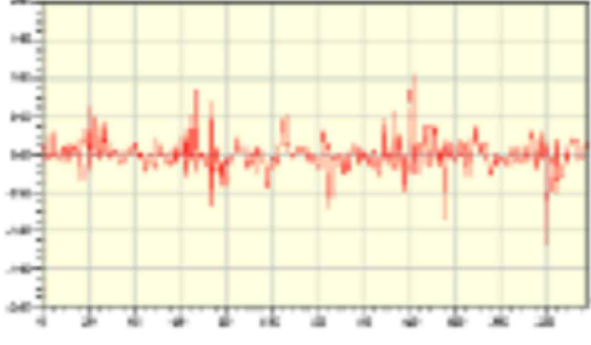
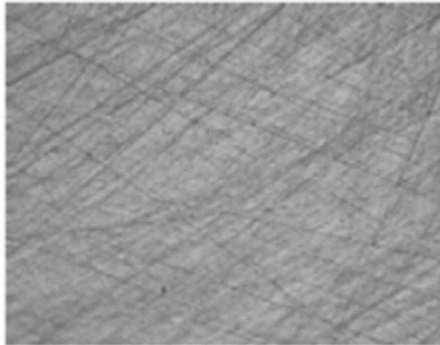
그림 5.3은 RC30강을 SiC 연마지로 연마하여 생성된 표면 거칠기 이다.



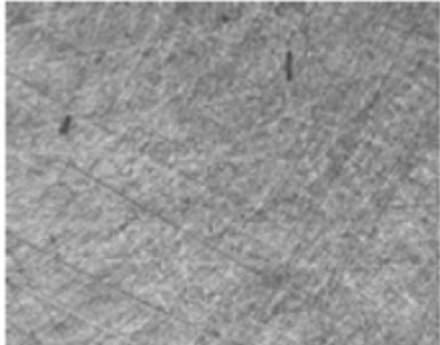
60 grit surface roughness micrograph and 2D line profile, 100X.



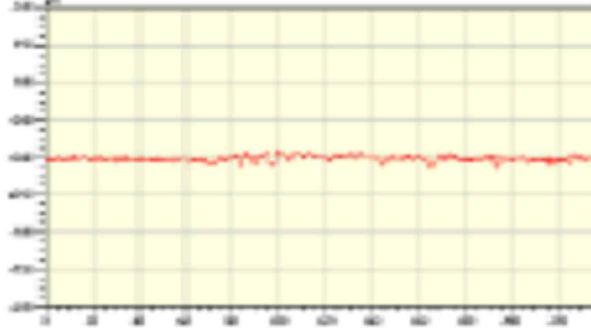
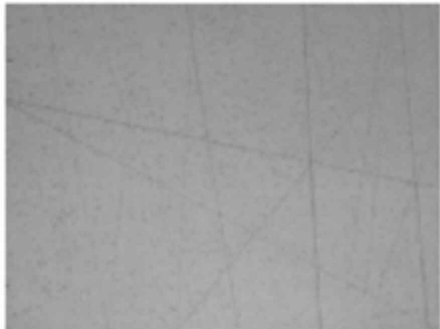
240 grit surface roughness micrograph and 2D line profile, 100X.



400 grit surface roughness micrograph and 2D line profile, 100X.



600 grit surface roughness micrograph and 2D line profile, 100X.



1200 grit surface roughness micrograph and 2D line profile, 100X.

TABLE XVI. Surface Roughness vs. SiC abrasive size

Silicon carbide (U.S. grit size)	80	240	400	600	1200
Rc-30 steel surface roughness	1140	300	120	75	20

Table XVI에서 보는 바와 같이, SiC 연마지의 연마 알갱이 크기가 작아짐에 따라 표면 거칠기가 상당히 감소되는

것을 알 수 있다. 특히 600grit 연마지 보다 미세한 연마재를 사용하면, 표면 거칠기가 매우 향상되는 것을 알 수 있다. 60grit ~ 600grit 범위에서 금속조직학 목적으로 사용되는 SiC paper는 전기 증착공정을 사용하여 종이재질에 연마재를 코팅한다.

전기증착 공정을 통해, 연마알갱이(60~600grit)는 고전압 전선을 통해 전달되는 전류를 통해 증착된다. 이 공정을 통해 연마알갱이가 증착되며 날카로운 연마 모서리가 노출 될 수 있게 정렬된다. 이와 같이 증착된 연마재는 종이에 코팅된 후 오븐에서 경화된다.

800~1200grit의 범위에 해당하는 고운 연마알갱이의 경우, 완전하게 다른 제조공정에 의해 생성된다. 이와 같이 미세한 연마 알갱이인 경우, 제조공정은 슬러리 코팅공정으로 진행된다. 슬러리 코팅의 경우, 연마재는 슬러리 형태로 예폭시 접합물질과 혼합된다. 이렇게 혼합된 슬러리는 칼날을 사용하여 종이에 균일하게 칠해진다. 이때, 연마 알갱이의 돌출 정도는 전기증착에 의해 생성되는 것보다 슬러리 코팅의 경우 훨씬 적다. 이 결과로 알 수 있듯이, 금속조직학용으로 사용되는 매우 고운 SiC paper(800~1200grit)는 일반적으로 생산되는 다른 연마지 및 상용 연마지와 비교할 때 매우 곱고 정밀한 표면연마를 연출할 수 있는 장점이 있다.

Silicon carbide의 연마특성

SiC 연마재를 사용한 연마는 반복성이 좋고 일정한 연마 결과물을 생성시키지만 한번 사용하고 버리는 것이 일반적이다. SiC 연마지는 다이아몬드 연마표면처럼 시간에 따라 다른 연마 표면을 노출시키지 않는다.

다음 그림은 SiC를 사용한 연마효과와 연마재 크기, 가 하중에 따른 SiC 연마지의 성능을 나타내었다.

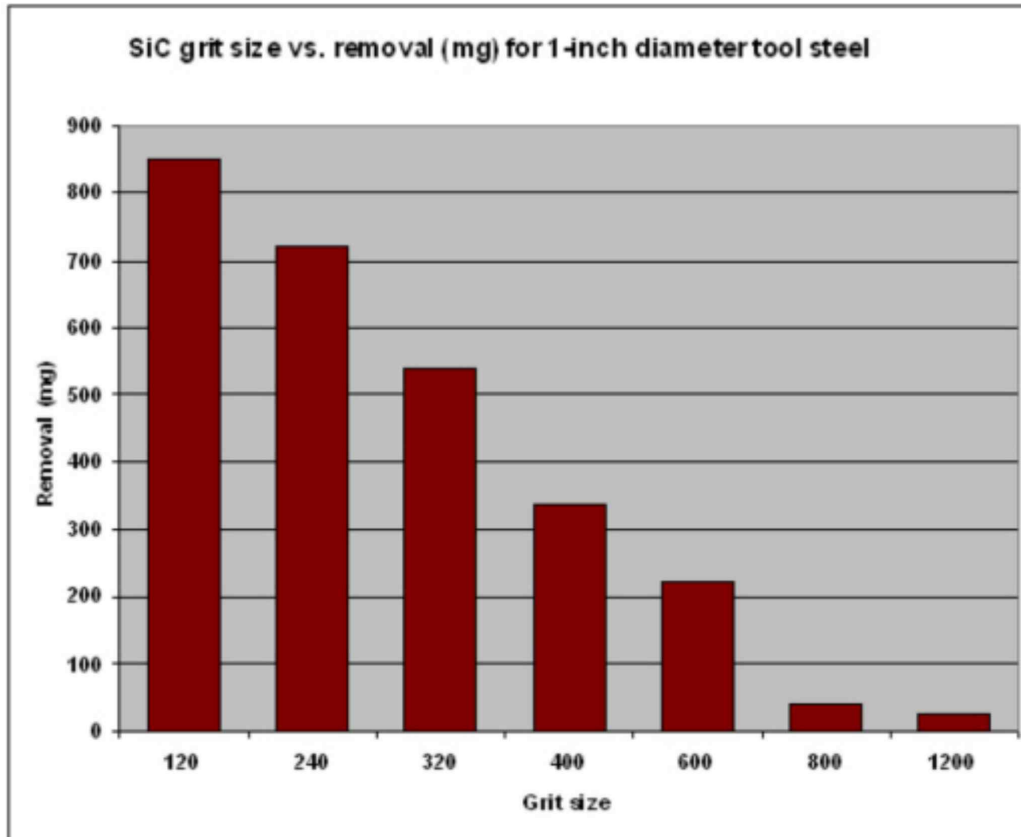


Figure 5-4. 공구강 연마 시 연마알갱이 크기(Grit)와 연마지 무게감소

Figure 5-4는 1inch 직경의 공구강 시편을 사용하여 연마지의 무게감소와 대한 연마재 알갱이 크기의 영향을 나타내었다. 거친 SiC 연마입자는 조금 더 빠른 무게감소를 나타낸 것은 당연한 사실이다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이, 600grit~800grit 사이에서는 연마속도가 상당히 감소하는 사실을 알 수 있다. 본 내용에 해당하는 차트는 Grit 크기 사이의 간격과 이전 연마공정의 손상을 제거하기 위해 적합한 연마 절차를 결정하는 용도로 사용될 수 있다.

Figure 5-5는 SiC연마지가 어느 정도 마모되었고 연마가 진행됨에 따라 연마성능이 어느 정도 감소되는 지 나타내었다. 공구강 시편의 경우, 2분 이내에서 거의 절반으로 연마속도가 감소됨을 알 수 있다. 차트는 10 lbs과 5 lb의 하중에서 시편의 연마결과를 비교한 것이다. 흥미롭게도, 높은 하중일수록 초기 연마속도는 빨랐으나,

연마한지 몇 분이 지나면 높은 하중 에서의 연마가 큰 효과가 없음이 확인되었다.

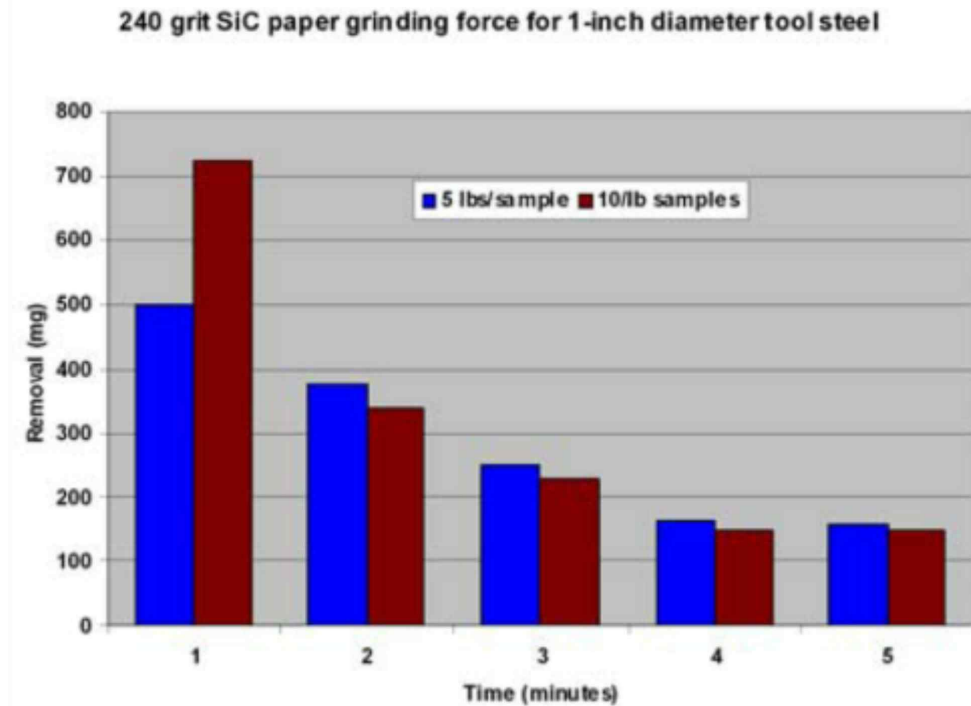


Figure 5-5 240grit에서 HRC 30인 강을 연마했을 때 시간에 따른 SiC 연마지의 마모상황

Figure 5-6은 약 15 lbs의 하중에서 1인치 공구강을 Silicon carbide 연마지로 연마한 것을 나타내었다. 대부분의 절차는 시편에 5lbs의 하중을 가한 상태에서 실시하였다. 왜 낮은 하중에서 실시하였는가에 대해 2가지 이유가 있다: (a)이전의 연구에서 최적의 연마하중은 연구되지 않았다 (b) 많은 자동화 연마장비는 컴프레서 압력을 사용하므로 60~90lbs의 최대 하중만 가할 수 있었다.

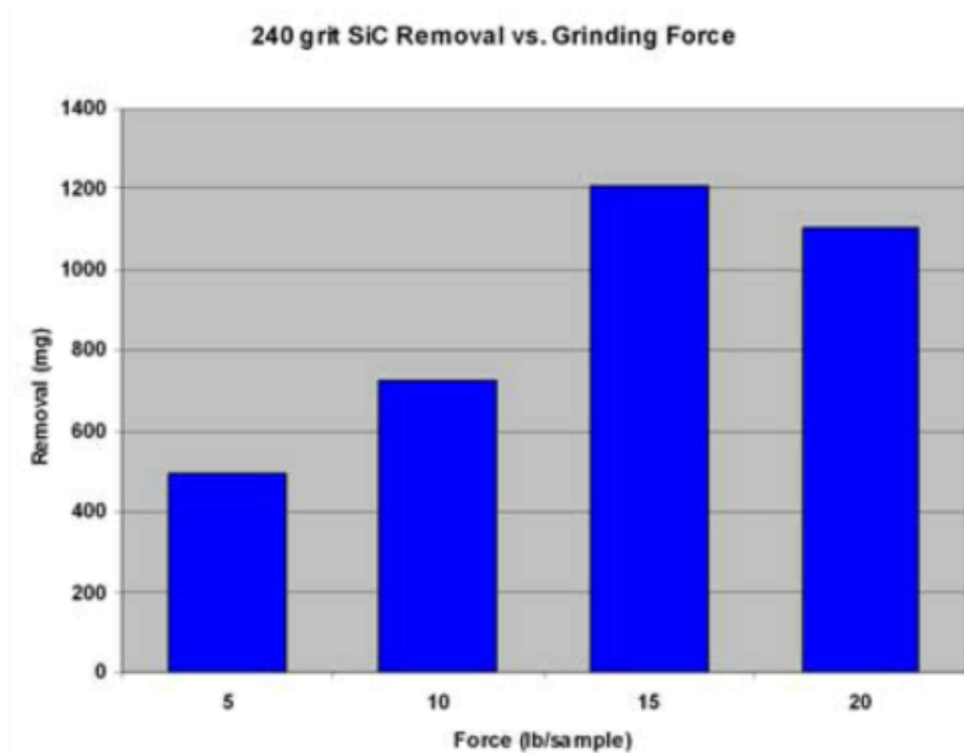


Figure 5-6 연마하중에 따른 SiC의 연마속도(공구강)

5.1.2 Alumina

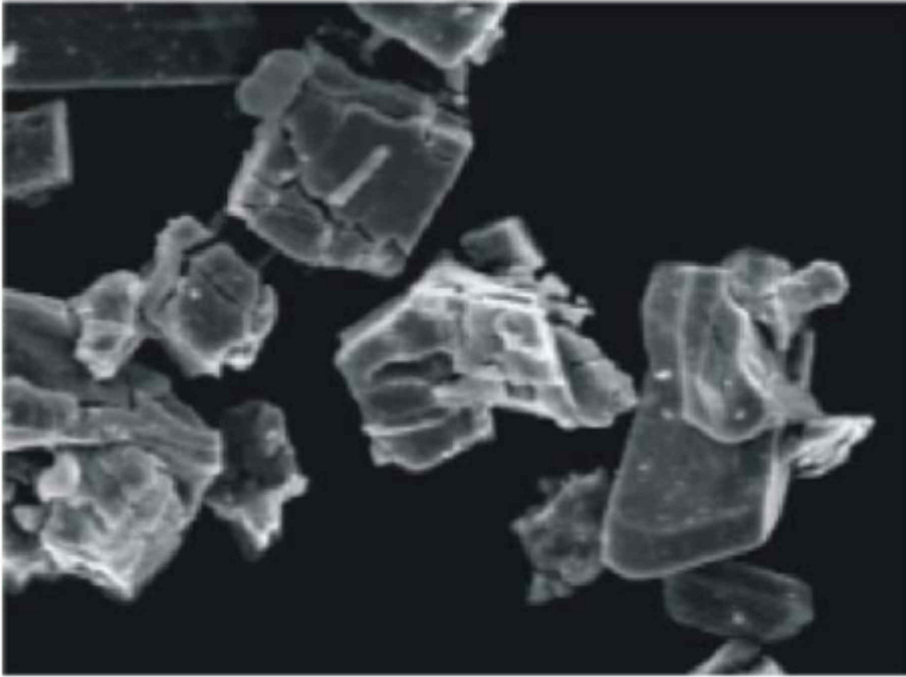


Figure 5-7 Calcined alumina abrasive.

알루미나는 자연적으로 미네랄에서 생성된다(그림 5-7). 알루미나는 연질의 Gamma(Mohs 8)상 이거나 강한 Alpha(Mohs 9)상으로 존재한다. 알루미나 연마재는 주로 최종 정마 단계의 연마재로 주로 사용되는데 그 이유는 알루미나 고유의 높은 경도와 내구성 때문이다. SiC 연마재와는 다르게 알루미나는 Sub micron 및 Colloidal particles (< 1 micron)의 크기로 쉽게 구분된다. 코팅 및 접착된 형태의 큰 입자로 구성된 알루미나 연마지도 이용 가능하다. 그러나 대부분의 금속조직학 용도로는 부적합한데 그 이유는 낮은 연마속도에서 쉽게 파손되며 시편에 손상을 주기 쉽다.

5.1.3 Diamond

다이아몬드는 가장 강한 재료로 알려져 있다(Mohs 10, 8000 HV). Cubic 결정구조를 가지고 있으며, 천연재료 및 인공제품으로 이용할 수 있다. 다이아몬드가 거친 연마단계에 이상적일 수 있지만 거친 연마단계의 연마재치고는 너무 가격이 비싼 것이 현실이다. (그림 5-8)

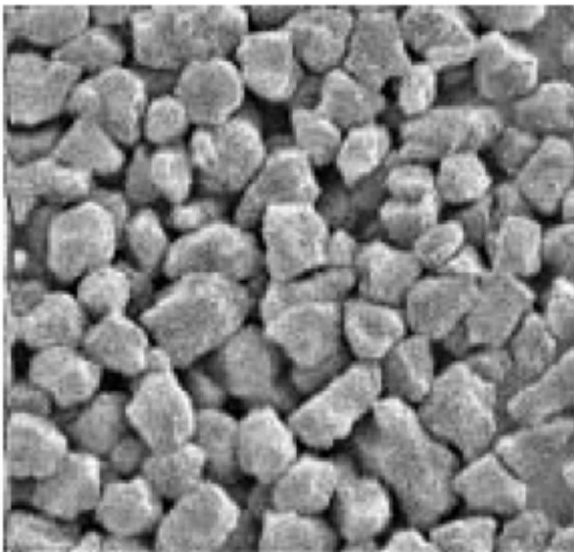


Figure 5-8 Blocky Mono crystalline diamond.

금속조직학 용도로 보면, Mono crystalline과 Polycrystalline Diamond가 사용될 수 있지만, Monocrystalline보다는 Polycrystalline이 훨씬 많은 장점을 가지고 있으며, 특히 최종 정마 단계에서 그 효과가 더 뛰어나다.

다음과 같은 장점이 있다.

- 높은 연마속도
- 매우 균일한 표면 마무리 특성
- 좀 더 균일한 연마입자 분포
- 높은 연마속도
- 좀 더 강하고 질긴 연마입자
- Blocky 형상
- 조밀 육방격자 결정구조(모든 방향에서 균일하게 강함)
- 매우 거친 표면(좀 더 많은 연마 포인트 제공)
- Mono crystalline diamond보다 접촉 표면적이 약 3배 넓음
- 연마입자 방위에 따른 연마효과 차이 없음

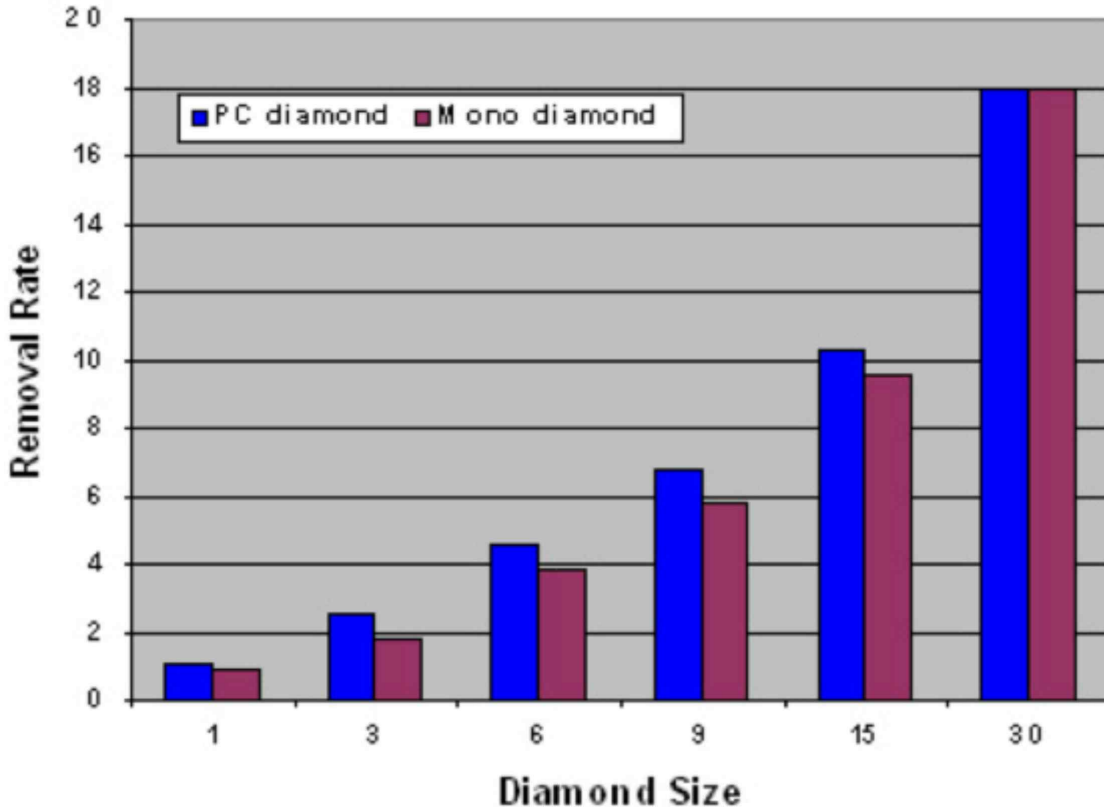
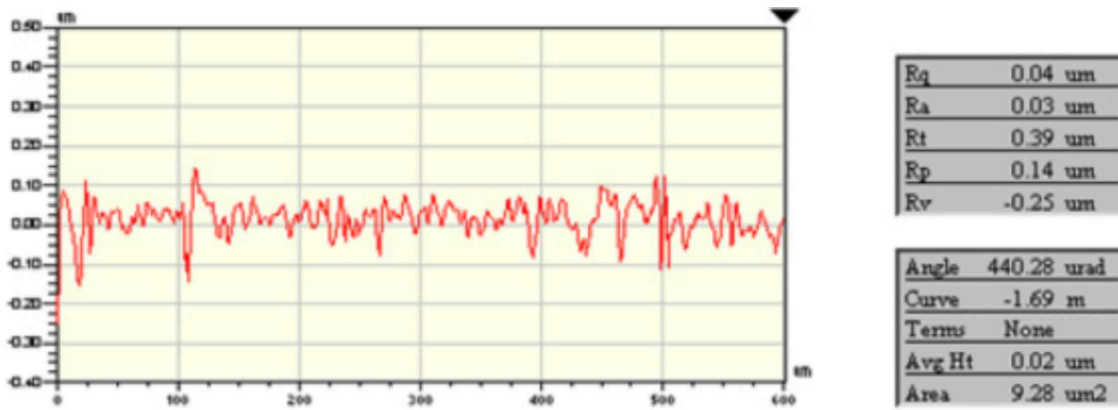
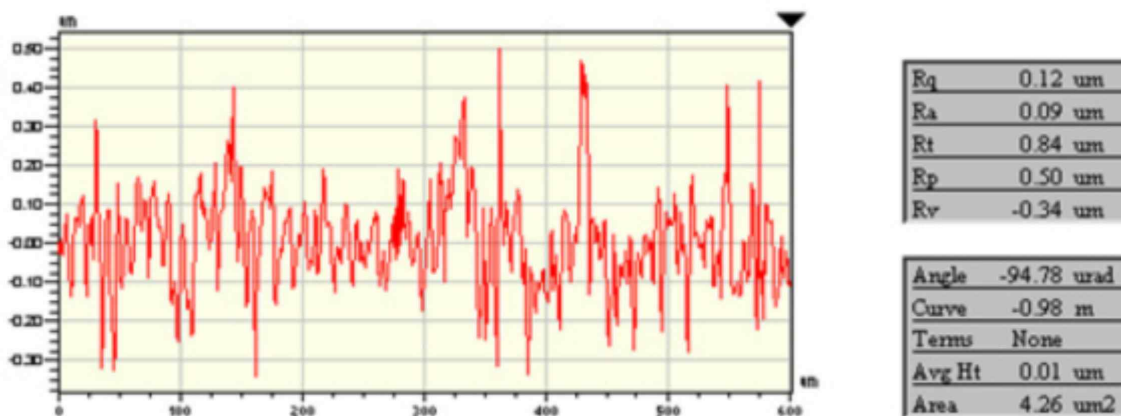


Figure 5-9 그림 5-9는 15micron의 다이아몬드 입자크기까지 Polycrystalline 다이아몬드 입자가 Mono crystalline에 비해 더 높은 연마속도를 나타냄을 보여주고 있다. 15micron이상의 다이아몬드 입자크기에서는 Polycrystalline과 Mono crystalline diamond 간에 큰 연마속도 차이가 없다. 높은 연마속도로 따지자면, Polycrystalline diamond는 좀더 mirror surface를 만드는 데 유리하다. 그림 5-10을 통해, 3micron diamond로 저탄소강을 연마할 경우 표면 거칠기(Ra)는 Polycrystalline diamond의 경우 0.03micron이었고 Mono crystalline의 경우는 0.09micron이었다. 스크레치의 평균 깊이 역시 Mono crystalline diamond가 Polycrystalline diamond에 비해 훨씬 깊은 것으로 확인되었다.



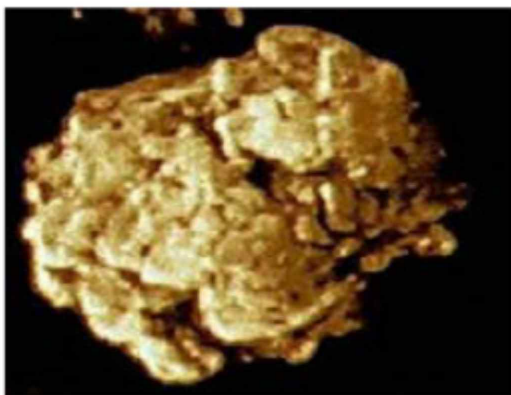
Surface roughness of a low carbon steel polished with 3 um polycrystalline diamond



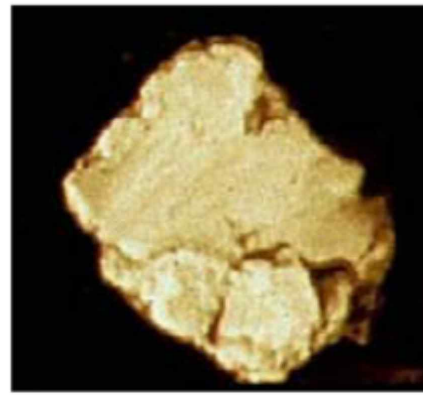
Surface roughness of a low carbon steel polished with 3 um monocrystalline diamond

Figure 5-10 Polycrystalline diamond와 Mono crystalline diamond로 연마했을 때의 표면 거칠기 비교.

Polycrystalline과 Mono crystalline의 높은 배율에서의 특성을 보면 Poly diamond suspension은 많은 수의 작은 연마포인트들을 가진 거친 입자를 나타내고 있다(그림 5-11). Polycrystalline diamond는 미세결정을 따라 깨지는 성질이 강하다. 일반적으로, 잘게 부서어지는 성질이 높은 Diamond일수록 좀 더 고운 표면마무리를 할 수 있다.



Polycrystalline diamond
(high friability)



Monocrystalline diamond
(low friability)

Figure 5-11 Polycrystalline Diamond와 Mono crystalline diamond의 표면 거칠기 비교

5.1.4 Zircon

Zircon, 및 Zirconium silicate는 거친 연마단계에서 쓰이는 정도이며 일반적으로 잘 사용되지 않는 연마재이다(그림 5-12). 매우 단단한 특성이 고유 연마수명 동안 지속된다. 하지만 일반적으로 단단하지도 날카롭지도 않으므로 유효한 연마재가 되기 위해서는 높은 가 압력이 필요하다. 금속조직학 용도로는 일반적으로 60~120grit의 크기가 이용되고 있는 실정이다.



Figure 5-12 Zircon abrasive particle

5.2 ABRASIVE BONDING

5.2.1 고정형 연마재의 연마

고정형 연마재를 사용한 연마용 디스크 및 표면의 경우, 연마재는 지정된 자리에 고정된 채로 부착되어있다 (그림 5-13). 일반적인 연마재의 접합재료는 다음과 같다.

- Nickel plating
- Polymer / epoxy resins
- Soft lapping plates (tin, zinc or lead alloys)

Fixed Abrasive Bonding

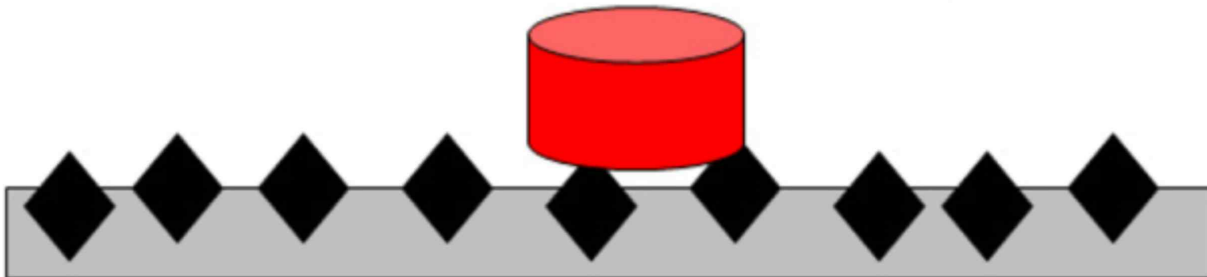


Figure 5-13 고정형 연마재가 결합된 연마용 연마재

고정형 연마재를 사용한 연마의 특징은 매우 빠르고 공격적인 연마속도를 나타낸다는 것이다. 일반적으로 고정형 연마재를 사용하는 제품은 다이아몬드 디스크, SiC Paper, Lapping film이다.

Application (Fixed-abrasive Grinding)

- 가능한 너무 거칠지 않은 연마재로 시작한다(일반적으로 240~320Grit의 SiC Paper 및 30~45micron의 Diamond가 사용된다).

Note: 매우 빠른 연마속도가 필요한 경우에만 거친 Grit 및 큰 입자로 구성된 연마지를 사용하며 이에 따라 야기될 수 있는 추가 손상에 주의한다.

- 연마표면에 윤활제를 공급한다. 물은 가장 일반적인 윤활유이나, 물에 민감한 재료일 경우 약간의 오일성분이 첨가된 윤활제를 사용할 수 있다.
- 시편과 홀더를 다음 연마공정을 진행하기 전에 철저히 세척한다.

5.2.2 Free Abrasive Grinding

비 고정형 연마재를 사용한 연마.

고정되지 않은 연마재를 사용한 연마의 경우, 연마재는 한 위치에 고정되지 않으며 시편과 회전판 사이를 자유롭게 이동할 수 있다(그림 5-14). 이와 같은 연마재의 움직임은 시편이 평평해지는데 너무 빠르지 않게 연마속도를 유도할 수 있다. 비 고정형 연마재의 연마는 일반적으로 경한 재료의 **Lapping**이나 주철과 같은 재료의 **Hard lapping**에 사용된다. 이와 같은 방법은 금속조직학용 시편준비에서는 거의 사용되지 않는 방법이다.

Free Abrasive

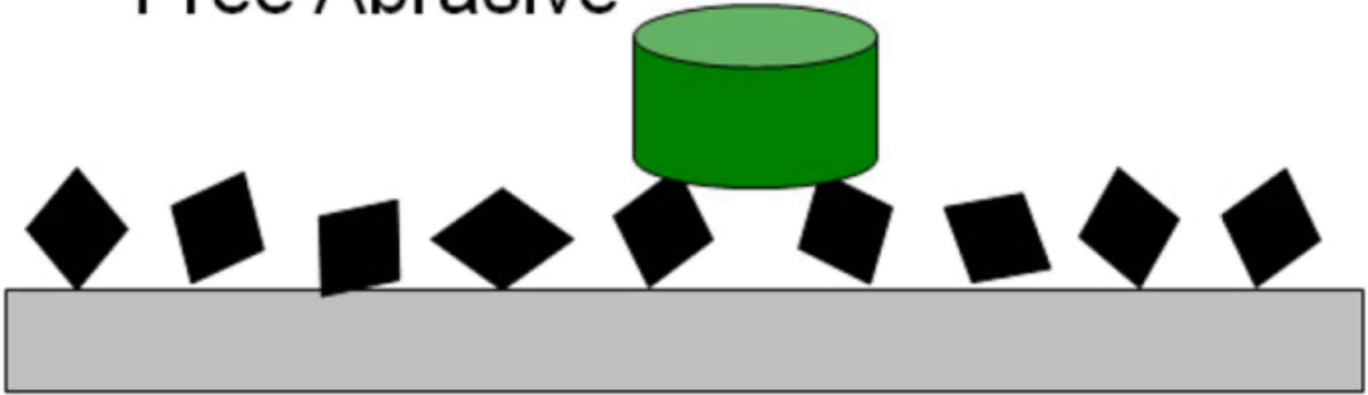


Figure 5-14 비 고정형 연마재를 사용한 연마에서 시편과 회전판 사이에서의 연마재 구동

5.2.3 반 고정형 연마재를 사용한 연마

반 고정형 연마재를 사용한 연마공정은 거칠거나, 고르지 못한 표면을 연마하는데 사용되는 혼합공정이다. (그림 5-5). 연마재는 비 고정형 연마재와 같은 방법으로 시편과 접촉한다, 그러나 연마재는 연마재는 시편의 고르지 못한 표면에 일시적으로 고정되게 되며, 그로 인해 좀 더 강력한 연마효과가 발생하게 된다.

Semi-fixed Abrasive

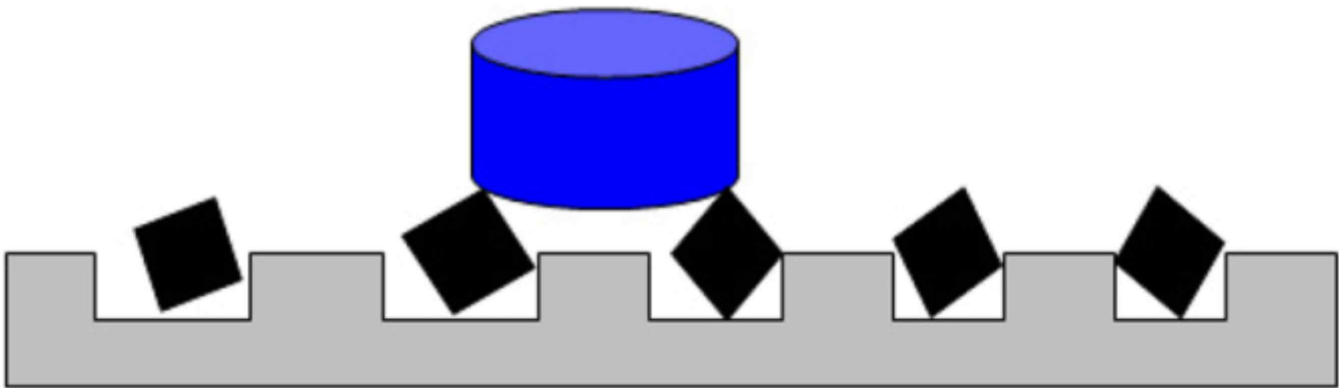


Figure 5-15 반 고정형 연마재를 사용한 연마는 연마재가 한 위치에 임시 고정되게 된다.

반 고정형 연마재를 사용한 연마의 특성은 다음과 같다:

- 우수한 연마속도
- 중간 수준의 연마재 노출(손상이 적음)
- 취성재료의 연마/정마에 매우 적합함
- 반복성있는 연마효과 유지

사용방법 (CERMESH metal mesh cloth) (그림 5-16)

- DIAMAT Polycrystalline diamond를 CERMESH metal mesh cloth에 도포한다.
- Cloth의 찢어짐을 방지하기 위해 시편면을 평탄하게 만들기 위해 절반수준의 가 하중으로 초기 연마를 시작한다.
- 연마의 진행에 따라 점차적으로 힘을 증가시킨다.

-필요한 만큼 연마재를 추가한다.

- 연마 시 발생한 연마미립자를 제거하기 위해 공정이 끝나면 물로 CERMESH metal mesh cloth를 세척한다.

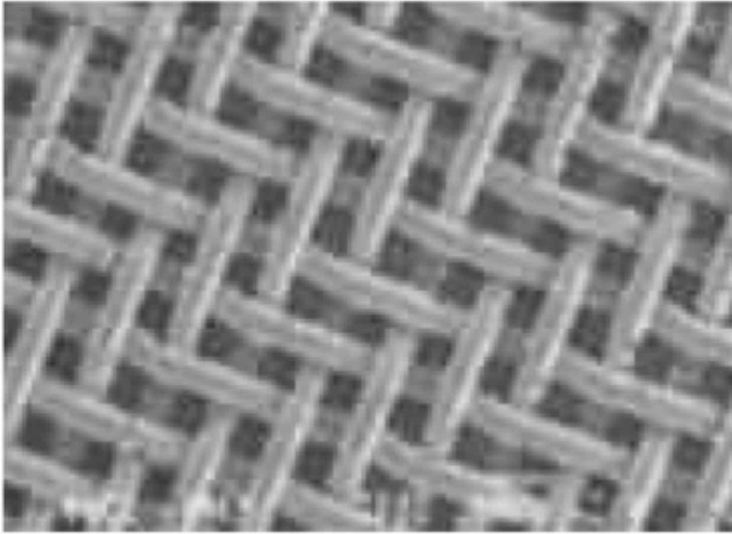


Figure 5-16 반 고정형 연마재 연마용인 CERMESH interrupted metal mesh

TIP: 연마용 연마재를 임시 고정할 수 있는 CERMESH metal mesh disk.

TIP: 비 접착식 연마재를 사용할 수 있도록, 회전판 표면에 한 쪽 코너에 일부분을 접착시킨 뒤 접착식 Backing을 천천히 떼어내며 붙인다.

5.3 거친 연마공정에 영향을 미치는 변수들

만족스러운 연마공정은 다음의 변수들이 잘 조합되어야 가능하다.

1. 연마압력
2. 상대속도
3. 연마방향

금속조직학 시편준비에 영향을 미치는 기계적인 변수들에는 연마/정마 압력, 시편과 연마표면 사이의 상대속도 분포, 연마와 정마의 방향이 포함된다. 일반적으로 연마속도는 Preston's Law로 표현된다. 이 관계식은 연마속도가 압력과 비례 하다는 것을 보여준다.

PRESTON'S LAW

$$\text{Removal Rate} = kPV$$

k - Preston's 상수

P - 연마압력

V - 연마속도

5.3.1 연마압력

연마/정마 압력은 가 하중과 시편의 면적과 마운팅 재료에 따라 결정된다. 압력은 단면적에 가해지는 힘으로 정의된다. 마운팅 재료보다 시편이 더 강할 경우, 압력은 가하는 힘이 시편의 단면적으로 나누어지는 것으로 더 잘 정의된다. 이와 같이, 크고 강한 시편일수록, 높은 연마 압력에서 빨리 연마된다, 그러나 높은 압력은 또한 시편 표면과 표면 이하의 하부조직에 손상량을 증가시킬 수 있다.

Note: 연마압력을 높게 하는 것은 연마알갱이들이 쉽게 닳아 연마속도가 감소된다.

높은 연마/정마 압력은 세라믹, 미네랄, 복합재료 등의 CMP공정(chemical mechanical polishing)의 경우 실질적으로 시편에 영향을 끼칠 수 있는 마찰열을 생성시킬 수 있다. 하지만, Nodular 주철과 같이 매우 깨지기 쉬운 시편의 경우, 높은 압력과 비교적 느린 상대속도의 분포를 연출한 자동연마는 개재물과 2차 상을 보존하는데 도움을 줄 수 있다.

5.3.2 Relative Velocity

현재의 연마/정마 장비는 시편이 디스크의 홀더에 장착되고 연마기 디스크의 연마지 위에서 연마될 수 있게 고안되어있다. 이러한 Disk-on-disk 회전방식은 연마 휠 의 속도에 비례하는 Auto head의 속도에 따라 다양한

속도분포를 연출할 수 있게 한다. (그림 5-17).



Figure 5-17 Disk-on-disk 회전방식을 사용한 자동 폴리셔
Disk-on-disk 방식의 경우, 시편을 고정 한 디스크와 연마디스크의 상대방향은 본체 연마 휠과 같은 방향 이거나 반대방향으로 회전될 수 있다 (그림 5-18).

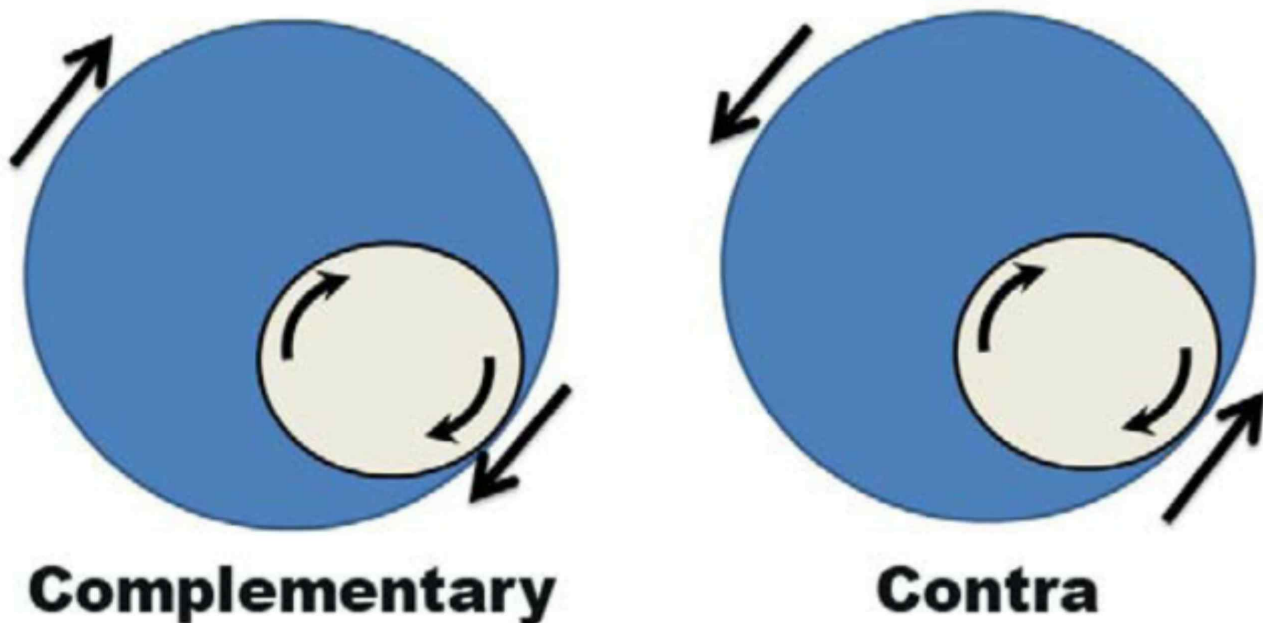


Figure 5-18 디스크 회전에 따른 같은 방향 및 반대방향 움직임

연마량이 많을 경우, Base wheel의 빠른 속도에 비해 Head 속도를 천천히 설정하게 되면 가장 효과적인 연마 효과를 연출할 수 있다(그림 5-19). 그림 5-19에서와 같이, 상대속도는 시편과 연마지가 반대 및 동일방향으로 회전하고 있을 때 Base working wheel의 바깥쪽 모서리에서 매우 높다. 반대로 해석해보면, Base working wheel의 안쪽 (중심 쪽)에서, 시편이 연마지에 따라 같은 방향에서 회전할 경우, 서로 상쇄시키는 역할을 하게 되어 최소상태에 머무르게 된다. 동일방향 연마상태에서 “Hammering” 작용은 매우 빠른 연마속도를 구현하게 되므로 취성이 있는 재료, 게재물, 혹은 매우 민감한 특성이 있는 시편에 손상을 줄 수 있다. 빠른 속도 분포의 또 다른

단점은 연마재 알갱이(특히 SiC)가 균일하게 부서지지 않을 수 있다는 것이다. 이 영향은 시편 전면에 걸쳐 균일하지 못한 연마상태를 나타나게 할 수 있다. 실전에서는, Base working wheel의 회전 방향과 Head 방향을 동일하게 함으로 써 좀 더 균일한 연마속도, 표면 마무리, 연마 알갱이 파쇄를 구현하는 것이 권장된다.

Velocity Distribution (-150 rpm head / 300 rpm base)

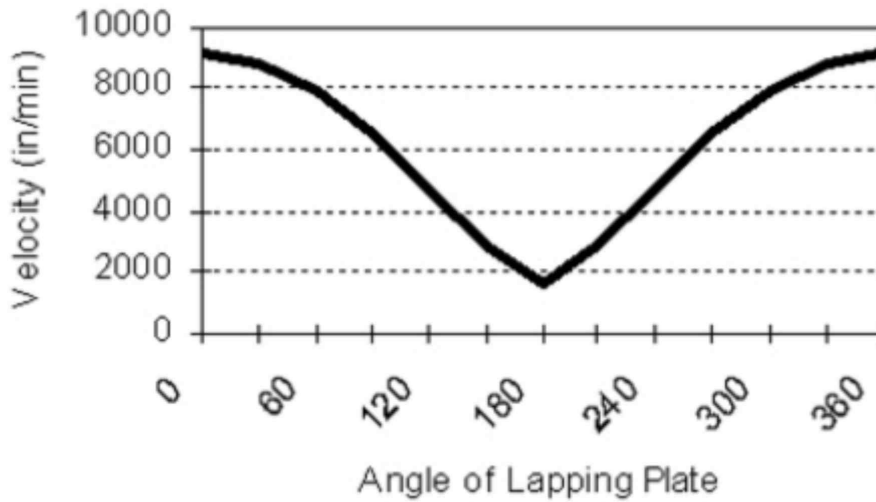


Figure 5-19 High velocity differential for disk-on-disk rotation operating in the contra direction.

같은 방향에서 Disk-on-Disk

Working wheel과 Head가 같은 방향, 같은 속도에서 회전하면 최저의 연마속도 분포를 나타낸다.(그림 5-20) 이 방법은 같은 방향으로(Complementary) 연마/정마 방법으로 알려져있으며, 계재물, 및 취성 상을 보유한 재료에 최적의 연/정마 효과를 제공하며 시편 전반에 걸쳐 균일한 표면 마무리 상태를 얻을 수 있다. 단점으로는 연마속도가 매우 낮은 점이다.

Velocity Distribution (150 rpm head / 150 rpm base)

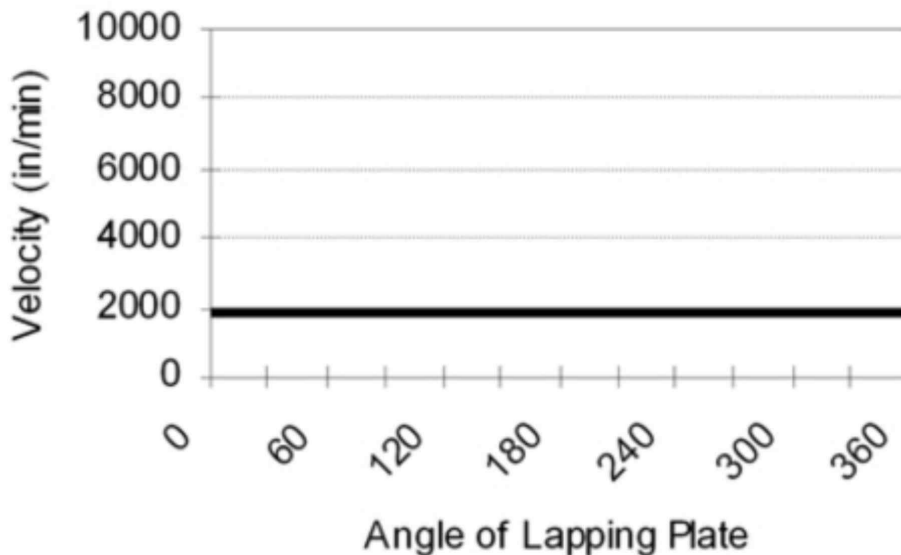


Figure 5-20 Low velocity differential for disk-on-disk rotation operating in the complementary direction.

실제 실험에서는, 높은 선 속도 구배(150rpm head speed, 300-600rpm base speed)가 초기 평면화 작업에 요구된다. 다음공정에선, 좀 더 적합한 선 속도 구배(120-150rpm head speed/150rpm base speed)가 필요한데 평평도를 향상시키고 시편의 좀 더 예민한 특성을 보존하기 위해서이다.

Note:

CMP공정이 요구되는 재료의 경우, 높은 연마 선 속도 차이는 Chemical polishing action을 강화시킬 수 있는 마찰열을 발생시킬 수 있다. CMP공정의 경우, 높은 속도와 높은 연마 선 속도 분포는 취성 상을 보유하고 있는

시편이 아닐 경우 매우 유용한 방법이다.(ex. Silicon nitride and alumina와 같은 Monolithic ceramic). 그림 5-21은 다양한 재료의 평면작업을 위한 다양한 상대 속도들을 나타내었다.

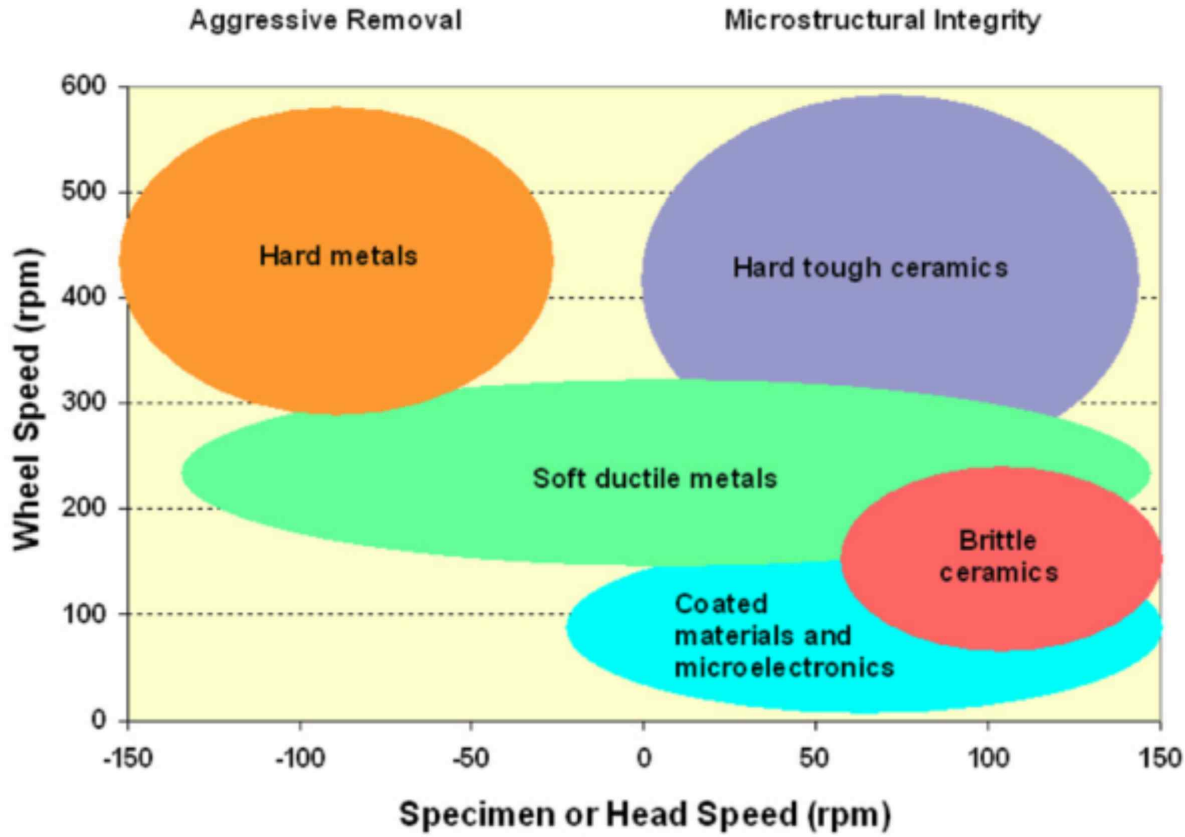


Figure 5-21 다양한 재료를 사용한 평면 연마의 상대속도 분포 가이드

시편이 코팅층이 있는 경우 시편준비에서 상당히 중요한 영향을 갖는다. 일반적으로, 코팅층이 있는 시편을 연마 및 폴리싱 할 경우, 코팅층은 연마 및 폴리싱의 가압환경으로 부터 보존되어야 한다. 이 말은, 연마 방향이 코팅층이 먼저 그 다음 기지 층의 순으로 진행되어야 한다.

TABLE XVI. Disk-on-Disk Velocity Distributions

Head Speed (rpm)	Base Speed (rpm)	Relative Velocity Distribution	Characteristic	Application
150	300~600	High	-공격적인 연마속도 -시편 표면 전면에 균일한 연마속도가 분포하지 못함	단단한 재료의 거친 연마
150	150	Minimal	오토헤드와 연마기의 속도와 방향을 일치시킨다. 시편 전면에 상대 연마속도 차이 - 균일한 연마속도 연마속도 느리나 시편손상 최소화	시편 전면에 걸쳐 우수한 평면도 제공- 게재물 및 취성 상을 보유한 시편연마에 적합

5.4 PLANAR GRINDING (ROUGH GRINDING)

금속, 플라스틱, 고무 그리고 연질 복합재료의 경우 최적의 연마방법은 SiC 연마지를 사용하는 방법이다. 다른 방법들이 사용되었으나, 그 방법들은 일반적으로 상기 재료의 연마에 너무 많은 비용과 유지가 어려운 단점이 있었다. SiC 연마지는 연마재 고정형 연마방법에서 적합한 솔루션으로 인식되고 있다.

5.4.1 Soft Nonferrous Metals

연질 비철금속의 초기 연마는 320grit의 사포로 연마하기 시작하여 400, 600, 800 그리고 1200grit의 순으로 연마하는 것이 권장된다. 연질비철금속은 상대적으로 연질이기 때문에, SiC 연마지를 빨리 마모시키기는 못한다, 그러므로 320grit의 연마지는 초기 연마에 적합하며 양질의 연마속도를 유지하면서 과도한 시편의 초기변형을 줄여줄 수 있다. Tin, Lead, Zinc와 같이 매우 연질이거나, 낮은 재결정온도를 갖는 금속의 경우에는 시편의 표면에 연마재가 박히는 현상을 감소시키기 위해 Alumina 연마지나 Lapping film이 사용된다. 이와 같은 이유는 SiC 연마재보다 Alumina가 더 강해서 쉽게 파괴되는 않는 특성을 보유하고 있기 때문이다.

5.4.2 Soft Ferrous Metals

연질의 철 금속은 비교적 쉽게 연마된다. 240grit의 연마재가 초기연마에 적합하며, 다음으로 320, 400, 600, 800 그리고 1200grit의 연마지를 사용하여 연마한다.

5.4.3 Hard Ferrous Metals

단단한 철 금속은 적절한 연마속도를 구현하기 위해 좀 더 거친 연마지를 사용한다. 거친 연마지(120 혹은 180grit)이 적합한 연마속도를 위해 요구된다. 시편의 평면이 구현되면, 240, 320, 400, 그리고 600grit의 표준절차를 사용해 연마한다.

5.4.4 Super Alloys and Hard Nonferrous Alloys

티타늄과 같은 경질 비철금속은 SiC 연마지를 사용할 경우 비교적 연마하기가 쉽다. 시편의 표면 상태에 따라, 240, 320, 400, 600, 800 그리고 1200 grit의 연마지를 사용하여 양질의 연마를 구현할 수 있다.

5.4.5 Ceramics

엔지니어링 세라믹은 매우 단단하며, 부식에 대한 저항성이 강하고 쉽게 깨지는 특성이 있는 재료이다. 세라믹은 쉽게 깨지며 파단 시 양 면과 표면 하부층 손상을 유발한다. 적합한 연마방법은 이와같은 손상을 최소화시킬 수 있다. 이와 같은 방법에는 반 고정(Semi-fixed) 연마방식의 제품이 필요하다. Metal-mesh 연마천(CERMESH)과 연마재를 사용한 방법은 세라믹 연마에 매우 적합하다. 연마재의 크기 또한 매우 중요한 인자인데 너무 큰 연마재 사용은 빨리 재료를 연마할 수는 있지만 표면에 심각한 손상을 야기시킬 수 있다. 세라믹의 경우, 각 연마단계에서 생성된 손상은 시편연마시간을 최소화하기 위해선 고려되어야 할 중요한 인자이다.

5.4.6 Composites

복합재료는 전 범위의 시편 연마영역이 서로 다른 기계적 그리고 화학적 특성을 가지고 있기때문에 시편준비가 가장 까다로운 재료로 인식되고 있다. 예를 들어, 알루미늄 금속 기지에 실리콘 카바이드 세라믹 입자가 분산된 금속기지복합재료(MMC)는 시편준비가 매우 어려운 재료이다. 이 복합재료는 매우 강하고 잘 깨지는 세라믹 입자가 비교적 연하고 길진 금속 기지층에 분산되어 있다. 일반적으로, 초기 연마는 금속재료와 관심영역의 평탄화에 초점을 맞춘다. 그 다음 연마공정에서는 세라믹 입자의 연마에 초점을 맞추며 일반적으로 다이아몬드와 CMP공정을 사용한다.

5.5 PLANAR GRINDING TROUBLESHOOTING

평면연마에서 잘못된 연마재 종류 및 연마입자 사용으로 야기된 문제점들을 하기에 나열하였다. (see Table XVII)

TABLE XVII. 평면연마관련 문제점 해결 가이드.

현상	원인	대응책
시편 전면에 걸쳐 편평하지 못한 연마	시편과 연마지의 부적절한 조합	시편의 강한 부분이 연마지의 전면에 걸쳐 연마할 수 있도록 시편홀더를 정렬 시킴.
장비의 과도한 진동	하중이 너무 높거나 속도가 매우 느림 용도에 부적합한 장비의 설계 부적합한 시편운할	초기 연마압력 감소 및 연마속도 감소 장비 취급자에게 장비 고장 수리 및 업그레이드 문의 윤활유 공급량 증가 및 물 희석용 윤활유 사용
파쇄된 연마입자의 시편표면 박힘 현상	매우 연한 재료의 연마에서 발생하는 일반적인 현상	알루미늄과 같이 좀더 내구성있는 연마제로 변경

5.6 PRECISION GRINDING WITH LAPPING FILMS(래핑필름을 사용한 정밀 연마)

래핑필름은 semiconductor dies, fiber optics, optical components, ceramic capacitors, computer hard drive read-write heads, ceramic seals 등의 폴리싱에 사용된다. 래핑필름의 가장 큰 장점은 매우 평평한 표면을 구현하는 것인데, 특히, 시편 전면에 걸쳐 다양한 경도범위를 갖는 복합재료의 폴리싱에 매우 유용하다.



Figure 5-22 Polyester backed lapping films.

래핑필름은 폴리에스터(Polyester)에 연마재를 에폭시로 견고하게 결합시킨 형태이다. (Figures 5-22 & 5-23). 가장 일반적으로 사용되는 래핑필름과 결합된 연마재는 Include diamond, Silicon carbide, Alumina가 사용되며 많지 않지만 Colloidal silica 가 사용된다.

5.6.1 Diamond Lapping Films

다이아몬드 래핑필름은 정밀하게 등급화된 다이아몬드를 균일하게 코팅시킨 제품이다. 매우 유연한 연마재의 고정 접착제는 연마재를 매우 견고하게 고정하는 역할을 한다. 이 접착제는 균열이나 찢어짐에 저항성이 있게 고안되었다. 이와 같은 접착방식은 질기고 내구성이 우수하며, 폴리에스터 플라스틱 필름의 찢어짐 방지 및 방수특성, 많은 시약으로부터 저항성이 필요한 영역에 사용된다.

다이아몬드 래핑필름은 중간단계의 거친 폴리싱 및 다이아몬드 고정식 연마에서 재료가 연마되는 현상보다

연마현상을 덜 하게 해준다.

다이아몬드 래핑필름은 또한 SEM 및 TEM 분석용 전자재료의 시편준비에서 매우 뛰어난 연마방법이다.

다이아몬드 래핑필름의 선택 범위는 0.1micron에서 60micron 까지 이며 초기 연마용 래핑필름의 일반적 범위는 15micron에서 60micron까지 이다.(Figure 5-23).

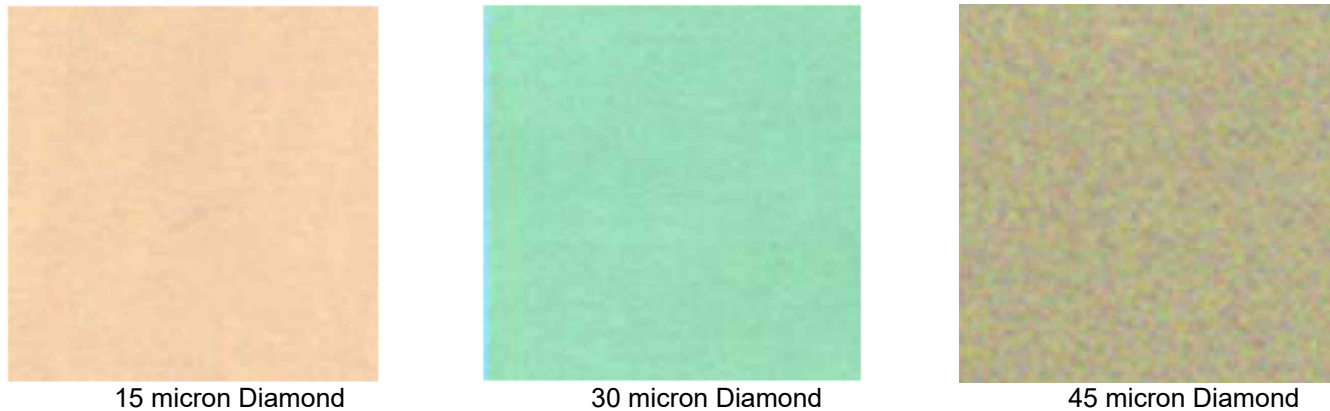


Figure 5-23 Diamond lapping films.

Diamond Lapping Film 사용방법

:

비 접착식 래핑필름 사용방법:

- 래핑필름을 얹어놓을 면을 물 및 물/계면활성제 용액으로 적셔준다.
- 적셔진 면 위에 래핑필름을 위치시킨다.
- 래핑필름과 연마 휠 사이에 포획된 공기 층을 제거해준다.
- 필요한 윤활유를 공급한다.
- 적은 힘으로 폴리싱을 시작한다.(필름의 찢어짐 방지)
- 연마 압력을 점차적으로 증가시킨다.
- 해당폴리싱 공정 마지막 10-15초 동안 시편과 필름을 세척해준다.
- 시편을 세척, 건조해준다.

접착식 래핑 필름 사용방법:

- 연마 휠 위에 접착식 래핑필름을 부착시킨다.(오염물질 제거 후)
- 필요한 윤활유를 공급한다.
- 적은 힘으로 폴리싱을 시작한다.(필름의 찢어짐 방지)
- 연마 압력을 점차적으로 증가시킨다.
- 해당폴리싱 공정 마지막 10-15초 동안 시편과 필름을 세척해준다.
- 시편을 세척, 건조해준다.

5.6.2 Silicon Carbide Lapping Films

실리콘 카바이드 래핑필름은 SiC 연마지와 매우 유사하다, 그러나 연마재가 Polyester와 접합되어 있으므로 종이와 결합된 SiC 사포와는 다른 방식이다. 연마재가 Polyester와 접착된 방식의 장점은 좀 더 평평한 면을 생성하고 시편의 모서리 부분에 Rounding이 덜 발생한다는 점이다.

Silicon Carbide Lapping Films 사용방법

비 접착식 래핑필름:

- Lapping film은 물 및 물/계면활성제 용액을 사용하여 적셔준다.
- 비 접착 Lapping film은 연마 휠 표면 위에 올려놓는다.
- Lapping film과 연마 휠 사이에 있는 공기방울을 제거한다.
- 필요한 윤활유를 뿌려준다.
- 필름의 찢어짐을 방지하기 위해 낮은 힘으로 폴리싱을 시작한다.
- 폴리싱 공정의 마지막 10~15초 동안은 시편과 필름을 세척해준다.

- 시편을 세척 후 건조한다.

접착식 silicon carbide lapping films

- 연마 휠에 접착 식 래핑 필름을 부착한다.
- 필요한 윤활유를 뿌려준다.
- 필름의 찢어짐을 방지하기 위해 낮은 힘으로 폴리싱을 시작한다.
- 폴리싱 공정의 마지막 10~15초 동안은 시편과 필름을 세척해준다.
- 시편을 세척 후 건조한다.

5.6.3 Alumina Lapping Films

알루미나 래핑필름은 재료(Bauxite)재료에서 자연적으로 생성되는 알루미나 옥사이드로 구성되어 있다. 알루미나 옥사이드는 연질의 Gamma 상(mohs 8) 및 경질의 Alpha(mohs 9)으로 존재한다. 알루미나 연마제는 주로 최종폴리싱 연마제로 사용되는데 경도와 내구성이 높기 때문이다. 알루미나 연마제는 0.05micron에서 60grit에 이르기까지 래핑필름으로 넓은 범위의 연마알갱이 크기를 사용할 수 있다. 거친 래핑에 사용되는 일반적인 연마알갱이 범위는 12micron 및 그 이상의 크기이다. 래핑필름은 연마알갱이 크기에 따라 구분하기 쉽도록 고유의 색깔을 가지고 있다. (그림 5-24)

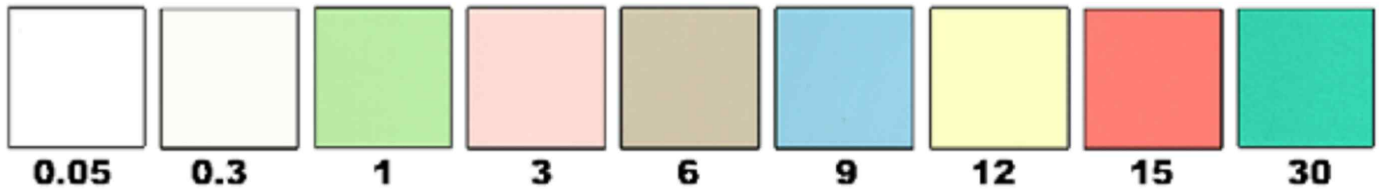


Figure 5-24 알루미나 래핑필름의 색깔구분

알루미나 래핑필름의 사용방법

비 접착식 알루미나 래핑필름:

- 물 및 물/계면활성 용액을 사용하여 연마휠을 적셔준다.
- 연마 휠 위에 비 접착식 래핑필름을 올려놓는다.
- 연마 휠과 래핑필름 사이에 있는 공기방울을 제거해준다.
- 필요한 윤활유를 뿌려준다.
- 필름이 찢어지지 않게끔 적은 힘으로 폴리싱을 시작한다.
- 연마압력을 점차적으로 증가시킨다.
- 폴리싱 공정의 마지막 10~15초 동안은 시편과 필름을 세척해준다.
- 시편을 세척하고 건조시킨다.

접착식 알루미나 래핑필름:

- 연마 휠 위에 접착식 래핑필름을 부착시킨다.
- 필요한 윤활유를 뿌려준다.
- 필름이 찢어지지 않게끔 적은 힘으로 폴리싱을 시작한다.
- 연마압력을 점차적으로 증가시킨다.
- 폴리싱 공정의 마지막 10~15초 동안은 시편과 필름을 세척해준다.
- 시편을 세척하고 건조시킨다.

5.7 래핑필름 사용간 문제점 해결

래핑필름을 사용하면서 발생하는 일반적인 문제들을 Table XVIII에 나열하였다.

TABLE XVIII. 래핑필름 문제점 해결 가이드

현상	원인	대응책
시편 연마면이 편평하지 않음	연마지 전체면에 대해 시편이 부적절하게 연마됨	시편의 강한 부분이 연마지 전체 면에 대해 고르게 연마될 수 있도록 방향을 잡아준다.
장비의 과도한 진동현상	-과도한 하중 및 속도가 너무 느림 - 사용목적에 맞지 않는 부적합한 디자인 -부적절한 윤활환경	- 초기 연마압력을 감소시키거나 연마속도를 증가시킨다 - 판매자에게 장비 점검 및 업그레이드를 문의한다 - 윤활유 공급량을 증가시키거나 물에 희석되는 윤활유를 사용한다.
시편표면에 연마제 박힘 현상	- 매우 연질인 재료에서 발생하는 일반적인 현상	- 알루미늄 연마지와 같은 좀 더 내구성있는 연마제를 사용하여 연마

5.8 ROUGH POLISHING

금속조직학용 시편준비에서 가장 중요한 단계는 Rough polishing 단계이다. 이 단계에서는, 표면을 보존하면서 Subsurface의 손상은 제거되어야 한다. 이 공정 이후에는 최종 폴리싱 단계에서 순식간에 사라지는 몇 가지 표면 결함을 제외하고는 재료의 실제 조직이 복원되게 된다(Inclusion, Brittle phase, Void, Porosity, etc). Rough polishing은 가장일반적으로 Woven, Low napped(napless) 폴리싱 패드를 사용하며 Diamond 및 Alumina와 함께 사용된다.(그림 5-25). Woven polishing pad의 주요사용목적은 시편 표면 전면에 걸쳐 편평하게 유지하는데 사용되며, 특히 경질과 연질의 두 상이 공존하는 시편, 코팅 층을 보유한 시편, 및 기타 유사한 특징을 보이는 시편의 처리에 유용하다.

Note: 시편의 편평도가 매우 중요한 시편일 경우에는 Lapping film이 더 효율적인 방법이 될 수 있다.

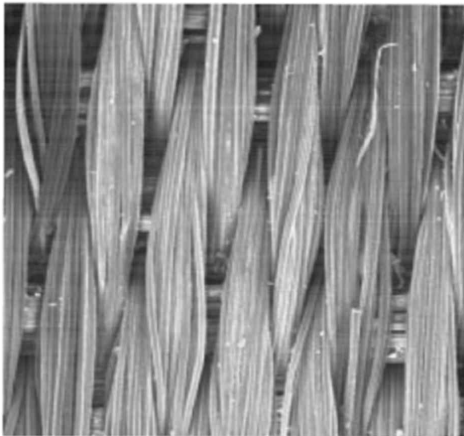


Figure 5-25 Woven polishing pad는 연마제를 지지해주는 역할 뿐만 아니라 시편의 평면을 만드는데 유용한 제품이다.

5.8.1 Rough Polishing Abrasives

Rough polishing abrasive는 일반적으로 15micron ~ 1micron의 범위를 가지며, Alumina와 Diamond suspension , 연마제 고정방식인 Lapping film이 있다. 비교적 연질재료의 경우에는, Alumina powder, suspension, slurry등이 광범위하게 사용된다.

Note: Alumina는 diamond에 비해 비교적 저렴한 연마제이다.다이아몬드는 blocky(Mono crystalline) 구조 및 Spherical nodular(Polycrystalline)구조를 가지고 있다. Rough polishing공정에서 Polycrystalline diamond는 Mono crystalline diamond에 비해 높은 연마속도를 연출하게 되며, 통상적으로 더 좋은 표면 폴리싱 효과를 나타낸다(Section 5.1.3)

5.8.2 Rough Polishing Pads

알루미나 및 다이아몬드 슬러리를 사용하는 Rough polishing 공정에서, Polishing pad 섬유 재질 및 구조의 정확한 선택은 매우 중요하다. 앞서 언급하였듯이, Rough polishing에는 Low napped polishing pad가 권장된다. Low napped polishing pad에는 Woven, Urethane coated fiber 그리고 Porous urethane pad가 있다. 물론, 정확한 폴리싱 패드를 결정하는 데에는 실험경험, 폴리싱 패드의 특성에 영향을 미치는 많은 영향들을 고려해야 한다. 대표적 특성은 다음과 같다.

1. 수지 섬유 (경도, 밀도, 크기, 개수, 화학적 성질)
2. 섬유가 엮어진 형태
3. 패드의 압축율
4. 다공성 정도 및 폴리싱 패드 표면적
5. 패드와 suspension 연마제와의 젖음성

다음은 일반적인 폴리싱 패드의 종류와 각 특징에 대해 나열하였다:

POLYPAD polishing pad – 매우 견고한 Woven, Large weave 폴리싱 패드로서 거친 단계 및 중간단계 폴리싱에 적합한 제품이다. 본 폴리싱 패드는 범선의 뜻에 사용되는 재료와 매우 유사하다. POLYPAD는 일반적으로 거친 다이아몬드 폴리싱 컴파운드와 서스펜션 (6,9,15micron)과 함께 사용된다. POLYPAD는 재료의 내구성이 좋아 금속조직확용도와 산업용 폴리싱 패드 양쪽에서 사용되고 있다.

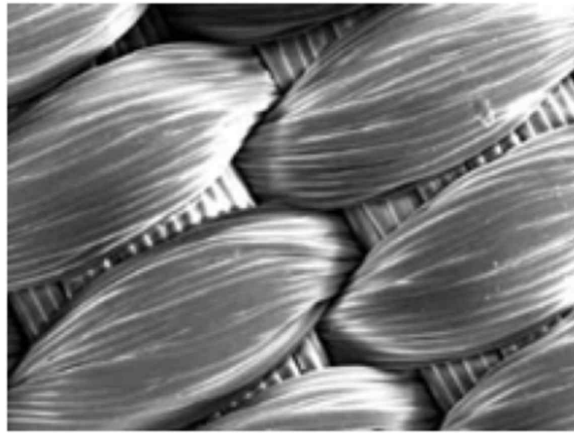
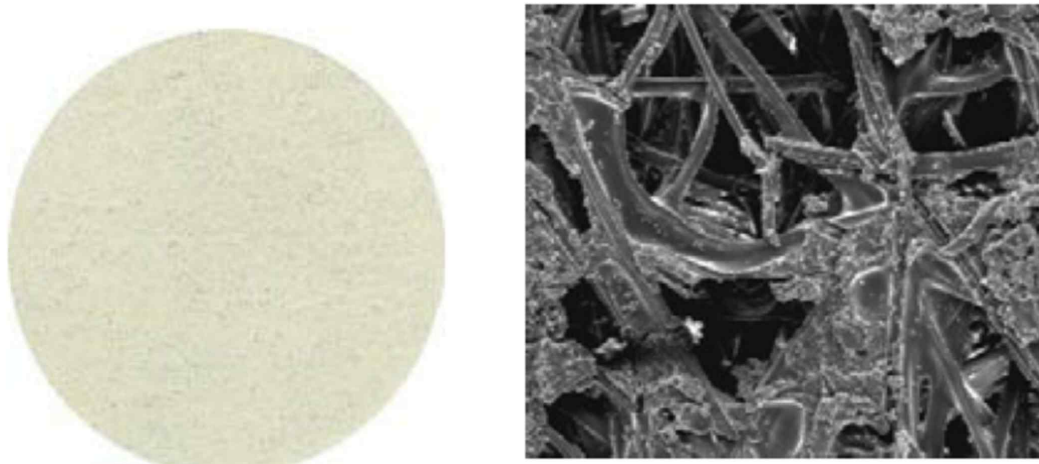


Figure 5-26 POLYPAD polishing pad and SEM image of fibers.

TEXPAN polishing pad - Urethane polymer로 코팅 혹은 압축된 섬유재질로 구성되어 있다. 이 폴리싱 패드는 1,3,6,9micron 다이아몬드 연마제로 금속을 중간 폴리싱하는데 가장 일반적으로 사용되고 있다. 또한 이 폴리싱 패드는 CMP 작용을 연출하기 위해 다이아몬드와 콜로이드실리카가 결합되어 세라믹의 중간 폴리싱 용도로



사용되고 있다(ex. 1micron 다이아몬드+ 0.06micron SIAMAT 콜로이드 실리카)

Figure 5-27 TEXPAN polishing pad and SEM image of porous matrix.

다음단계의 폴리싱 패드에는 좀더 미세한 다이아몬드와 알루미나 폴리싱 연마제를 사용한다. 해당 폴리싱 패드는 비교적 작은 Weave를 갖는 Woven 형식의 폴리싱 패드이다. 해당 폴리싱 패드는 다음과 같다: **DACRON (Dupont DACRON fibers), NYPAD (silk pad)** 그리고 Hybrid **GOLDPAD polishing pad**. 또한 이 종류의 폴리싱 패드는 Low nap 혹은 Woven 폴리싱 패드라고 부른다. 일반적으로 이와 같은 용도로 사용되는 다이아몬드 연마제의 크기는 0.05micron에서 9micron의 크기범위를 갖는다.

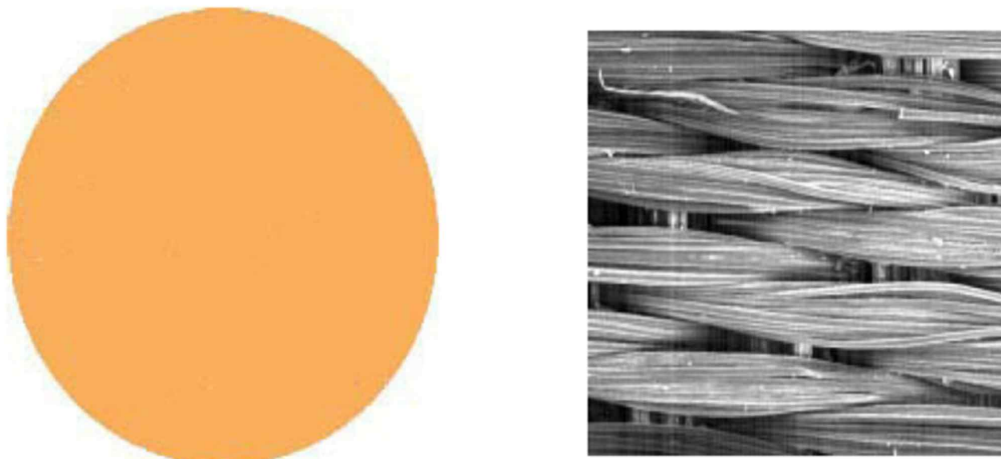


Figure 5-28 GOLDPAD polishing pad and SEM image of fiber weave.

5.8.3 Rough Polish Lapping Films

폴리싱 패드의 대안으로, 알루미나 및 다이아몬드 래핑필름이 거친 폴리싱 단계에 사용될 수 있다. 좀 더 평면을 구현하는데 있어서는 폴리싱패드보다는 래핑필름이 개선된 방법이다. 래핑필름은 Polyester backing에 연마제가 견고하게 부착된 방식이며 또한 압축을 또한 훨씬 낮다. 이러한 이유로 복합재료(강하고 약한 성분이 공존)에서 두 성분간 연마속도 차이가 덜해지며 좀 더 평면을 구현하는데 유리하다. 그러나 래핑필름의 단점은 폴리싱 패드에 비해 시편표면에 대한 저항성이 높은 단점이 있다. 이 단점을 극복하기 위한 한가지 방법은 폴리싱 패드 위에서 Lapping film은 얹어서 사용하거나 고무 패드 위에 얹어서 사용하는 방법이다. 이 방법은 Ceramic fiber optic ferrules의 폴리싱 용도로 일반적으로 사용된다.

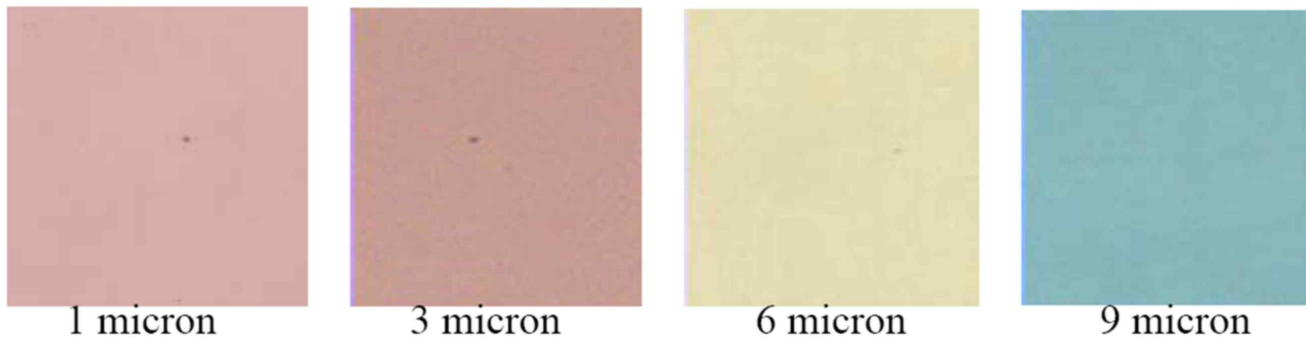


Figure 5-29 Fine diamond lapping films.

5.8.4 Automated Rough Polishing

Disk-on-disk 형식의 자동화 기기를 사용한 폴리싱의 경우, Rough polishing의 상대 회전속도는 연마될 재료의 성질에 의해 결정된다. (Figure 5-30). 손상에 매우 민감한 금속 및 기타 재료의 경우(취성이 강한 세라믹 그리고 전자재료), 상대속도 차이는 작게 해야 한다. 또한 시편 홀더에 시편을 장착하고 Auto head와 Base plate의 회전속도를 같게 해주고 같은 방향으로 회전시키는 방법은 시편의 손상을 최소화 할 수 있다(150rpm base speed /150rpm head speed). 하지만 이와 같이 같은 방향으로 연마를 실시하게 되면 시편의 연마속도는 비교적 떨어지게 된다.

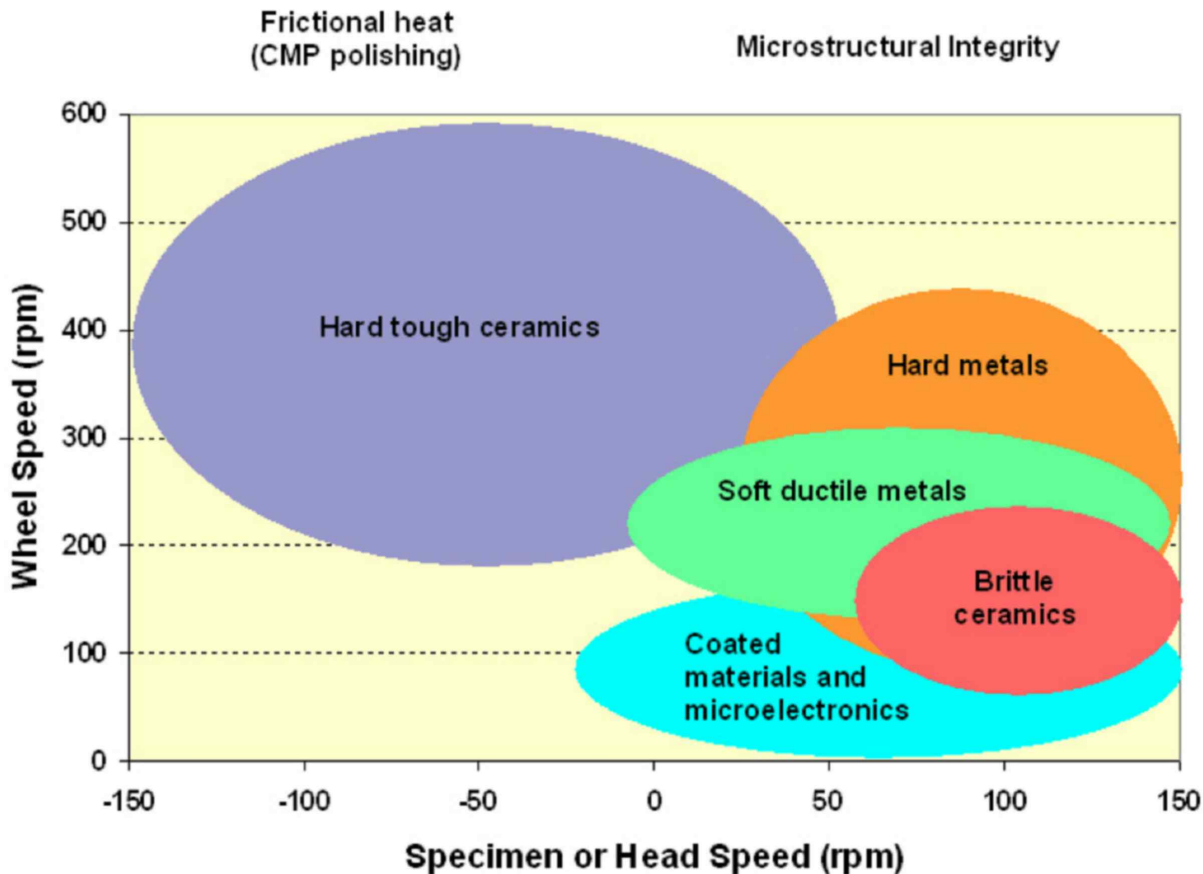


Figure 5-30 Relative velocity distribution guidelines for rough polishing various materials.

Silicon nitride, zirconia 그리고 boron nitride와 같이 강하고 질긴 엔지니어링 세라믹의 경우, 상대속도를 매우 크게 하는 방법이 권장되다, 이 방법은 좀더 강력한 Rough polishing 작용을 연출하게 된다. 또한 폴리싱 압력도 높게 해주는데, 이와 같은 성질을 보유한 CMP공정에 매우 효율적이다.

5.8.5 CMP (Chemical Mechanical Polishing)

CMP(Chemical Mechanical polishing)은 기계적 폴리싱과 화학적 폴리싱 둘 다 최적화 하는 기술이다. CMP

폴리싱은 세라믹, 반도체, 연질재료의 경우 시편표면과 시편표면 손상을 양쪽 다 최소화하는데 있어 매우 유용한 공정이다. CMP공정에서 가장 일반적인 연마제로는 콜로이달 실리카와 다소 높거나 낮은 Ph값을 보유한 Alumina이다. pH값 외에도, 용액의 산화/환원전위 및 Solution chemistry는 CMP공정에서 매우 중요한 인자이다. 산화전위의 감소는 시편표면에 화학적 폴리싱 영향력을 상당히 증가시킬 수 있다. CMP공정으로 폴리싱될 시편의 특성을 초기에 평가하는데 유용한 방법은 Pourbaix diagram을 함께 사용하는 것이다. Pourbaix diagram을 사용하면, 다양한 Ph와 산화영향에 대해 안정화 도표를 사용하여 열역학적으로 추론할 수 있다. Figure 5-31은 알루미늄과 알루미늄-Water 시스템에 대한 Pourbaix diagram을 나타내었다. Pourbaix diagram에서 보면, 4~10까지의 Ph 값에서 안정한 종류는 알루미늄이다. 그러나, Ph 값 4 밑에서는, Al+3가 열역학적으로 더 안정하며 PH 10이상에서 보면, AlO2가 가장 안정된 종류이다. 이 내용은 알루미늄 세라믹의 CMP 폴리싱에는 낮거나 높은 Ph 값이 좀더 현실적인 방법임을 나타낸다.

Note: Pourbaix diagram이 열역학적으로 가장 안정된 종류를 결정하는데 유용한 방법이기에는 하나, 특정 작용이나 분해속도에 대한 정보까지는 제공하지 못한다. 실질적인 분해속도는 좀더 정교한 전기화학적 방법을 통해 결정될 수 있다. 실전에서는 CMP 공정의 효과는 실험적 기술에 의해 결정된다.

Colloidal Silica Abrasives for Ceramics

콜로이달 실리카 연마제는 다이아몬드 연마제와 같이 기계적 연마에 함께 사용될 경우 분산효과 및 CMP 기능을 연출할 수 있는 탁월한 연마제이다. 개선된 폴리싱 효과는 매우 상당하다. 다이아몬드와 콜로이달 실리카를 함께 사용하게 되면 세라믹의 경우 표면 및 표면 이하의 손상을 제거하는데 최적의 성능을 발휘하게 된다.

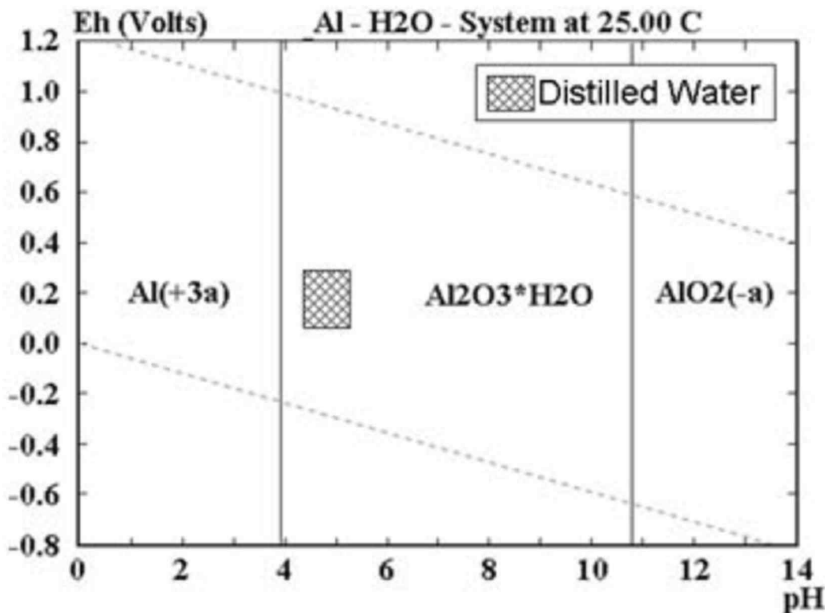


Figure 5-31 화학적 안정구간을 결정하는 Electrochemical Pourbaix diagram

콜로이달 실리카는 세라믹, 복합재료, 연질재료의 CMP공정에 있어 매우 독보적인 연마제이다. 가장 일반적인 콜로이달 실리카의 입자크기는 0.05~0.07micron의 알갱이 크기를 보유하고 있으며 일반적으로 알칼린 pH값(>9.5)에서 안정화 되어있다. 더 높은 pH값에서, 콜로이달 실리카는 자체 미세입자의 전기화학적 반발력으로 함께사용되는 연마입자를 완벽하게 고정하는 역할을 하게 된다. 이와같은 화학적 균형은 시편표면에 얇은 반응 층을 생성하기 위해 세라믹의 표면 및 미네랄 표면을 전기화학적으로 공격하게 된다. 생성된 이 반응 층은 연마제 및 연마천과의 기계적 연마를 통해 제거된다. 폴리싱 속도에 있어 다이아몬드 만을 사용한 기계적인 연마와 비교할 때 세라믹과 미네랄의 경우 연마가 상당히 빨라진다. 이와 같이 세라믹과 미네랄의 표면 및 표면이하 손상을 제거하는데 있어 가장 빠르고 신뢰할 수 있는 공정은 콜로이달 실리카를 사용한 CMP공정이다. 다른 화학적 발열반응과 비교하여, 화학적 기여도는 폴리싱의 온도가 높아지면서 강화된다. 이와 같은 반응은 폴리싱 천, 콜로이달 실리카와 시편의 마찰력, 관련된 폴리싱 압력과 폴리싱 속도를 증가시키면서 완성된다. 시편의 표면은 증류수를 폴리싱 천에 10~15초 동안 뿌려준 다음 물로 시편을 헹구어 주는 방법으로 세척한다. 이 방법은 반응층과 표면에 묻어있는 잔여 콜로이달 실리카를 제거해준다.

CMP polishing example (silicon nitride)

세라믹 CMP공정의 한 예로 Silicon nitride를 준비하였다. Silicon nitride는 매우 단단하고 질긴 세라믹으로 응용범위가 매우 넓은 재료이다. 그림 5-32와 5-33은 일반적인 다이아몬드 연마제를 단계별로 사용한 결과와 다이아몬드와 콜로이달 실리카를 함께 사용한 CMP공정의 결과물을 비교하여 나타내고 있다.

그림 5-32는 다이아몬드 연마공정을 다음과 같은 순으로 30,15, 9, 6, 3, 1, 0.5, 0.25, 0.10 micron 각 5분씩 실시한 후 결과물이다.

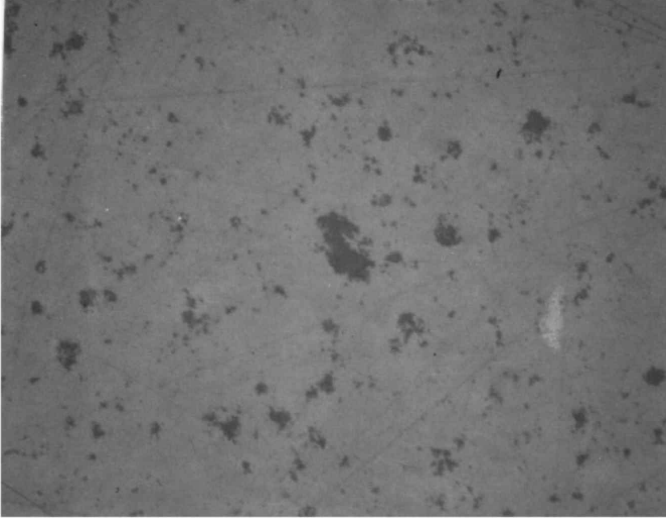


Figure 5-32 Diamond polishing of silicon nitride.

그림 5-33은 30micron으로 초기 연마한 다음 6micron 다이아몬드와 콜로이달 실리카를 혼합하여 연마 후 콜로이달 실리카 만 사용 후 최종 폴리싱한 결과이다. 각 공정은 5분 씩이었다.

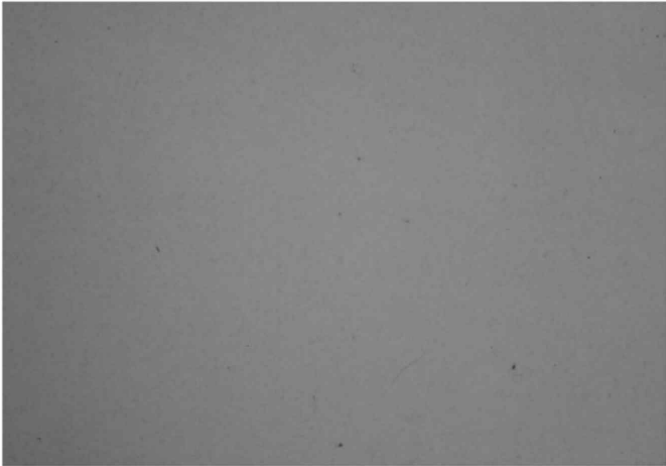


Figure 5-33 CMP polishing of silicon nitride with colloidal silica.

결과에서도 명확히 알 수 있듯이, 콜로이달 실리카의 사용은 Silicon nitride의 표면 및 표면이하 손상을 상당히 제거하는 효과가 있는 반면, 다이아몬드 연마공정으로는 존재하는 손상을 깨끗하게 제거하지 못하는 것으로 확인되었다.