

## 플라스틱 성형금형에 신속 적용 가능한 내마모, 내식성 및 이형성 향상을 위한 신기술

김 성 완

한국생산기술연구원 열표면기술부

### 1.4 변형과 치수관리

플라스틱금형과 고기능부품에 많이 이용되는 석출 경화형과 스테인레스계 재료를 포함한 합금강종에서 나노질화 처리는 질소 농도와 처리온도를 낮게 설정해서 처리하고 있기 때문에 형상에 관계없이 변형이 거의 생기지 않는다.

치수변화정도는 화합물 층이 생기지 않으면서 원자 질소의 흡착에 의해 생긴 나노층으로부터 직접 확산에 의해  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N + Fe로 형성되기 때문에 질소고용에 의한 체적팽창만 조금 있는 정도로서 표준 조건에서 처리한 경우 각 강종의 치수 변화는 250 mm의 길이당 5  $\mu$ m 이하의 팽창이 생기는 정도이다.

단, KTSM, S50C, SK 등의 탄소계 재료와 두께가 3mm 이하의 얇은 재질의 경우 모재 전체에 질소가 침입해서 이상 체적 팽창함으로 인해 치수 변화와 변형을 일으킬 위험이 있으므로 조심하여야 한다.

### 1.5 사출금형의 이형성 개선

플라스틱금형의 경면의 내마모성, 내식성, 면조도의 변화와 같이 해결해야 하는 문제점은 elastomer (탄성중합체), 아크릴수지, 불소수지, 실리콘 고무(NBR) 등의 성형시 이형성과 가스 소착이다.

질화처리가 이형성을 향상시킨다는 보고는 거의 없어 나노질화처리 경우도 당초 별로 기대하지 않았으나, 나노질화에서는 이형성에서 뛰어난 결과를 보였다. 물론, 모든 수지 성형에 있어서의 이형성을 개선되는지는 아직 미지수이나 일부 결과에서 현저한 효과가 나타났다. 이형성 개선의 근거는 명확히 모르나 가스질화처리의 경우 암모니아가스를 분해시켜서 대기압에 가까운 분위기 중에서 Fe와 반응시킴으로 로점의 관리가 어렵고, 질화반응이 불안정하게 강하게

되어 면조도가 거칠게 되기 때문에 가스 소착이 일어나기 쉽게 된다. 또한, 구멍과 틈 입구의 치수가 내측으로 부풀어 올라 under cut됨으로 뽑아내기가 어렵게 된다. 반면 나노질화처리의 경우 진공 중에서 이온화시킨 질소와 수소원자를 400°C 정도의 온도에서 Fe와 반응시키기 때문에 불안정한 요인이 일어나지 않고 면조도의 변화에 있어서도 코너부분에서 팽창이 생기지 않아 이형성이 뛰어난 것으로 추정하고 있다.

또한, 나노질화처리의 표면은 나노 층으로 형성되어 마찰계수가 작고 표면조도가 매우 낮다. 이처럼 나노질화 층의 특성은 내마모성, 내식성 뿐 아니라 이형성의 개선에 크게 기여할 것으로 기대된다.

금형이 압력을 많이 받지 않는 경우 단순히 이형성만이 문제라면 마찰계수를 낮추어 수지의 유동성을 좋게 하고, 이형성을 개선할 수 있는 DLC 코팅이나 마이크로소프트피닝을 이용하는 것도 해결책이다.

### 1.6 내마모성

일반적으로 내마모성은 경도와 비례하기 때문에 나노질화처리로 얻을 수 있는 경도가 금형의 마모를 좌우하는 것은 말할 필요도 없다.

나노질화처리에 따른 경도 변화는 그림 5, 6에서 볼 수 있듯이 경도 800 HV 전후와 1100 HV 전후에서 재료별로 구별된다. 이것은 나노질화처리에서의 내마모성은 금형 재료에 따라서 차이가 난다는 것을 의미한다.

또 쇼트수 및 형체결합에 대한 내압강도의 유무를 고려해야 한다. 금형의 수명을 좌우하는 주요 요인의 하나이기 때문이다. 이 내압강도는 금형의 모재경도에 좌우되는 것이기 때문에 표면의 경도만 올리는 것으

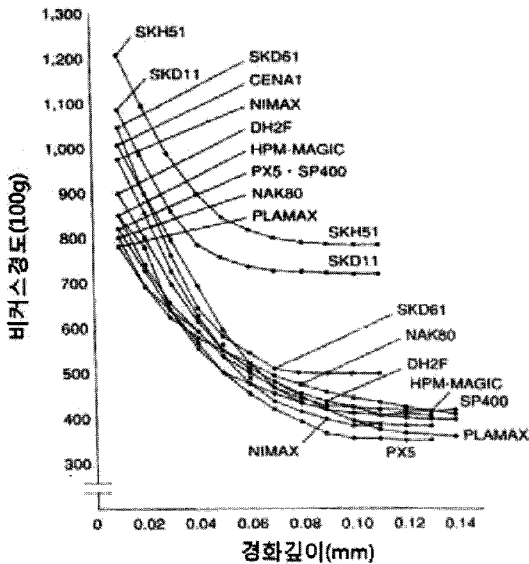


그림 5. 합금금형의 나노질화처리시 경도 분포 (400°C).

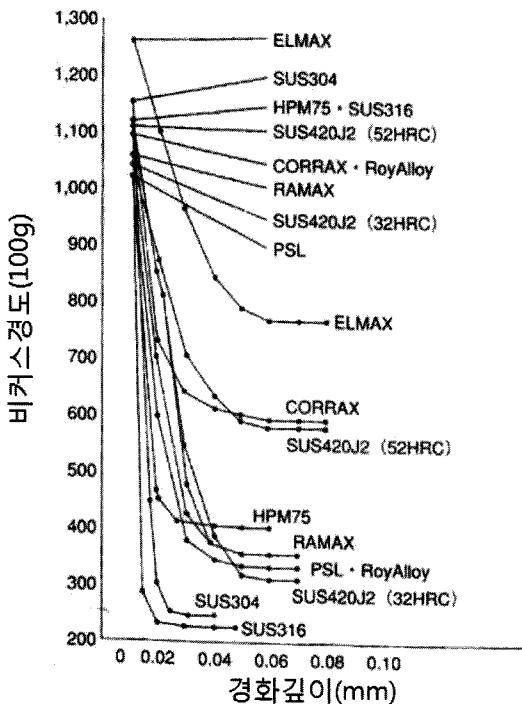


그림 6. 스테인레스계 나노질화처리시 경도 분포 (400°C).

로 해결이 곤란하다. 따라서 금형의 목표 쇼트수를 얻기 위해서는 모재의 경도도 함께 고려해야 한다.

플라스틱 금형의 제작에서 원가절감을 위해 가공 공수를 줄이는 방안의 하나로 QT재료 대신 노말라

이징처리된 소재를 사용하여 가공성을 용이하게 한 후 표면만 나노질화처리하여 경도를 올려 사용하는 방법도 추천 방안이다.

## 2. 또 다른 나노 표면 창제 기술

### 2.1 금형에 DLC 코팅 적용

플라즈마를 이용 탄화성가스 또는 그라파이트를 이온화시킨 후 소재 표면에 바이어스 전압을 가하면 다이아몬드와 같이 고경도를 가지면서, 저마찰계수를 지닌 탄소계 박막이 생긴다. 이 박막은 다이아몬드 구조와 그라파이트 구조가 혼재된 비정질 조직으로 열전도도가 뛰어나게 좋으면서도 산이나 알칼리 등에 부식이 되지 않는다. 다이아몬드와 비슷하다고 하여 Diamond-like carbon(DLC)라 명명되었다.

탄소를 고용하지 않는 알루미늄 또는 동 등의 가공용 공구로 이용되어 오고 있으나 금형에는 비교적 최근 적용되기 시작했다. 이는 DLC의 단점인 대기 중에서 약 350°C 정도의 열을 가하게 되면 그라파이트화 되기 쉽고 밀착력이 충분하지 못하기 때문이다. 최근 Si-DLC의 개발과 이온 건을 이용한 표면 이온세척기술의 향상으로 밀착력 확보가 쉬워진데다 수요처에서 생산성 향상을 위해 이형성이 중요한 문제로 대두되었고, 저온처리로 단납기가 가능해졌기 때문이다. 현재 PVD, PCVD 등 여러 가지 방법으로 쉽게 DLC 코팅을 만들 수 있다.

DLC를 금형에 처리하면 표면층을 1800°CHV 이상이면서, 고경도로 마찰계수가 극히 낮은데다 웬만함 부식조건에서는 안정하므로 선진국에서는 최근 그 응용이 확대되고있다. 특히 사출이나 성형의 경우 이형성에 큰 도움이 되고 있다. 단, 모재의 경도가 낮으면 계면에서 잔류인장응력이 발생하여 밀착력이 떨어진다. 특히 형상이 복잡한 경우 반드시 화합물이 없는 특수질화 후 처리해야만 효과를 얻을 수 있다.

실제 해외까지 금형을 보내어 DLC 코팅 해오고 있으나 소재의 특성과 열처리를 이해하지 못하여 실패한 사례가 종종 보고된다. 주로 모재의 경도가 낮은 SUS 계에서 이런 문제가 많이 생긴다.

그림 7은 리니어이온건을 이용한 하이브리드 코팅 장치의 예를 보이고 있다. 코팅의 품질은 밀착력 마찰계수, 경도, 수소함량 등 여러 가지 변수가 있어

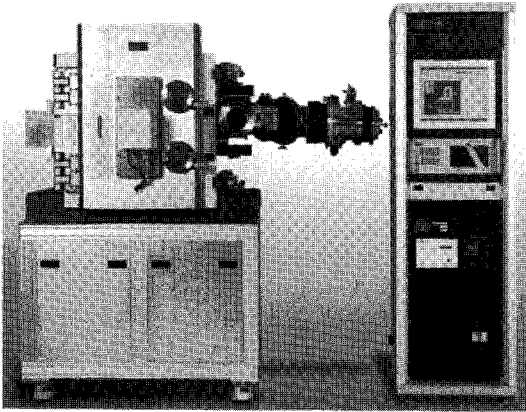


그림 7. 리니어이온건을 부착한 DLC장비의 예.

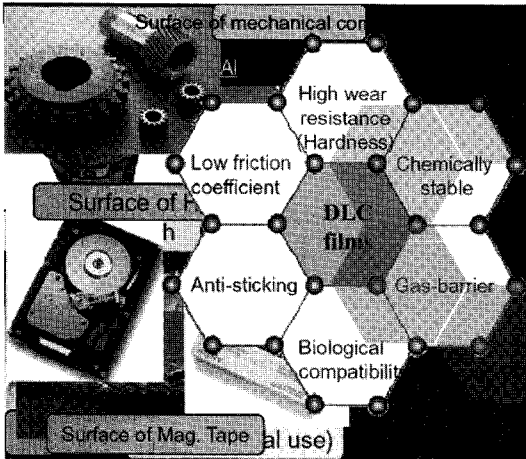


그림 8. DLC 코팅의 특성 및 적용.

업체별로 천차만별이므로 적용시 전문가의 지도를 받는 것을 권장한다. 그림 8에서는 DLC 특징, 그림 9에서는 그 응용분야를 간단히 표기해 두었다.

### 2.2 금형의 다이렉트본딩

금형의 신속 냉각은 사출 생산성에 매우 중요한 변수이다. 특히, 대형제품의 경우 냉각 시간이 길어져 생산성이 크게 떨어진다. 이러한 주요원인으로 캐비티 주변을 건드릴을 이용하여 가공시 캐비티 부분과 거리 차이가 발생하여 냉각의 불균일로 냉각시 변형발생 혹은 제품의 냉각시간이 길어지기 때문이다. 최근, 이러한 어려움을 해소하기 위해 플라즈마 소결 장치를 개량하여 금형을 다양하게 분할가공 후 다시 직접 접합시키는 방법인 다이렉트본딩 기술이 소개되어 생산성을 크게 개선시켜, 일본에서는 그 이용이 점차 확대되고 있다(그림 10).

자료상으로는 만능인 것처럼 소개되어 있지만 아직은 상당한 제약 조건이 있다. 사출 성형금형의 경우 NAK와 같은 알루미늄을 포함한 소재는 통전소결시 본딩층이 불균일하고 대개 처리온도가 1000°C에 달하게 됨으로 처리 후 인장강도가 절반이하로 떨어진다. 따라서 반드시 재열처리를 통하여 소재의 성능을 살려야 한다. 소재와 가공방법에 따른 어려움이 있으므로 사전에 실시자와 충분한 협의가 필요하다. 즉 형상에 따른 치수변화, 유로의 크기(일반적으로  $\phi 3-5$ ) 노크핀 관련 위치 재질 등, 표면조도 평탄도 등등에 따라 후 열처리 방법과 함께 고려되어야 한다.

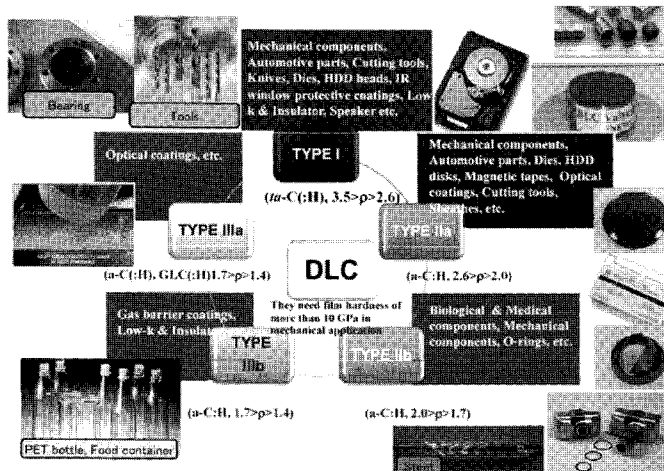


그림 9. DLC 코팅 응용분야.

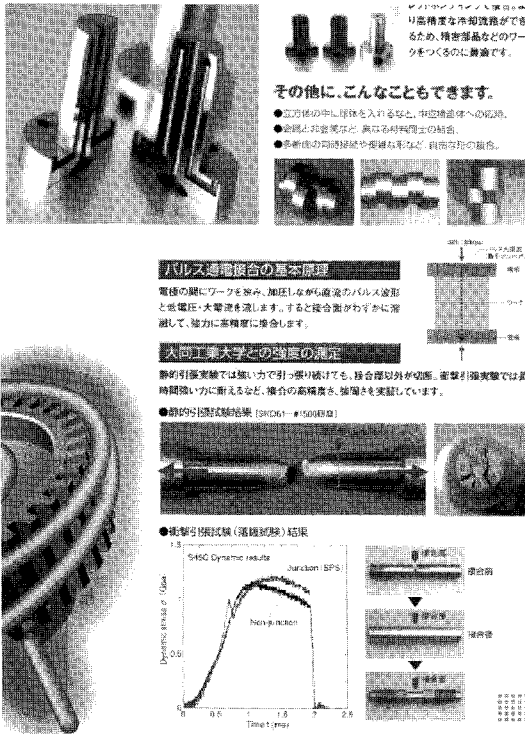


그림. 10. 니혼테크노(일본)의 direct bonding 소개 자료.

현재 일본에서는 설비보유업체는 많으나, 제대로 처리하는 곳은 3군데 정도라고 한다.

### 3. 결 언

플라스틱 사출 및 성형금형의 내구성 및 내마모성 성능 향상 기술로 비교적 낮은 온도인 400°C에서 특수질화 처리함으로써 내식성, 내마모성, 이형성을 얻을 수 있다. 이 나노질화기술은 오스테나이트계 스테인레스에서는 S 상이라는 특이한 상을 만들어 고경도의 내식층을 얻어 위와 같은 특성을 보여 사출금형에서 생기는 여러 가지 문제를 쉽게 해결할 수 있음을 소개하였다. 마르텐사이트계 스테인레스강에서는 표층에 CrN과 ε층의 복합층을 만들어 우수한 성질을 보인다. 나노질화는 플라스틱 금형용강에서 변형이나 경면성 등의 희생없이 요구특성을 향상시킬 수 있는 기술로 금형의 부가치를 올리는데 큰 기여를 할 것이다. 또 이형을 용이하게 하면서 내식성과 마찰 특성을 개선할 수 있는 방안으로 DLC를 아울러 냉각 성능을 개선하는 펄스 플라즈마에 의한 직접접합법을 소개하였다.