《기술자료》 열처리공학회지, 제 23 권 제 1 호 (2010) pp. 43~47

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

김 성 완
한국생산기술연구원 열표면기술부

플라스틱사출 및 성형 기술은 자동차부품 전자부품 통신기기 등의 생산에 중요수단으로 산업에서 널리 사용되고 그 중요성도 매우 크다. 고객의 기대에 부응하면서 요구를 충족하기 위해 캐비티 수의 증대, 난연재 사용, 대형화 등의 다양한 기술로 대응 하고 있고 요구기술이 고도화됨에 따라 현장에서는 주로 설계나 공정관리 등으로 쉽게 문제를 피해가고 있다. 금형기술자들이 재료나 열처리 · 표면처리를 시중에서 판매되는 책을 통해 공부하다보면 평상시 사용하던 용어가 아니라 소재와 열처리는 어렵다고 치부하고 포기해 버리는 경향이 있어 금형의 품질이 일정 한계를 넘지 못하고 있는 실정이다. 금형소재의 선택을 폭넓게 하거나 표면처리기술을 활용하면 자유도가 높아져 훨씬 쉽게 해결할 수 있을 것이다. 그래서 여기서는 사출금형의 문제점 해결 중심으로 간단히 열처리 신기술을 소개하고자 한다.

최근에는 금형산업이 글로벌화되고 인터넷의 발달로 지역이나 나라에 상관없이 고객 물량 유치 경쟁하고 있다. 사출이나 성형금형의 경우 생산성을 높이고자 캐비티 수를 늘이고, 대형화로 인해 사출압이 높아지고 수지에 파이버 등 다양한 첨가물이 들어가고, 좋은 제품을 생산하기 위해 제품의 정밀도 역시 높아지는 등 금형의 사용 조건이 점차 악화되므로 내마모성 향상이 요구되고 또 생성물에 의한 표면 손상을 막고 부식이 되지 않으면서 성형시 이형이 잘되는 금형이 필요하다. 금형의 슬라이드 부에서 물어 뜯김, 난연재 사용 증가에 다른 금형표면의 부식, 금형표면과 수지표면사이 기체잔류로 인한 광택 불량 등 여러 가지 성질이 요구된다. 플라스틱 금형소재로서 요구되는 성질을 정리하여 보면 표 1과 같다. 금형제작 중 차지하는 가공비를 줄이면서 연마성이 좋아 고경면이 잘 나오게 기계가공성이 좋은 프리하든강 및 고속가공기를 활용하여 석출경화형강을 사용한다. 캐비티는 인장응력이 반복되거나 유리섬유, 금속분말 및 다량의 무기질 성분을 함유하는 경우에 대비 충분한 강도와 인성 및 내마모성이 필요하다. 염화비닐계수지, 나일론, 폴리비닐아세틸은 성형 중 부식성가스 유기계발포제는 암모니아가스 발생과 반응성 불연제의사용으로 금형이 부식이 잘되므로 스테인레스 계를 사용한다. 또 폴리카보네이트(PC), 폴리페니렌옥사이드(PPO) 등의 사용으로 성형밀도와 온도가 높아 슬라이드 부에 긁힘이 발생하지 않도록 내열성과 열팽창계수가 작은 형재를 선택한다. 일반적으로 사출금형재료로는 표 2에 보이는 여러 가지 소재 중 특성과 경제성을 고려하여 선택 사용한다. 현재 국내에서는 금형 제조공정 중에는 열처리가 필요

표 1. 사출금형 문제점 및 금형재의 요구성질

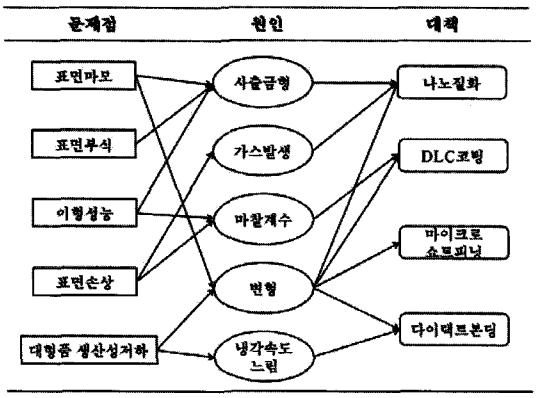
원인	요구성질	대책
가공비 비중 큼	기계 가공성, 경면성	프리하든강, 석출경화형 이용 또는 고속가공기
캐비티 고하중 반복	인장강도, 내마모성	SKD61종 개량형강 표면경화열처리
부식성 가스	내 부식성	SUS계
높은 성형압/온도	내열성	특수 공구강
수정	용접성	

표 2. 금형 재료별 특성 비교자료

특성 / 재질	경도(HRC)	절삭성	강인성	내마모성	경면사상성	부식가공성	열전도성	특성
KP1	9~18	B	D	D	D	B		
KP4	28~32	B	D	B	D	B		
KP4M	30~40	C	C	B	C	B		
NAK80	40	E	B	B	A	B		고경면성
ASSAB718	33	C	C	C	A	B		고경면성
STAVAX	17	C	B	B	A	B		고경면성
KTSM 3M	33	C	C	C	B	B		
SKD61	53이하	C	B	B	C	B		
SKD11	55이상	C	A	C	C	B		
HPM2	40	C	C	B	B	B		
HR750	18~24	A	E	E	C	B	A	열전도성
Be-Cu	40	B	D	C	B	B	B	열전도성
SKS3	60이상							
SK3	63이상							

A: ◎, B: ○, C: △, D: ×, E: ××

표 3. 플라스틱 금형의 트러블 원인 및 대책



없는 석출경화 프리하든강과 스테인레스계 강종인 스웨덴 우데홀름사의 STAVAX와 일본 금형제인 NAK와 HPM 계열이 주로 이용된다. 스타박스는 크롬몰리계 합금을 ESR을 이용 용해하여 불순물을 극히 줄인 강종이고, NAK는 Cu-Ni-Al계 석출경화형 개량합금으로 제조메이커에서 열처리되어 판매되고 있으나 간혹 재 열처리해야 하는 경우에 어려움이 있다.

제조 조건을 고려하여 금형소재를 고르기는 하나, 조금 더 내구성, 내마모성 및 내식성이 필요한 경우가 자주 있다. 표 3에 플라스틱사출 또는 성형시 발생하는 문제점 및 대책방안을 간단히 표기해 두었다.

각종 서적에 플라스틱 금형의 열처리방법으로 질화기술이 소개되어 있어서 현장에서 경도상승을 목표로 가스질화나 이온질화를 시도해 보기도 하나 표층에 생성되는 화합물로 인해 표면경면의 손실 및 층의 불균일로 인한 연마 불량과 변형 및 부식 등으로 만족스런 결과를 얻지 못해 어려움을 겪고 있다.

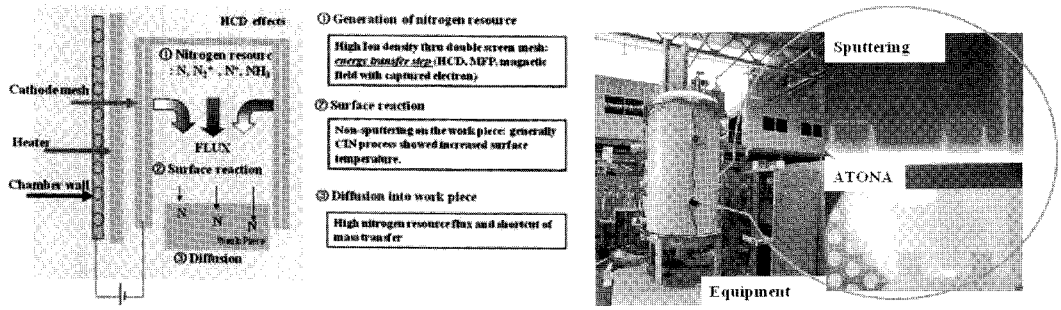
본 고에서는 이러한 문제의 해결 가능한 나노질화 기술과 DLC 코팅 기술을 간략히 소개하고자 한다. 아울러 최신기술로 소개되는 직접접합(direct bonding) 기술에 대해 알아본다.

1. 나노질화기술 및 적용

1.1 나노질화의 원리 및 특징

그림 1은 아토나 장비의 모식도를 보여주고 있다. 내부에 보조전극을 장착한 플라즈마 질화장치로서 보조전극을 통하여 고밀도의 플라즈마를 발생시키도록 제작되었다.

기존 이온질화에서는 글로우 방전을 이용하므로 처리과정 중 제품의 표면에서 표층이 스퍼터링되고, 질화화합물 상태로 흡착이 일어나므로 질화화합물 층이 두텁게 되기 쉽다. 또 표면이나 형상에 따른 국부적인 온도제어가 어려워 S상의 생성이 어렵다. 결과적



a) ATONA 개념 및 모식도 b) ATONA 장비 및 공정

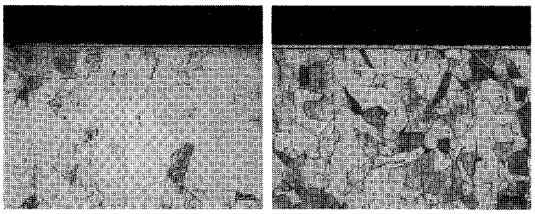
그림. 1. ATONA기술의 원리에 대한 개념도 및 공정장비.

으로 처리시간이 매우 길게 소요될 뿐 아니라 표면 조도가 바뀌는 단점이 있다.

그러나, 나노질화경우는 시편 주변에 설치된 두 장의 스크린 사이에서 얻어지는 이온화된 질소 원자를 바로 금형 표면에 흡착 및 확산시키는 획기적인 방법이다. 이렇게 되면 나노층 두께의 화합물이 생성되어 육안으로는 구별하기 어려울 정도의 반짝이는 표면을 보이고, 또 원자질소의 흡착 및 확산을 조장하여 단시간에 질화층이 형성된다. 이 결과 스테인레스 금형과 같은 경우 S상을 용이하게 얻을 수 있고 표면에 전기장이 걸려 균일하게 처리되므로 코너부분에 과잉질화가 이루어지는 것을 방지할 수 있다. 따라서 열처리 후 팽창으로 인해 사출시 제품의 끼임으로 인한 어려움을 방지할 수 있다.

1.2 S상에 의한 금형의 내부식성 향상

난연성 재질의 이용과 성형 공정 중 발생하는 부식성 가스로 인한 금형 표면의 부식 문제를 해결하기 위해 일반적으로 스테인레스강이 사용된다. 오스테나이트 스테인레스강으로도 내식성이 충분히 얻을 수 없을 경우 질화열처리를 잘하면 왕수와 같은 부식액에 넣으면 모재는 부식되어도 표층은 부식이 되지 않는 층을 얻을 수 있는데 이 층을 S상이라고 부른다. 통상 420°C 이하의 온도에서 질화하면, S상이라 불리는 백색의 경도 900 HV 이상의 경화층이 얻어지는 것으로 자료에는 소개되어 있다. 일반적인 이온질화에서는 이 층을 얻어려면 장시간이 소요되어 재료의 변형이 염려되고 또 표층의 조도가 바뀌는 등 어려움이 있어 품질이 천차만별이다. 이웃 일본에



a) SUS 304 b) SUS 316

그림. 2. 오스테니틱 스테인레스에 400°C ATONA기술을 적용한 예.

서는 암모니아를 저전압 이온질화시 이용하는 라디칼 질화기술이 잘 알려져 있고, 펄스를 이용한 BPN질화기술이 이용되고 있다. 국내에서는 이 보다 더 우수한 나노질화기술이 생기원(본 연구자 특허보유)에서 개발되어 보급되고 있다. 나노질화기술은 고진공 플라즈마상태에서 질소를 원자상태로 만든 후, 제품에 증착 및 확산시킴으로 균일하게 단시간에 질화하는 기술로서 변형프리, 조도변화가 없는 획기적인 특성이 있어, 일본의 경쟁 기술보다 더 우수하다. 현재 연료전지분리판 및 수처리 전극재료 생산 등에 응용되고 있다.

이 S상은 질소가 고크롬기지 과포화상태로 고용된 조직으로 안정성이 높아 내식성이 뛰어나고, 이러한 특성 때문에 원자력이나 화학공업에서 SUS 316의 내식성을 보다 향상시킬 때 사용하는 기술이다(그림 2).

이 기술을 오스테니틱 스테인레스계 금형 소재에 응용하기 위한 표준으로 400°C에서 6시간 이내 처리하면 50 미크론 정도 확산층과 최표면에 S상을 얻을 수 있어 부식을 막을 수 있을 뿐 아니라 표면 경도를 높일 수 있어서 내마모성까지도 크게 개선할

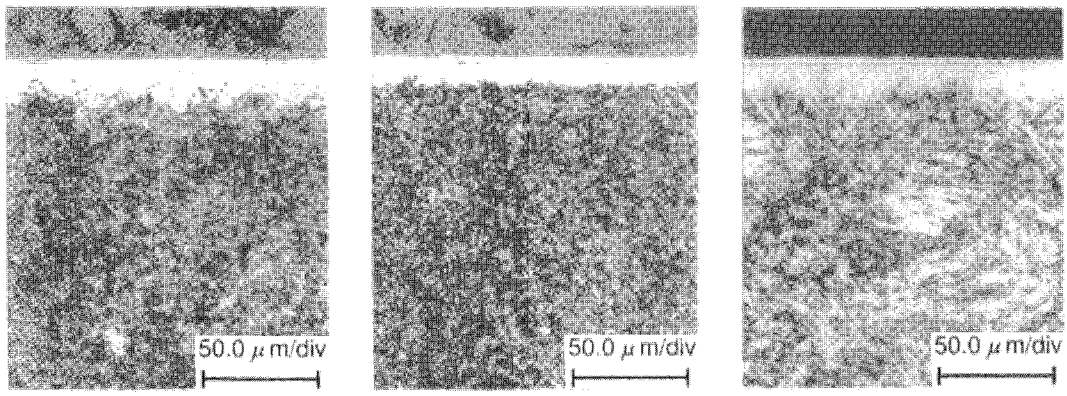


그림. 3. 마르텐사이트계 SUS420J2스테인레스에 저온나노 질화 적용 예.

수 있다. 오스테나이트계 스테인리스강인 SUS 316의 경우 460°C까지도 석출물이 없는 S상이 생성되고, 극히 안정된 내식성을 나타내는 결과도 얻을 수 있었다.

마르텐사이트계 스테인리스강 및 석출경화형 스테인리스강의 경우는 같은 조건에서 처리하면 S상은 생성되지 않지만, 같은 조건인 400°C에서 CrN과 ε층으로 생성되고, 500°C에서는 CrN과 γ' 조직이 얻어진다.

그림 3에서 400°C의 처리조건에서 마르텐사이트계 스테인리스강 및 석출경화형 스테인리스강을 처리한 조직인 CrN과 ε층을 볼 수 있다. 이 백색의 경화층은 1100 HV전후의 경도 값을 보여 내마모성이 뛰어나며 Fe가 고용되지 않은 경화층이기 때문에 내식성은 오스테나이트계 스테인리스강의 S상에 필적한다. 또한, 이 경화층은 내공식성에 있어서도 우수하다고 보고되어 있다.

마르텐사이트계 스테인리스강에서의 400°C에서 생성된 질화층은 산에 강하지만, 염수분무시험에서는 내식성이 떨어지고 500°C에서 생성한 질화층 쪽이 더 우수하다는 보고가 있으나, 반대의 경우도 있어 상황에 따라 확인이 필요하다.

현재 스테인레스계 강종 경우 나노질화처리는 400°C에서 처리하는 것을 표준으로 하고 있다.

1.3 경면성, 광택

가스질화의 경우 질화처리에 따라 베어링면의 광택성이 떨어지거나 없어지게 된다. 이 현상은 블라스트 처리에 의해 활성화된 베어링 면은 일반 가공면보다 질화철의 형성이 빨리 일어나, 표면이 회색으로 변화함으로 조도와 색조가 바뀐다고 생각된다.

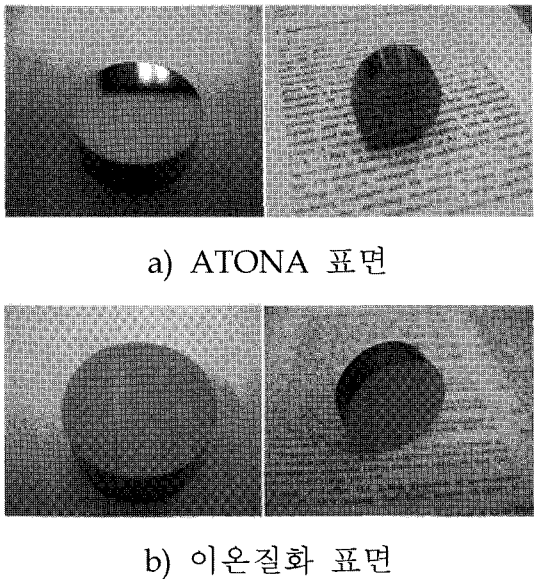


그림. 4. ATONA 및 이온질화의 표면광택도 비교.

나노질화의 경우 연마면의 광택도를 유지 가능한데 이것은 표면에 생기는 화합물 층이 나노두께이면서 표면조도가 변하지 않기 때문에 빛이 흡수되지 않고 반사되기 때문이다. NAK80으로 제작한 110 × 170 × 25 mm의 성형용 금형을 굵기가 다른 입자로 연마하여 광택도를 달리한 시편을 나노질화 처리한 후

품질차이에 대해서, 관찰한 결과 열처리전 후 거의 차이를 볼 수 없었다. 모두 거울처럼 반사 광택면을 유지할 수 있어 뛰어나다(그림 4).

초경면의 나노질화 처리에서의 변화를 보기 위해 53 HRC의 SUS 420J2 개량 강에서 조사한 결과 Ra가 0.01 μm에서 0.07 μm로 약간의 조도 변화가 있다. 따라서 이 면을 1~2 μm의 래핑(폴리싱)이 하면 처리전 표면으로 바꿀 수 있었다. 단, 일반적인 광택에 대해서는, 변화가 적기 때문에 래핑이 필요하지 않을 정도이다. 나노질화처리에서의 면조도의 변화는, 질화층의 형성 반응을 좌우하는 합금원소처리 온도를 낮게하여 처리하는 것이 가능하기 때문에 기존 질화와 달리 광택과 조도를 유지할 수 있다.

유리섬유가 첨가 된 수지를 성형하는 금형, 그리고 경면과 윤기있는 시보리금형에서의 면조도와 치수정도를 중요한 정밀금형, 정밀기능부품에는 나노질화처리는 뛰어난 특성을 얻을 수 있다. 단 저급의 압연강과 탄소계재료는 피하고 고합금계 금형 소재를 사용하는 것을 추천한다.

- 다음호에 계속 -