

사출금형용 프리하든 강의 수명 향상 기술

김성완 · 문경일 · 김상권 · 조용기
한국생산기술연구원 열 · 표면처리센터

Heat and Surface treatments for the Longevity of Prehardened Steels

Kim Sung Wan, Moon Kyoung Il, Kim Sang Gweon and Cho Yong Ki
Korea Institute of Industrial Technology (KITECH), Heat and Surface Treatment Center

후발공업국의 싼 인건비를 이용한 추격과 대기업 생산기지의 해외 이전 및 국내 인건비 상승 등에 따라 금형 제조업은 경쟁이 더욱 치열해지고 있다. 우리보다 앞 선 일본의 금형업체도 같은 문제를 안고 있어 경쟁력 강화를 위한 자구책 마련에 다방면의 노력을 경주하고 있다. 이 중에서 하나 특기할만한 사항은 열 · 표면처리 업계와 공동으로 원원전략을 갖고 금형의 소재선택, 표면개질 및 코팅 등을 통한 고품질의 장수명 금형 생산을 통해 선진공업국의 위치를 고수하고 있다는 사실이다.

본 고에서는 국내외적으로 어려움을 겪고 있는 국내 금형생산업체에 작은 도움이나마 되었으면 하는 바램으로 사출금형소재로 널리 사용되고 있는 프리하든 강의 선택기준, 열처리 방법, 표면개질 및 코팅 기술의 현황과 문제점, 대책을 소개하고자 한다.

1. 프리하든 강이란?

금형 사용 중에는 마모, 소착, 변형, 파손, 히트체크, 산화 등 다양한 문제점이 있어, 고생하는 사례를 자주 접하게 된다. 특히, 플라스틱 사출금형의 경우, 결로현상과 플라스틱 내에 함유된 CI(염소)의 부착으로 금형표면에 손상이 자주 발생하고 이에 따라 주기적으로 lapping을 실시해야 한다. 따라서, 부대비용의 상승과 품질관리 그리고 금형의 유지 · 보수에 있어서 애로점이 많아 이에 대한 대책이 요구되고 있다.

플라스틱 금형에서는 원가절감, 납기 등의 이유로 일반적으로 소재 제조 공정상에서 피로강도를 고려하

여 미리 열처리가 이루어진 프리하든 강 및 경면강이 널리 사용되고 있다. 금형의 종류는 사용조건 및 경제성을 고려하여 선택되지만, 사출금형의 경우와 같이 금형의 수명이 중요하여 고품질의 금형재료가 선정될 때는, 마모 스피드 수, 내부식성 등을 기준으로 하여 열처리를 할 것인가? 한다면, 언제 할 것인가? 즉 연마전 혹은 연마후에 할 것인가 등에 대한 심사숙고가 필요하다.

2. 적용 분야에 따른 프리하든 강의 선정

프리하든 강에는 표 1에 정리된 것과 같이 석출경화형인 SKD61계, SCM계, SUS420 스테인리스계가 있는데 내마모, 내식성, 경면성 등 요구특성에 따라 선정하여 사용 한다.

일반적으로 금형소재의 내마모성은 모재의 경도와 2차 탄화물의 종류, 분포 및 양에 따라 크게 차이가 있다. 표 1에 정리된 것과 같이 프리하든 강은 탄화물이 다량 함유된 고탍강인 SKD61종 계열의 DH2F, FDAC와 SUS 420J2 계열인 STAVAX와 미량의 탄화물을 가진 SCM 계열의 PXS, HPM2와 석출경화계인 NAK55, NAK80, HPM1 등으로 나누어진다. 내마모성은 어떤 재료를 사용하던지 표면처리를 함으로써 향상되나 프리하든 강의 선택에서는 일반적으로 유리섬유가 함유된 수지성형에서는 SKD61종 계열인 DH2F, FADC를 선정하고, 수지에 유리섬유가 첨가되지 않았거나 미량인 경우는 석출경화형인 NAK55, NAK80, HPM50 등이 추천되고 있다.

표 1. 프리하든 강의 재료 특성

강종 구분	재료명	경도	재료 특성					질화, PVD 적용	
			방전가공성	내식성	인성	내열성	경면성		
석출경화계 재료	NAK55, HPM1	40 ± 2	○				◎	◎	
	NAK80, HPM50		○	○	○	○	○		
	CENA1		○	○	○	○	○		
SKD61 계 재료	DH2F, FDAC	40 ± 2	◎				○		
SCM 계 재료	PX5, HPM7	32 ± 2		○	○	○	○		
	MPAX, PLAMAX		○	○	○	○	○		
SUS420J2 계 재료	STAVAX, HPM38, S-STAR	32 ± 2	◎	◎	◎	◎		◎	
평가	◎ 특히 우수하다, ○ 보통, 표시가 없는 것은 검토를 요함								

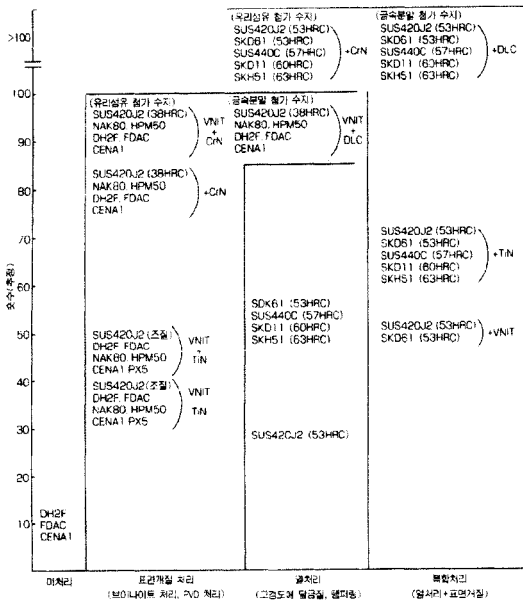


그림 1. 엔지니어링 플라스틱 성형용 금형의 품질과 추정 숫수.

프리하든 강은 금형가공 과정 중 열처리 공정의 배제와 가동성을 고려하여 일반적으로 모재 경도를 HRC 40±2로 되어있다. 최근에는 경량화, 박육화에 의해, 엔지니어링 플라스틱의 성형시, 성형압이 높아져 내압을 견디지 못하여 분할면(Parting Line)에서 꺼짐 등의 변형을 일으키는 사례가 자주 보고 된다. 이러한 원인으로 내마모성을 열처리와 표면처리에 의해 크게 개선하기위한 다양한 방법이 사용되고 있다. 그림 1에는 각종 금형소재에 진공 질화와 PVD 같

은 표면개질과 열처리에 따른 수명향상 예를 보이고 있다.

표 2에는 적용 용도별 상용되는 금형강의 선택 기준을 보여주고 있다. 표 3에는 소재의 선정시 고려되는 인자의 중요도에 따른 분류표의 예를 보여준다.

3. 프리하든 강의 열 · 표면처리 필요성

국내에서는 프리하든 강이라하면 단순히 열처리하지 않는 강이라 알려져 있지만 일본에서는 사출금형의 경우에도 다양한 열 · 표면 처리에 의한 수명향상 및 품질 개선을 행하여 품질 우위를 점함으로써 경쟁력을 확보하고 있다. 열처리에 의해 수명이 크게 개선할 수 있음은 알고 있으나 외주외뢰 공장 변경 등의 관리상 문제와 납기지연 등 어려운 점이 있고 결과에 대한 확신이 없을 뿐더러, 열처리를 적용할 경우 치수팽창과 변형이 수반될 수 있기 때문에 열처리 후 다듬질할 것인가 다듬질 후 열처리할 것인지 따라 가공공정순서를 비꾸어야 하므로 쉬운 문제는 아니다.

그러나 치열한 경쟁시대에 납보다 앞서기 위해서는 원원전략에 의한 품질 우위로 유리한 고지를 점령하여야 하므로 타 분야와 협동하기위한 관리자의 노력이 더욱 절실히 요구된다고 할 수 있다. 표 4에는 프리하든 강에 적용하고 있는 열처리 사이클 예를 보이고 있다. 이것은 참고자료이고 실제로 제품의 용도 크기 및 사용하는 로에 따라 다소 차이가 있으

표 2. 요구 특성 별 금형재료의 선택 기준

특수성형용도	용도별	적용강종	경도 HRC(HB)
대형	자동차구성부품 (판넬, 범퍼, 가름대 등) 동일한 용도에서 고정면을 요구하는 경우	IMPAX SUPREME HOLDAX	(~300) (~300)
경면을 요하는 금형	광학부품, 의학기구, 투명커버 및 판넬	STAVAX ESR ORVAR M SUPREME	50~56 48~52
복잡한 형상의 금형	1. 대형자동차부품, 가정용품	IMPAX SUPREME	(~300)
	2. 내마모성을 요구하는 소물제품	IMPAX SUPREME	(~300)
	3. 내마모성을 요구하는 소형부품 예) 전기부품, 전기기구	COMPAX RIGOR STAVAX ESR ASP-23	54~58 58~62 50~56 60~62
내마모성을 요하는 금형	강화플라스틱, 휠라용 수지	COMPAX RIGOR STAVAX ESR ASP-23	54~58 60~62 50~56 60~64
연속성형용 금형	열가탄성수지부품 예) 열가능 식품용기, 나이프 등	COMPAX STAVAX ESR ORVAR M SUPREME	54~58 50~56 52~54
내식성용 금형	1. PVC 등 부식성수지 2. 고온의 장소에서 성형하는 금형의 보관 3. 금형의 표면에 오염과 녹을 방지하는 경우 4. 냉각용수 구멍	STAVAX ESR	50~56
슈퍼가공용 금형	1. 조질강	IMPAX SUPREME	(~300)
	2. 소입강	ORVAR M SUPREME STAVAX ESR	48~54 50~56

표 3. 금형소재의 특성

강종	특성	사용 강도 (HRC)	인성	내마 모성	압축 강도	내식성	가공성	경면성	소입성	소입후 안정성	질화성	방전 가공성	Texture
													가공성
HOLDAX (조질강)		33	5	3	3	3	3	3	5	5	4	5	5
IMPAX SUPREME (조질강)		33	5	3	3	3	3	4	5	5	4	5	5
STAVAX ESR (조질강)		35	4	3	3	4	3	5	5	5	3	4	4
STAVAX ESR		54	3	4	4	5	4	5	4	5	3	5	4
RIGOR		54~60	4	5	5	3	4	4	5	4	4	5	4
ORVAR M		42~53	5	4	4	3	5	4	5	4	5	5	5
SUPREME ASP-23		58~66	3	5	5	3	3	5	4	3	5	5	4

표 4. 프리하든 강 of 열처리사이클

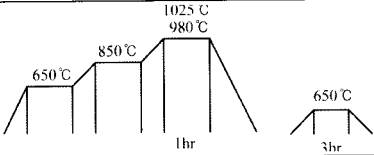
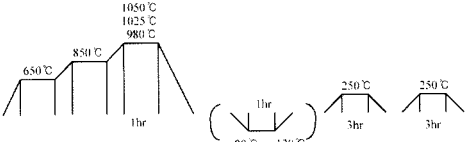
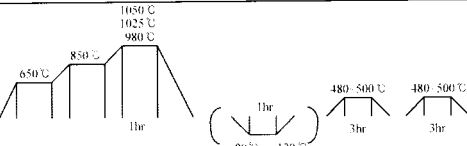
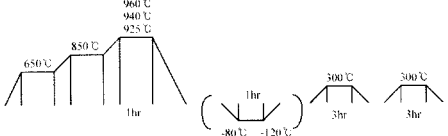
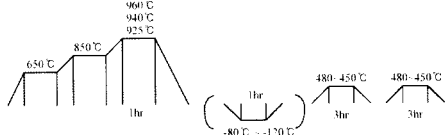
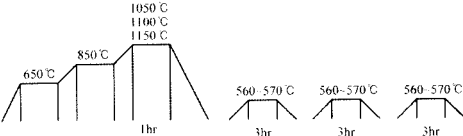
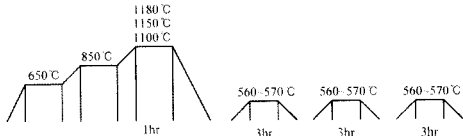
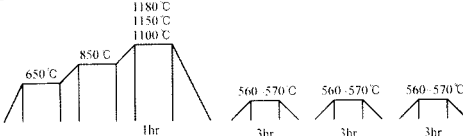
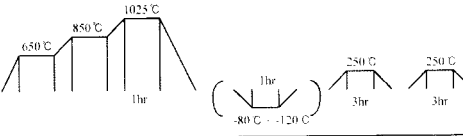

재료	템퍼링	열처리	경도 (HRC)	적용
STAVAX ESR 프리하든강	고온템퍼		34~38 34~38	- 소형드릴의 가공법개선 - 시타용
STAVAX ESR Q/T	저온템퍼		53~54 52~54 50~52	- 고인성을 요구 (낮은소입온도) - 고내식성을 요구 - 열처리변형최소 (1025~250)
	고온템퍼		54~56 53~55 51~53	- 열적안정성부여 (EDM, WEDM 등 고온 사용, 연마피해방지) - 고경도를 요구 (1050~500)
RIGOR Q/T	저온템퍼		57~59 56~58	- 고인성이 요구되는 경우 (저온소입)
	고온템퍼		54~57 54.5~56.5 54~56	- 열처리변형최소 (960~450) - 열적안정성부여 (EDM, WEDM 등 고온 사용, 연마피해방지)
ASP23 Q/T	고온템퍼		62~64 60~62 58~60	(높은소입온도, 낮은템퍼온도, 고경도) 내마모성 중시 (이와반대) 인성중시, 경년변화적응
ASP30 Q/T	고온템퍼		64~66 63~65 62~64	(높은소입온도, 낮은템퍼온도, 고경도) 내마모성중시 (이와반대) 인성중시, 경년변화적응
ASP60 Q/T	고온템퍼		66~68 65~67 64~66	(높은소입온도, 낮은템퍼온도, 고경도) 내마모성중시 (이와반대) 인성중시, 경년변화적응
ORVAR M SUPREME	저온템퍼		51~53	- 고인성을 요구
	고온템퍼		43~45 47~49 51~53	- 열적안정성부여

표 5. 금형관련 손상 원인 및 대책 (각종표면개질방법)

공구강제 비표면처리 형의 손상원인 / 처리	크롬도금	질 화	CVD	PVD	PE CVD	TD	질화 + PVD, PECVD, TD	효과의 크기
마모	○	○			○		○	CVD, PVD, PECVD, TD 》 크롬도금, 질화
소착	○	○			○		○	CVD, PVD, PECVD, TD 》 크롬도금, 질화
소성변형 (초기강도부족)	△	△			△		○	-
소성변형 (열연화)	△	○			△		○	-
치 핑 (인성, 강도부족)	형재료를 인성으로 바꾸어도 많은 경우 ×		형재료를 고인성으로 바꾸면 ○, 바꾸지 않으면 △				×	-
치 핑 (마모 소착)	×	×			○		×	-
치 핑 (피로)	×	○/△		△	△/×		○	-
파 손 (인성, 강도부족)	형재료를 인성으로 바꾸어도 많은 경우 ×		형재료를 고인성으로 바꾸면 ○, 바꾸지 않으면 △				×	-
파 손 (마모소착)	×	×/△						-
파 손 (피로)	×		△/×	△	△/×			-
히트체크	○ (발생조건에 따라△/×)							
산화	○	△	△ (크롬탄화물, 질화물 ○)					

므로 전문가와 설계단계부터 협의하여 처리하는 것이 바람직하다.

4. 열 · 표면처리 기술

표 5에 일반적인 금형의 손상인자와 이에 대한 대책을 요약하여 정리하였다. 금형제작상 금형재 표면 처리방법에 따라 공정이 달라지는데 유의할 필요가 있다. 내압강도나 내마모성 표면층의 박리여부에 따라 열처리 순서와 표면처리의 순서가 정해진다. 본 단원에서는 현재 사출금형에 주로 응용하는 기술을 중심으로 관련 신기술을 살펴보고자 한다.

4.1 질화

선진국의 경우, 열처리 기술의 노하우 및 금형 사용자의 열처리에 대한 인식이 커서 플라스틱 금형의

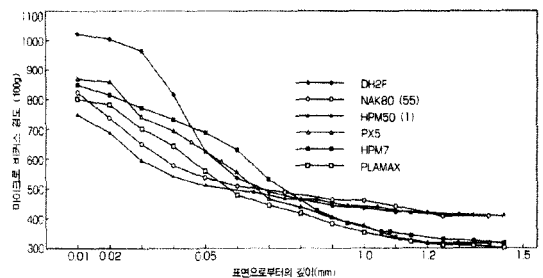


그림 2. 프리하든 강에 대한 진공질화처리시 경도 분포.

경우 질화기술이 널리 이용되고 있다. 그림 2에 진공질화에 따른 주요 강종별 표면경화 깊이가 자료를 보이고 있다. 단순 마모시험의 경우, 이와 같은 질화 처리에 의해 내마모성이 10배 이상 증가하나 실용금형에서는 꼭 그렇지는 않다. 일본의 전문가들의 공통된 의견은 진공질화처리하면 엔지니어링 플라스틱에

서는 최소 5배 이상의 수명 향상이 예상된다고 한다. 특히, 인서트의 습동면에서 일어나는 소착현상은 거의 피할 수 있다고 한다.

그러나 국내에서는 현재까지 일반적으로 질화열처리가 널리 이용되지 못하고 있는 실정이다. 그 이유는 가스질화의 경우 화합물층 생성, 이온질화의 경우 온도 불균일로 인한 변형 및 표면조도 변화 등으로 품질관리상의 문제가 있어 적용되지 못하기 때문이다. 따라서, 이러한 문제점을 개선하기 위한 방법으로 진공질화를 최선으로 제시하고 있다. 최근 국내에서도 저압질화 기술 및 이온질화의 단점을 개선한 NPPN 기술이 실용화되어 있어 이러한 문제가 해결되고 있다. 다음에는 각 기술의 원리와 장점을 간단히 소개 한다.

(1) 저압질화기술

○ 원리 : 저압질화란, 300 torr의 저압에서 가스를 조절하고 특수한 가스를 이용한 표면활성화 공정을 통해 표면조도변화 및 화합물층 제어가 가능한 질화 처리기술. 저압소강의 품질이 우수한 질화가 가능하며, 저온(480~520°C)에서 질화가 가능하고 가스 내의 질소 포텐셜 제어를 통해 화합물층의 조절이 가능한 획기적인 공정이다.

○ 특징 : 그림 3에 한국생산기술연구원에서 보유하고 있는 저압질화로 장비의 외형, 내부 구조도, 규격을 표시하였다. 저압질화로의 주요 특징을 정리하면 다음과 같다.

1. 기존 질화에 비해 암모니아 사용량이 극도로 적음
2. 처리 전후 조도 변화가 거의 없음
3. 저온에서 처리함으로 물성 변화 적음, 질화후 급냉으로 질화층 성능 우수

4. 복잡한 형상의 제품도 질화 가능
5. 재처리할 경우, 인성 저하 및 특성 변화 없음
6. 산질화시 표면조도, 내마모성, 내식성 우수
7. 금형상의 화합물층 형성 제어 용이
8. 연질화와 달리 질화층내 균열 없음

○ 주요 적용 분야는 다음과 같다.

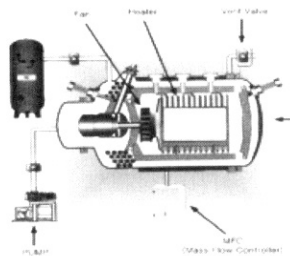
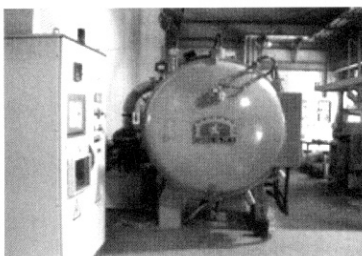
1. NAK 55, 80 등 플라스틱 금형의 경면처리
2. 다이캐스팅 금형의 수명 극대화
3. 압출다이스의 수명향상
4. 저온질화 : SKD 11, SKD 61 등 연화 저항 향상
5. 특수 산질화 제품 처리(염수분무 300 시간 보증)

(2) NPPN (New Post Plasma Nitriding) 기술

○ 원리 : 시편외부에 설치된 보조 전극과 이곳에 형성된 post plasma에 의해 활성화된 질소를 강종에 확산시키는 한국생산기술연구원서 독자적으로 개발한 질화 기술로서, 제품의 조도 변화가 거의 없고 화합물층 조절이 가능하며, 질화층 두께 및 상조절이 용이한 질화기술이다. 후처리가 필요없는 경면 질화가 가능하여 금형, 자동차 및 기계부품, 공구 등의 수명향상에 필수적인 기술이다.

○ 특징 : 그림 4에 NPPN의 장비의 구성 및 개략도를 나타냈다. NPPN의 주요 특징을 정리하면 다음과 같다.

1. 미세 구멍 및 틈새의 균일한 질화, 부분질화
2. 질화 전후 표면조도 변화 거의 없음
3. 화합물층 생성 유무, 질화층 깊이 및 상조절의 용이성
4. 이온질화와 비교 온도 균일성이 탁월함



Specifications

유효면적:
 $\Phi 600 \times L 900 \text{mm}$
 장입량: 600kg
 Tmax: 750 °C

그림 3. 한국생산기술연구원 보유 저압질화로의 외형 및 제원.

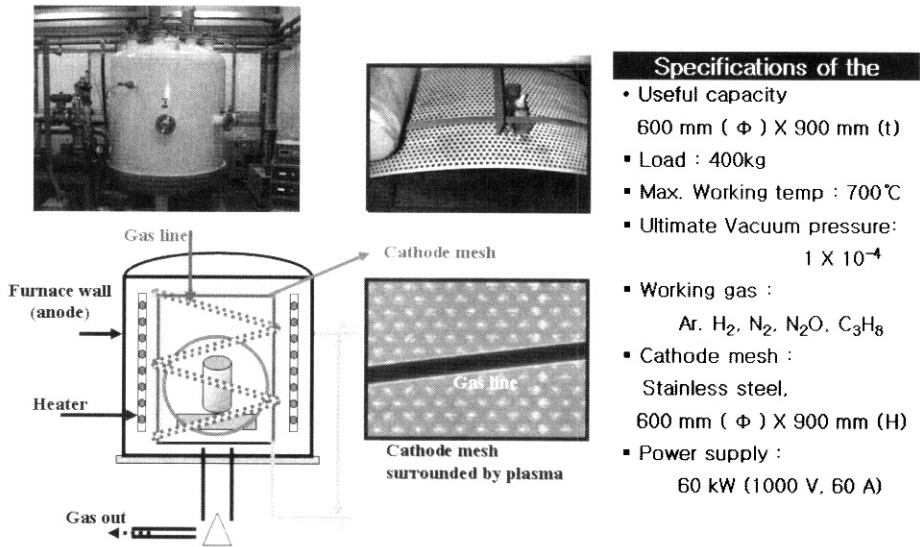


그림 4. NPPN 장비의 구성 및 제원.

표 6. 각종 질화 기술의 특성 비교

	NPPN	Radical 질화	Ion 질화	Gas 질화
표면조도	◎	○	△	×
화합물층 프리	◎	◎	△	×
화합물층 형성	◎	◎	◎	◎
복잡한 형상의 질화	◎	○	△	○
경화층의 제거	◎	◎	△	×
피로강도 개선	◎	◎	○	△
다른 코팅층의 적용	◎	◎	△	×
S-phase 질화	◎	△	○	×
온도균일성제어	◎	△	△	◎
생산성	○	△	×	◎

○ 표 6에 각종 질화 기술의 특징을 비교하였으며 NPPN의 주요 적용 분야는 다음과 같다.

1. 자동차, 금형, 공구 등의 균일한 질화 처리, 부분질화처리 등
2. 화합물층 없는 하이스, 금형강의 deep nitriding 기술
3. 우수한 표면 조도 및 화합물층 제어 가능한 코팅 처리된 하지 질화 처리

4. SUS의 S-phase 질화 기술 : 내식성 유지 경화 기술

다음에 상기 질화 기술 적용시 피로 특성과 관련한 주요 내용을 정리하였다. 또한, 표 7에 질화시 주요 변수에 따른 확산층 물성, 화합물층 상태가 내열 피로 특성에 미치는 영향을 정리하였다.

- 열피로나 내피로를 향상을 위한 질화시 : 100미크론 이내로 확산층 규제 1000 Hv_{0.1} 이상으로

표 7. 질화시 형성된 확산층 및 화합물층 상태가 내열피로특성에 미치는 영향

변수	반복가열시 최대온도	표면 조도	최소산화온도	표면경도	확산층 두께
영향	응력 발생	결함수	산화물 균열	열간강도	균열전파속도
균열 밀도	증가	증가	증가	감소	무영향
균열 깊이	증가	감소	감소	무영향	증가

표 8. 다양한 PVD 코팅의 특성.

막종	색상	경도(Hv)	마찰계수	내식성	내산화성	내마모성	사용 용도	적용
TiN	금색	2000~2400	0.45	○	○	○	절삭공구, 금형, 장식	기능
Zn	밝은 금색	2000~2200	0.45	○	△	△	장식품	
CrN	은백색	2000~2200	0.25	⊙	○	○	기계부품, 금형	기능
TiAlN	보리~회색	2500~2900	0.45	○	⊙	○	절삭공구, 금형	기능
TiC	은회색	3000~3500	0.01	△	△	⊙	절삭공구	
Al ₂ O ₃	투명~회색	2200~2400	0.15	○	⊙	○	절연막, 기능막	
DLC	회색~흑색	1800~8000	0.15	○	○	○	절삭공구, 금형	기능

질화층이 임계치 이상으로 두껍게 되면 과시효 효과가 나타나고 물성이 떨어지고 결과적으로 피로균열의 발생이 용이하고 취성이 생겨 크랙 전파도 쉬워지게 된다.

- 열간 내마모성이나 크립 저항성이 요구되면 300-400 μm의 경화 깊이 필요

- 100 μm 정도까지의 확산 깊이를 갖는 저온 질화를 실시하면, 금형의 경면성이 향상되고, 내마모성이 향상되며, 금형 교체시 찍힘 및 연화 저항을 향상시킬 수 있다.

(2) PVD 기술의 이용

플라스틱 금형의 보관과정 중 금형온도와 실내온도의 차가 20°C 이상일 때 결로현상이 발생한다. 이때 탈염소 가스와의 부착으로 인해 금형에 손상을 입게 되고, 결국 제품의 불량으로 발전하게 된다. 또한 사출물이 금형으로부터 잘 떨어지도록 플라스틱 수지에 이형제를 혼합하거나 금형 위에 경질크롬도금을 주로 사용하여 왔는데 불순물의 혼합이 사출물의 응고를 느리게 하고 사용 금형의 마모 수명 감소시키는 등 문제를 발생시키고 있다. 또한, 최근 환경규제로 6가 크롬(Cr)의 사용이 제한되기 때문에 친환경

적인 열·표면처리 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 이렇게 해서 등장하게 된 열처리기술이 PVD를 이용한 코팅기술이다. 표 8에 PVD를 이용한 다양한 코팅 기술을 정리하였다.

표 9에 사용 환경에 따라서 요구되는 특성과 이에 따른 추천 코팅층 종류와 특성을 정리하였다. 내식성이 문제가 되는 기계 부품, 자동차 부품 및 금형 부품의 문제 해결을 위해 거의 만능으로 사용되었던 Cr 도금 기술이 환경규제로 사용에 제약이 따르게 됨에 따라 이를 대체하기 위해 제시되고 있는 대안이 PVD를 이용한 CrN 코팅 기술이다.

일반적으로 공구에 대한 코팅기술은 국내에서도 비교적 안정 되어 있으나 금형의 경우 금형의 이력, 특성, 용도에 대한 이해 부족과 제품별 공정관리 기술의 부족으로 신뢰도가 낮은 편이다. 금형의 경우, 질량이 크기 때문에 가열 냉각에 시간이 많이 걸리고 금형 표면에 용해된 가스의 탈가스 처리를 위한 전처리 공정 및 복잡한 형상의 경우, 불균일한 코팅층 형성 및 표면조도 악화 등이 발생하기 쉬워 손상 연마가 필요 하는 등 복잡한 문제가 있어 사출 금형에 플라즈마 코팅을 할 때는 소재 상태 및 전처리 이력에 대해 각별히 관리하지 않으면 기대만큼

표 9. 처리되는 플라스틱 재료에 따른 요구 물성 및 코팅재료

재료	함유물	요구물성	코팅	개선사항
열가소성수지	Glass fiber	Abrasive Wear	TiN TiCN	- 수명 X 2 - 유지보수 향상 - 이형 용이
열경화성수지				
열가소성수지	염료	이형성 내식성	TiN CrN	- Cycle 단축 - 표면상태 개선
열경화성수지				
Polymer (PVC, PTFE)	염소	내식성	CrN	- 표면상태 개선 - 유지보수 비용 절감
	불소			
Elastomer	-	내식성	CrN	- 표면상태 개선 - 유지보수 비용 절감

효과를 얻을 수 없는 경우가 많다.

마모에 대한 것은 일반적으로 경도에 역비례하고 마찰계수와도 밀접한 관련이 있다. 또한 사용시 하중의 크기에 따른 헤르짜안 응력과 코팅층의 성능과는 관계가 크다. 특히 CrN코팅의 경우, 코팅층의 품질은 코팅 온도, 압력 바이어스 전압 등 작업변수에 따라 결정상태의 우선성장 방향이 달라지는 등 이름은 같아도 완전히 다른 특성의 코팅층이 얻어져 품질도 천차만별이 된다.

코팅 공정을 전체적으로 보면 전 공정인 래핑, 세정, 진공 중 탈가스, 소킹은 물론, 본 코팅 공정과 냉각 등 대부분의 공정을 진공 중의 저온에서 행하다 보니 이틀정도 걸리는 작업인데 촉박한 납기와 본 공정만 생각하여 일정을 잡아 처리하다 보니 경쟁이 심한 코팅 업체에서는 좋은 품질을 만들 수 없고 일본 제품보다 품질이 떨어진다는 것이 당연하게 여겨지고 있다. 좋은 금형을 만들어 생산성을 높이자면 코팅 처리도 수요자와 코팅업체의 금형전문가가 공동으로 노력하여야 할 것이다.

한국생산기술연구원 열·표면처리 센터에서는 AIP를 이용한 최적 실드 설계와 밀착력, 경도, 내마모성의 최적화 연구를 통해 금형강에서 CrN 코팅시, 60N 이상의 밀착력, Hv 2100 이상의 고경도와 저마찰 계수를 가진 코팅층을 개발하여 선진국보다도 높은 품질을 얻을 수 있었다. 특히 내화학적 성질과 마찰계수의 향상을 위해 코팅 층을 특정방향으로 성장시키거나 미세구조를 nanostructure화 시키는 기술도 상용화 하였다. 표 10과 그림 5에 특정 방향으로 성장 시킨 TiN 코팅층과 CrN 코팅층의 주요 물성과 단면 미세구조를 나타냈다.

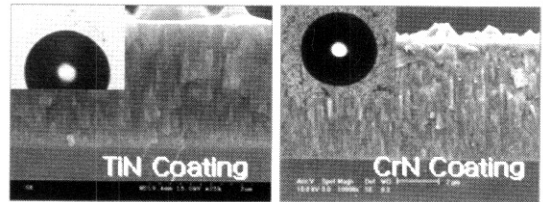


그림 5. 코팅층의 단면조직사진 (SEM).

표 10. AIP 로 제조된 TiN 과 CrN 코팅의 물성

Coating	Adhesion (N) Scratch Test	Hardness(Hk _{0.5}) Knoop Hardness Test
TiN	80N 이상 (HF1)	2100-2300
CrN	60N 이상 (HF1)	2100-2200

최근 플라스틱의 성형에는 여러 가지 색소와 첨가제의 사용이 증대되고 사출물은 박육화되면서 표면의 품질이 더욱 중요시됨에 따라 내부식 특성을 가진 이형성이 높은 경면 코팅에 대한 요구가 증가하고 있다. 표 11에 각종 코팅 피막의 내식성을 표시하였는데, DLC가 알려진 모든 부식물에 대해 가장 좋은 내식성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서, 선진국의 경우, 내식성, 윤활성 및 이형성이 요구되는 금형 부분에 있어서는 DLC를 선호하여 사용하고 있다. 반면, 국내의 경우, 아직 초보단계로 CD 금형과 같은 단순한 형상에만 적용되고 있다. DLC의 중요한 특성중 하나는 높은 내부식성도 있지만 팔레스마찰 측정에서 마찰계수가 0.1 이하로 타코팅의 마찰계수가 0.5-0.6 이고, 잘 연마된 금형강 표면이 0.8 이상인 것을 고려할 때, 선진국에서 DLC가 사출금형의 고품질화를 위한 방법으로 널리 응용되기 시작한 이유를 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

표 11. 각종 코팅 피막의 내식성

부식 물질	PVD 코팅막						
	TiN	TiCN	TiAlN	CrN	TiCrN	DLC	SiO ₂
이산화유황 (SO ₂)	B	B	B	B	A	A	A
포르말린 (HCHO)	A	A	A	A	A	A	A
개미산 (HCOOH)	A	A	A	A	A	A	A
플루오르화 수소 (HF)	C	C	C	B	B	A	C
염산 (HCl)	A	A	A	A	A	A	A
질산 (HNO ₃)	B	B	B	B	B	A	A
황산 (H ₂ SO ₄)	A	A	A	A	A	A	A
브롬화 수소 (HBr)	A	A	A	A	A	A	A
수산화나트륨	C	C	C	A	A	A	C

A: 효과 크다, B: 효과 중간, C: 효과 작다

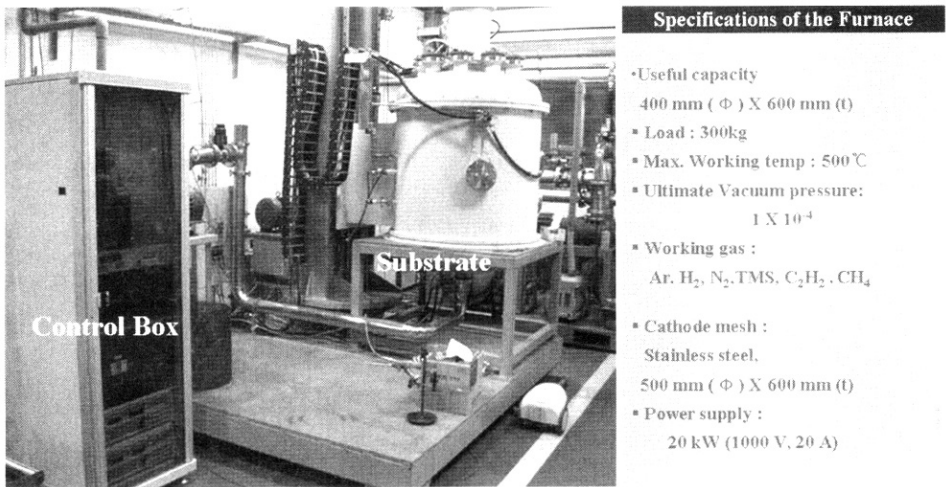


그림 6. PECVD 장비의 외형과 주요 사양.

한국생산기술연구원에서는 PECVD 법을 이용하여 금형과 같은 3차원 제품에 대해 균일한 처리가 가능한 DLC 성막 기술을 개발하였다. 특히, 기존 PECVD 법의 문제점인 낮은 밀착력을 해결하기 위해 다양한 전처리 기술을 도입하고 질화 및 중간층 형성 등을 통하여 기계 제품에 적용시 요구되는 50 N 이상의 밀착력을 갖는 DLC 코팅층 형성에 성공하였다. 상기의 DLC 기술에 대해 간략히 소개하면 다음과 같다.

○ 정의 : DLC란 Diamond Like Carbon의 약칭으로 CH계 가스를 사용하여 성막된 다이아몬드와

유사한 물성을 가지는 코팅 물질을 일컫는 말이다. 특히, 수소를 포함할 경우, 비정질 형태의 특성을 보이는 등 다양한 성능을 보이는 것이 큰 특징으로서, 요구 물성에 따라 고경도, 저마찰계수, 화학적 안정성, 전기절연성의 구현이 가능한 첨단기술이다.

○ 특징 : 그림 6에 PECVD 장비의 외형과 규격을 표시하였다. 본 장비의 특징은 다음과 같다 .

1. 시편의 형상에 구애받지 않기 때문에 3-Dimension 코팅이 가능하다.
2. 반응가스를 변화시켜 DLC 물성을 용도에 맞게 제어가능하다.

실험 조건 : Sliding Cycle을 3200회
 (R 5cm, 거리100M)로 측정
 메탄 DLC : 약 0.15
 아세틸렌 DLC : 약 0.13-0.14

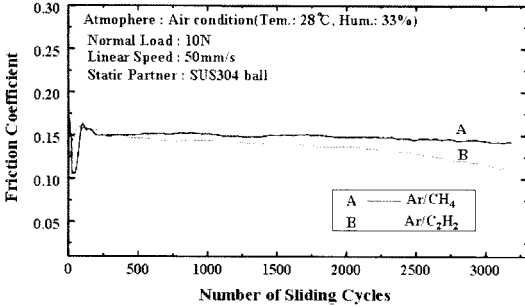


그림 7. 메탄과 아세틸렌 가스를 이용해 제조된 DLC 시편의 마찰 계수.



그림 8. DLC의 주요 응용 분야.

3. 저온 공정으로서 제품의 변형이 없다.
4. 금형의 균일 가열, 탈가스 및 전처리 장비를 부대설비로 갖추고 있어 신뢰성 높은 DLC코팅을 얻을 수 있다.

○ 그림 7에 제조된 DLC의 내마모 특성 평가 결과를 정리하였고 그림 8에 주요 적용가능 분야를 정리하였다.

5. 요약

본 고에서는 사출금형소재로 널리 사용되는 프리하든 강의 수명을 극대화 시킬 수 있는 열·표면처리 기술에 대해 소개하였다. 이러한 열·표면처리 기술 및 기술 적용시 고려해야할 점을 다시 정리해 보면,

- 제조하는 대상물을 고려한 최적 금형 재료의 선택 (표 1~3)

- 선택된 금형의 물성을 최적으로 구현할 수 있는 열처리 선택 (표 4)

- 금형의 사용 환경을 고려한 최적 열·표면처리 선택 (표 5)

질화 열처리에 의한 수명 향상

- 피로 수명이 중요한 경우 : 질화층 100 μm 이내
- 열간 내마모성, 크립저항성이 요구되는 경우 : 질화층 300~400 μm

TiN, CrN 등 세라믹 코팅에 의한 성능 향상

- 내식성 중요시 CrN, DLC의 적용
- 내마모성 및 초저마찰계수의 구현 : 방향성 코팅, 나노구조화

금형의 국제경쟁력을 향상시키기 위해서는 고품위 금형 제조 기술이 필요하고 이를 위하여, 표면개질 처리가 필수불가결하다는 것이다. 또한, 열·표면처리에는 각각의 특징이 있고, 적용 상황의 미묘한 차이에 따라 특성이 바뀌기 때문에 고품위, 품질 금형을 얻고자 하면 어느 때보다 사용자, 금형기술자, 열·표면처리 기술자들과의 협력이 요구된다.