

고농도 침탄기술 현황

남기석 · 이기정*

한국기계연구원

*경남열처리

Current Status of High Concentration Carburising

K. S. Nam and K. J. Lee*

Dept. of Surface Engineering, KIMM

*Kyungnam Heat treatment Co.,Ltd

1. 머릿말

철강재료의 표면경화 방법중 하나인 침탄법은 재료의 내마모성과 피로강도를 향상시키기에 우수한 기술로 그동안 기계부품에 널리 적용되어 왔다. 그러나, 최근 각종 기계는 소형화, 고성능화는 물론 내구성 및 신뢰성이 크게 요구되고 있다. 따라서 이에 대처할 수 있는 보다 큰 강도와 내마모특성을 얻을 수 있는 재료나 열처리방법이 필요하였으며 그것으로 인해 새로운 침탄기술인 고농도 침탄법이 개발되었다.

고농도 침탄기술은 탄소량을 종래의 0.8~1.0%보다 많은 2~3%로 하여 그림 1에서와 같이 마르텐사이트의 기지에 탄화물을 분산 생성하는 방법으로 1965년 캐나다의 O. E. Cullen이 그 조업방법에 관한 기본적인 특허를 출원하였다. 그리고 Chiba, Nishizawa 등이 1981년에 탄화물의 생성기구를 계통적으로 연구하여 발표하였다. Murphy, Grant는 침탄층 내부에서 탄화물이 형

성된다는 의미에서 「Internal Carburization」, 그리고 A. Chiba는 탄화물의 분산을 수반하는 침탄이라고 하여 「CD침탄」으로 약칭하였다. C. Razim은 「Supercarburization」, 또한 Naitoh 등은 조직과 성분을 조절한 침탄이므로 「고농도 침탄」이라고 하였다.

한편 일본공업규격의 철강열처리용어 해설에서는 탄소량이 0.8~1.0%정도이며, 조직의 대부분이 마르텐사이트와 약간의 잔류오스테이트로 구성되는 종래 침탄의 경우와는 달리 침탄층의 탄소량이 목표치 이상으로되는 현상을 과잉침탄(excess carburizing)으로 해설하였다. 따라서 0.8~1.0%를 표면탄소 목표치로하는 경우 그 이상의 탄소농도로 침탄되는것을 과잉침탄이라 하였다. 일반적으로 과잉침탄층은 오스테나이트입계에 망상(network)탄화물이 석출되며, 그것으로 인해 기계적성질이 종래의 침탄방법보다 낮아진다. 따라서 종래의 침탄 조업에서는 과잉침탄을 극히 피해 왔다.

그러나 근래에 침탄부품의 고강도화가 요구됨에 따라 과잉침탄의 결점을 개선한 고농도 침탄법이 주목을 받기 시작하였다. 내부산화 및 내부질화 방법에서 착안하여 마르텐사이트 기지에 침탄을 통해 제2상인 탄화물을 석출 분산시켜 기지를 강화하여 강도를 증가시키는 것이다. 따라서 표면탄소량은 당연히 종래의 침탄법보다 많으며, 종래의 침탄방법에 비해 탄화물의 생성을 제어하는 것이 특징이다. 그리고 내마모성이 클뿐만 아니라 경도가 높고, 강도도 향상되며, 이것으로 인해 스퀴밍 및 피팅마모에 대한 저항특성이 우수하고 피로강도가 크게 향상된다. 또한 고가의 철강재료를 대체할 수 있어 재료비의 절감은 물론, 자원을 절약할 수 있는 등의 수많은 장점을 가지고 있으며, 앞으로 새로운 표면경화기술로

그림 1. 고농도 침탄조직 (백색부위: 탄화물, 흑색부위: 마르텐사이트 기지)

발전할 것으로 기대되어 그 기술 현황을 살펴본다.

2. 고농도 침탄 방법

고농도 침탄에 적합한 재료를 이용하여 침탄하는 경우에는 조업에 곤란한 문제가 거의 없다. 그러나 시판용 재료, 특히 Cr함량이 적은 침탄용강을 고농도 침탄하는 경우 다소 연구가 필요하다. 고농도 침탄공정에 대한 연구는 모두 처리부품의 재료특성에 가장 영향을 미치는 탄화물의 제어를 제1의 목표로 하고 있다. 즉 구상의 미세탄화물을 안정하게 다량으로 얻을 수 있도록 하는 것이다. 처리공정과 작업의 중요한 점을 표 1에 나타내었으며, 이들중에서 공통적으로 중요한 것은 C.P.을 높이는 것이다. 그러나, 노내에 그을음이 발생하기 때문에 C.P.을 매우 정밀하게 제어하여야 한다.

또한 기지조직의 제어도 중요하며, 퀴칭온도가 가장 큰 영향을 미친다. 고농도 침탄의 경우 종래의 침탄법과는 달리 표면 부근에서 용해 탄소농도가 낮아 퀴칭이 어려워지는 경향이 있다. 그러나, 내부는 표면보다 탄소농도가 높기 때문에 잔류오스테나이트가 형성되기 쉽다. 따라서 퀴칭 조건을 결정할 때에는 이 두가지 현상을 모두 고려하여야 한다.

2.1. O. E. Cullen 방법

그림 2에 나타난 바와같이 조성 A의 강재를 온도 T까지 가열하고 A_{cm}선과의 교점 C의 C.P. (carbon potential)로 침탄하면 표면의 탄소농도는 곧 C점에 도달하여 포화오스테나이트가 된다. 그 상태에서 D점까지 냉각하면 오스테나이트중의 탄소 용해도는 A_{cm}선을 따라 감소하고, 동시에 고용되지 못한 나머지 탄소는 세멘타이트(θ)로 석출된다. D점에서 오스테나이트중의 탄소농도는 E점으로 표시된다. 강재를 온도 T까지 재가열

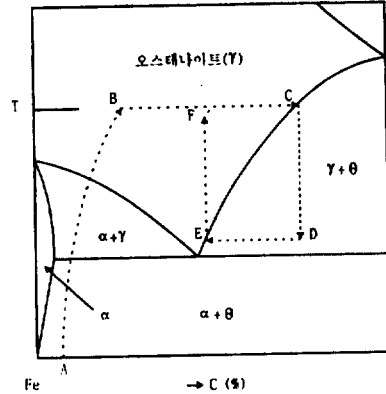


그림 2. 탄화물 생성기구 설명도

하면 석출된 세멘타이트는 오스테나이트중에 재고용되거나 완전히 고용되지않고 일부가 잔류하게된다. 그러므로 T까지 재가열할 때 오스테나이트중의 탄소농도는 F점과 C점의 사이에 놓이게된다. 분위기의 C.P.가 C점이기 때문에 오스테나이트중의 탄소농도는 C점에 도달하게 된다. 즉 미용해 탄화물이 잔존하는 상태로 오스테나이트중의 탄소농도는 시간이 지남에 따라 C점에 도달하게 되며, 이때 탄화물은 일부가 용해됨과 동시에 성장하게 된다. 그 다음 D점으로 냉각시켜 탄화물을 석출시키며, 이러한 조작을 반복하여 탄화물을 형성 성장시키는 방법이다.

그림 3은 O. E. Cullen의 방법과 이중침탄법을 이용한 고탄소 침탄 사이클을 나타낸 것이다. 제1단계에서 과공석이 되도록 침탄시킨 다음 그 온도에서 Ar₁보다도 낮은 600~700°C의 온도로 냉각시켜 확산변태만에 의해 기지를 저탄소강 조직으로 한 상태에서 탄화물을 형성시키는 방법이다. 제2단계에서는 다시 침탄온도로 가열하여 처리하며, 이때 C.P.는 A_{cm}선보다 높게 한다. 제2단계 이하는 탄화물의 재고용을 적게하는 것이 좋으며, 그 다음 처리제품을 제1단계에서와 같이 다시 Ar₁이하까지 빠르게 냉각시킨다. 냉각속도는 오스테나이트 입계를 따라 석출되는 탄화물이 큰 망상이나 과상으로 되는 것을 방지할 수 있는 정도이면 된다. 제3단계 이하는 제

표 1. 탄화물의 석출제어 포인트

목 표	주요 제어 포인트
탄화물 량을 많게 하고자 하는 경우	C.P.을 높게 함
탄화물의 입경을 작게 하고자 하는 경우	① 온도를 낮게 함 ② C.P.을 높게 함
탄화물 입자의 형태를 구형으로 하고자 하는 경우	① 온도를 낮게 함 ② C.P.을 높게 함
경화층의 두께를 두껍게 하고자 하는 경우	① 처리시간을 길게 함 ② C.P.을 높게 함

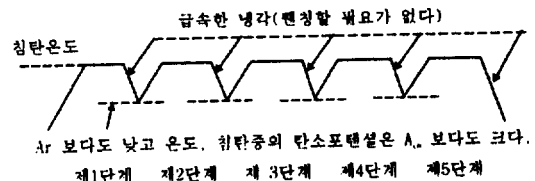


그림 3. O.E.Cullen의 고탄소 침탄 사이클

2단계를 반복하며, 탄화물의 양은 반복회수에 의존한다.

AISI 4118, 5120, 8620, 8720, 8822, 9310과 같은 철강재료에 적용되며, 가장 널리 사용되고 있는 표면 탄소 농도의 범위는 1.8~2.2%, 2~2.4%, 2.4~2.8%, 그리고 3%이하이다. 그러나, 이 공정은 Cr 이나 Mo와 같은 탄화물 형성원소가 많이 함유된 합금강이어야 적용될 수 있다는 제한이 따른다. 일반침탄로에서 RX가스, N₂베이스 및 고체침탄 방법으로 처리하며, 표 2는 대표적인 고농도 침탄 작업 예를 나타낸다.

2.2. Yurino의 방법

최초 920°C에서 -4~5°C의 로점(0.9%C)으로 4시간 동안 침탄하여 오일 퀀칭한다. 계속하여 900°C로 가열한 다음 -8~12°C의 로점(1.3%C)에서 3시간 동안 침탄하여 오일퀀칭한다. 즉 최초 공석부근의 탄소농도로 침탄한 다음 퀀칭하고 이것을 재가열함에 의해 용해되지않은 탄화물이나 불순물원소를 핵으로 하여 탄화물을 형성시키는 방법이다. 미용해된 탄화물을 핵으로 하는 것은 O. E. Cullen의 방법과 유사하다.

2.3. Naitoh의 방법

O. E. Cullen이나 Yurino의 방법을 개선한 것으로

표 2. 대표적인 고농도 침탄 작업공정

작업 공정	X-18104 강	X-18289 강
930°C 침탄	2 hr	2 hr
680°C 가열	65 min	65 min
930°C 가열	40 min	75 min
930°C 침탄	5 hr	5 hr
680°C 가열	60 min	80 min
930°C 가열	40 min	60 min
930°C 침탄	4 hr	5 hr
680°C 가열	-	65 min
930°C 가열	-	60 min
930°C 침탄	-	5.5 hr
820°C 가열	15 min	20 min
820°C 퀀칭	55 min	30 min
유냉 (50°C)	15 min	20 min
템퍼링 (180°C)	3 hr	3 hr
표면경도 (HRC)	65	67
표면탄소농도 (C%)	2.75	3.26

RX 가스 침탄, 로점 -7~-12°C, 강재 2%Cr, 0.5%Mo의 AISI 9310 강

주요 내용은 그림 4와 같다. 즉 예비침탄과 탄화물 형성 단계를 분리한 것이다. 예비침탄은 A_{cm} 이하의 C.P.에서 표면탄소량을 공석탄소 이상으로 하여 일정시간 동안 침탄한 다음 공냉하거나 퀀칭한다. 그 다음 탄화물 형성에 들어가며, 그림 4에 나타난 바와같이, A_{c1} 이상 950°C이하의 온도범위에서 A_{cm}을 초월한 C.P로 유지하고, 20°C/min이하의 속도로 가열한 후 일정시간 동안 침탄하여 탄화물을 형성 성장시킨다.

3. 고농도 침탄 장치

고농도 침탄에는 종래의 침탄장치를 그대로 사용할 수 있으나 발생된 soot의 처리가 용이하고 처리온도 및 분위기를 균일하게 유지하기 쉬워야 한다. 일반적으로 사용되는 흡열형 가스침탄, 적주식 침탄과 함께, 새롭게 유도충이나 플라즈마를 이용한 고농도 침탄기술이 연구되고 있다. 특히 플라즈마를 이용하는 경우 강도를 저하시키는 원인인 입계산화물을 일으키지 않으며, Cr산화물의 생성으로 인해 처리가 어려웠던 고Cr강의 고농도 침탄이 용이한 특징을 가지고 있다. 이 방법은 장차 강제 및 주철의 고농도 침탄에 널리 사용될 것으로 보인다.

표 3은 각종 처리방법의 특징을 나타낸 것이다.

4. 고농도 침탄재료

구조용 침탄강의 경우 고농도 침탄이 가능하나 탄화물 생성원소가 없는 탄소강은 탄화물을 형성하기 어렵고, 또한 형성되는 경우에도 입계를 따라 기계적 성질을 떨어 뜨리는 망상탄화물을 만들기 쉽다. 합금강의 경우도

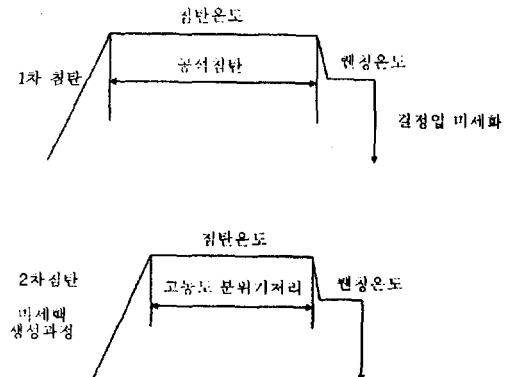


그림 4. Naitoh의 고탄소 침탄 공정

표 3. 고농도 침탄장치의 특징

비교항목	메타놀 분해가스	RX가스	플라즈마
침탄속도	RX가스와 동일	(비교기준)	약간 빠름
탄화물 생성능력	높음	메타놀보다 약간 떨어짐	고Cr강도 처리 가능
입계산화	발생함 (RX보다 적음)	발생함	없음
작업성	약간 나쁨 sooting	약간 나쁨 sooting	비교적 좋음
설비비	낮음	높음 (가스발생로포함)	중간
일반침탄에의 사용실적	있음	다수	적음

탄화물 형성원소가 적으면 탄화물의 량, 형상 및 입도 제어를 위한 처리공정이 복잡하게 되며, 침탄시간도 길어진다. 이를 극복하기 위해 특수강 제조사에서 고농도 침탄 전용강재를 개발하여 판매하고 있으며, 그 재료조성은 다음과 같은 특성을 만족시킬 필요가 있다.

- ① C.P.을 높게 유지하여 탄화물을 생성하기 쉬워야 한다.
- ② 탄화물의 량, 형태 및 입도 등을 제어하기 쉽고, 단순한 작업공정으로 짧은 시간내에 처리할 수 있는 조성이어야 한다.
- ③ 탄화물이 되기 어렵고, 기지의 경화능을 유지하는 원소를 함유하여야 한다.
- ④ 소성변형능을 떨어뜨리지 않는 조성이어야 한다.

탄화물의 형성을 제1조건으로 하는 경우 고농도 침탄법은 Cr을 제외할 수 없다. 그림 5는 침탄강 중의 Cr 농도와 C농도의 관계를 나타낸 것으로 Cr량의 증가에 따라 표면의 탄소농도가 증가됨을 볼 수 있다. 이것에 의하면 고농도 침탄용강에서 Cr이 중요한 합금원소임을 쉽게 알 수 있다. Abe에 의해 제안된 것으로 고농도 침탄에 적합한 강재에도 Cr을 함유하고 있다. 표 4는 그 대표적인 조성을 나타낸 것이며, 이 강종은 종래의 작업조건을 변화시키 않고 C.P.만을 높여 미세한 탄화물을 얻는데 성공하였다.

그림 6은 강재 중의 Cr량과 처리후의 표면탄소량과의 관계를 나타낸 것이다. 이것은 적주식의 메타놀 열분해

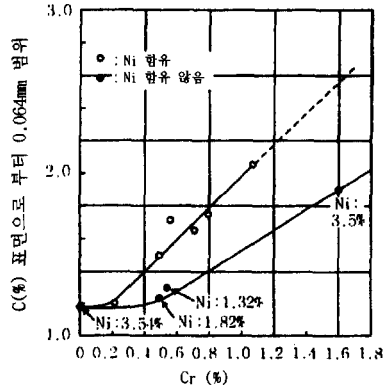


그림 5. Cr과 표면탄소량의 관계

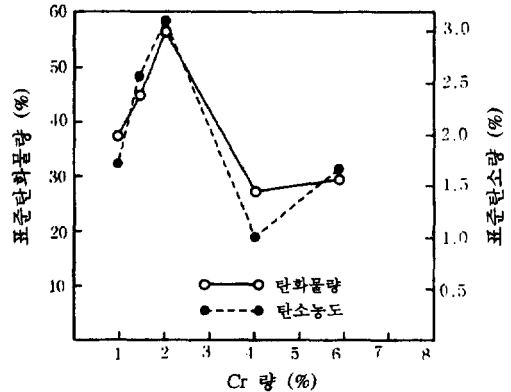


그림 6. Cr량과 탄화물 석출량의 관계

방식 분위기에서 고농도 침탄한 것으로 2%Cr으로 60%에 가까운 탄화물량을 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 대량 생산되는 자동차부품은 소재의 소성가공성이 중요시되는 경우가 많기때문에 성형성을 저하시키지 않는 범위인 2%정도의 Cr을 함유하는 강종이 널리 사용될 것이다. Cr이 4%을 초과하는 경우 탄화물은 입상으로 되지만 탄화물량이 감소한다. 그 원인은 Cr강을 침탄하는 경우 표면에 Cr산화물이 형성되며 이것이 침탄을 억제함에 기인하는 것으로 볼 수 있다. 그외에 전처리나 가열 승온시의 노허우가 필요하며, Cr이 4% 이상인 경우 고농도 침탄이 곤란한 것으로 보인다. 그러나, 12%Cr의 스테인레스강을 고농도 침탄하여 60%에 가까

표 4. 고농도 침탄에 적합한 강재의 합금조성

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
0.1~0.4%	0.5% 이하	0.3~1.5%	2.0~5.0%	0.3~2.0%	0.1~0.5%	Bal.

운 탄화물 량을 얻은 예가 있다. 따라서 고농도 칩탄은 재료의 탄화물 생성 능력 뿐만 아니라 처리기술에 의존하는 바가 크다.

표 5에 고농도 칩탄에 미치는 합금원소의 영향을 나타내었다.

Si는 탄화물의 석출을 억제하고 구상화를 촉진시키는 기능을 가지고 있다. 그 원인은 Si가 소재의 결정입계에 편석되어 고농도 칩탄시 탄화물의 입계석출을 저지하는 작용을 하기때문인 것으로 알려져 있다. 따라서 0.5~1.0% 정도의 Si를 소량 첨가하면 내충격성, 내피팅성을 저해시키는 망상탄화물의 형성을 막고, 우수한 성질의 탄화물을 석출시키는데 효과가 있다.

Mo을 0.4% 정도 소량 첨가하면 탄화물에는 거의 영향을 미치지 않으며, 기지에 잔존하여 경화능을 향상시키는데 기여한다.

Ni은 탄화물의 량을 감소시키나 기지의 경화능과 인성의 향상에 효과가 있다.

V, Ti는 모두 크히 미세한 탄화물을 형성하게 하는 작용을 하며, 앞으로 이러한 합금원소를 첨가한 재료 개발이 기대된다.

고농도 칩탄을 위한 재료의 조성 선택시에는 이들 원소의 영향과 적용부품의 소성기공률, 강도, 인성 및 내마모성을 고려하여 종합적으로 결정하여야 한다.

표 6에 시판되고 있는 고농도 칩탄강의 일례를 나타낸다.

5. 고농도 칩탄 부품의 특성

5.1. 내마모성

고농도 칩탄층에는 경도가 높은 탄화물 입자가 미세하게 분산되어 있어 종래의 칩탄에 비해 내마모성이 우수하며, 특히 스키퍼마모에 강하다.

마모량은 그림 7에서와 같이 탄화물의 량에 잘 비례한다. 탄화물량이 30% 이하인 경우에는 소착현상이 일어남을 볼 수 있으나 40%을 초월하는 경우 그 현상을 볼 수 없다. 종래의 칩탄에서는 소착현상이 고농도칩탄의 약 1/2의 면압에서 발생한다. 스키퍼 마모는 마모면의 응축으로부터 시작되어 발열, 표면연화, 소착으로 진행된다. 이때 분산된 탄화물 입자가 발열의 원인이 되는 미시적응축을 감소시키고, 마찰면 조직의 연화를 방

표 5. 고농도 칩탄에 미치는 합금원소의 영향

원소	탄화물에의 영향	기지에의 영향	마모효과	비고
C	· 초기 C량은 관계 없음 (공석점 이하의 경우)	좌 동	△	공석점 이상의 소재 경우 미세한 탄화물 생성
Cr	· 량의 증대 · 미세화	· 경화능 향상 (탄화물 석출에 의해 침해되기 쉬움)	◎	2~3%가 최적
Si	· 구상화 (망상방지) · 탄화물 감소	· 유효 칩탄 경화층 증가	△	
Mo	· 량의 증가 효과 없음	· 경화능 향상 · 인성향상	△	
Ni	· 구상화 및 탄화물 량의 증가효과 없음	· 경화능 향상	×	
V	· Cr 이상의 미세화 (0.2 μm)	· 거의 잔류하지않음	○	
Ti	· 가장 미세화 (10 nm)	· 거의 잔류하지 않음	-	

표 6. 시판용 고농도 칩탄강

제조회사 기호	주요 조성	제조회사	용도예
RK706	0.17C-0.15Si-2.25Cr-0.4Mo	Diado Steel	tappet
RK727	0.15C-0.5Si-5Cr-0.2Mo	상 동	tappet
MAC14	0.14C-0.3Si-2.5Cr-0.4Mo	Mitsubishi Steel	bit
NT1400	13Cr-Co-Ni	상 동	내마모 . 내식재
ICS6	0.65C-8Cr-0.1N6	NachiSteel	hobing 재
ICS22	0.57-6Cr-0.1N6	상 동	hobing 재

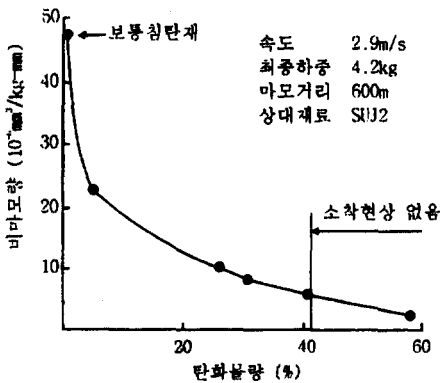


그림 7. 탄화물량과 비마모량

지하여 급진마모, 즉 소착을 억제한다.

열적 안정성을 나타내는 템퍼링 변화 저항 특성이 종래의 침탄법보다 우수하다.

피팅마모에 대한 저항성은 표면 탄소 농도에 비례한다. 그 관계는 공석점을 초월한 탄화물의 석출 상태에서도 변하지않으나 조직상태에 따라 달라진다. 특히 탄화물의 망상화와 잔류오스테나이트의 생성에 주의하지 않으면 안된다.

토사마모에 대한 저항 특성은 탄화물 량이 30%인 고농도 침탄재의 경우 종래 침탄재보다 약 70% 정도 향상된다.

충격마모에 현저한 효과가 있다. 즉 충격마모의 경우 경도가 높아도 박리가 되면 경화층이 남아있지 않기때문에 침탄과 같이 확산공정에 의한 경화층이 유효하다. 이러한 경우 연삭물질이 경도가 클수록 그것에 대응하는 경도가 피마모재에도 요구되므로 고농도 침탄재가 좋다.

한편 충격특성의 경우 종래 침탄재보다 우수하다는 보고가 있으나 조직의 상태에 따라 충격치가 낮아지는 경우가 있기 때문에 큰 충격이 가해지는 부품에는 적용하기 어렵다. 그러나 내충격성이 크게 저하되지않기 때문에 토사마모부품에 적합하며, 석유정, 토목용 강도 등의 굴착에 사용되는 비트를 비롯하여, 각종 건설기계부품

등에 급속히 확대 적용되고 있다.

그외에, 침탄재의 내마모특성에는 금속간의 습동마모가 있으며, 산화 마모 영역, 응착 마모 영역에서는 마찰속도와 하중이 클수록, 즉 가혹한 조건일수록 고농도 침탄재가 유효하다.

5.2. 피로 강도

침탄재의 가장 큰 장점은 다른 표면경화재에 비해 강도의 향상이 현저하다는 것이며, 고농도 침탄재의 경우 그 효과가 더욱더 크다. 회전굴곡 피로시험 결과를 비교하면 고농도 침탄재는 종래의 침탄재보다 피로한계가 5~10 kgf/mm²정도 크다. 이와같이 고농도 침탄의 경우 강도향상 효과가 크기 때문에 높은 피로강도, 또는 피팅강도를 요구하는 기계부품(예 : camshaft)에 적용되고 있다. 또한 기어의 치면 및 치원강도를 높이기위해 고농도 침탄법을 적용하여 매우 큰 성과를 거두고 있다.

5.3. 내식성

고농도 침탄이 충분히 이루어지는 경우 표면부위가 Fe-Cr계의 탄화물로 완전히 피복되기 때문에 강재보다 내식성이 크다. 표 7은 비산화성 산성수용액 및 200°C의 염소가스에 대한 내식성을 조사한 결과이다. 고농도 침탄재가 침탄하지 않은 것에 비해 내식성이 높으며, 부식매체에 따라서는 18-8스테인레스강에 필적할 만한 내식성을 가짐을 볼 수 있다.

5.4. 내열성

현재, 사용되고 있는 침탄재의 결점중 하나는 내열성이 거의 없다는 것이며, 온도가 상승하는 조건하에서는 내마모성, 강도 등이 낮아 사용할 수 없다. 이에, 미국에서는 내열침탄강인 CBS600을 개발하였다.

그러나, 고농도 침탄강에는 Cr, Mo, V의 탄화물 형성원소를 다량 함유하고 있기 때문에 그에 상응하는 내열성을 갖는다. 또한 고농도 침탄층은 탄화물의 석출로 인해 경도가 높아지기 때문에 더욱더 내열한계가 높아

표 7. 내식성 시험결과

강 종	열 처 리	부동태화 PH 구역		부식도 (g/m ² /h)(HCl+Cl ₂) (200°C)
		유산수용액	염산수용액	
MAC14	고농도침탄	2.5 이상	2.5 이상	0.45
	퀵템퍼링	3.5 이상	3.0 이상	1.6
STS304	용 체 화	2.5 이상	1.5 이상	0.37

진다. 따라서 고면압 내열 베어링에 적용할 수 있다.

6. 고농도 침탄기술의 적용부품

고농도 침탄층은 표면경도가 높고 연화저항특성이 우수하기때문에 부하용력이 증대되어 접촉면의 온도가 상승하여도 연화하지 않는 장점이 있다. 따라서 윤활이 불충분하여 접촉면의 온도가 상승하거나 소착되는 경우 그것을 억제하는데 효과가 있다. 따라서 이러한 특성이 요구되는 기어, 베어링 등의 기계요소부품, 냉간 및 열간 금형, 자동차부품, 및 토목건설기계부품 등에 적용되고 있다. 그림 8은 고농도 침탄된 냉간금형 및 플라스틱 사출기 스크류헤드를 나타낸 것이며, 표 8은 주요 적용예를 나타낸다.

7. 국내외 연구개발 현황

고농도 침탄기술은 1965년 캐나다의 O. E. Cullen의 특허가 출원된 이래 주로 일본, 미국을 중심으로 연구개발이 이루어져왔으나 최근에는 프랑스, 호주, 러시아

및 독일 등으로 확대되고 있다.

일본의 Mitsubishi Steel(주)은 토목공사, 석유정 개발을 위한 굴착용 드릴비트의 특성을 향상시키기 위해 고농도침탄 전용 MAC14 강재와 침탄공정을 개발하였다. MAC14강재는 고농도 침탄을 통해 HV1000에 달하는 매우 높은 표면경도를 얻을 수 있으며, 사용온도가 300°C까지 상승 하여도 HV700 이상의 경도를 유지할 수 있는 우수한 내열성을 가진다. 또한 경화능이 우수하고, 팁의 지지력이 크며, 토사마모량이 적어 굴착용 드릴비트 재료로 적합하다.

Komatsu사와 Tohoku대학에서는 12%Cr 함유하는 강재의 고농도 침탄기술을 연구하여, 충격인성이 매우 우수하고 내마모성이 냉간용 공구강인 STD11보다 우수한 결과를 얻었으며, 냉간용 공구강의 대체 사용가능성을 제시하였다. Nachi Steel(주)은 고농도 침탄공구강을 개발하여 냉간공구강, 고속도공구강 및 초경합금으로 이루어진 프레스금형, 분말야금 금형의 대체 재료로 활용 매우 큰 수명 연장 효과를 얻었으며, 전동공구날, 전단기날을 비롯한 각종 내마모 기계부품에 확대 적용하고 있다.

그림 8. 고농도 침탄된 냉간금형(좌)과 플라스틱 사출기 스크류 헤드(우).

표 8. 고농도 침탄기술의 주요 적용예

분야	용도에
프레스 가공	drawing die, bending die, trimming die, shear blade, forming tools
분말야금	forming tools, coining punch, sizing punch, coining die, sizing die
* 금속/유리/타일 열간가공	forging die forging punch, inserts, moulds, roller
자동차부품	heavy-duty gear, valve lifter, drill stem, bit, connecting rod, lock, bearing, steering part, ball joint, drive shaft, camshaft, track, shoes, tappet, hydraulic lash adjuster pinion ring gear,
토목건설기계	drill bit
일반기계	spindle, cylinder, screw-head, screw, brick die

*고농도 침탄+이온질화

Nissan자동차(주), Tokyo열처리(주), Diado Steel (주), Fuji Valve(주) 등에서는 고농도 침탄 및 질화기술을 개발하여 타펫트를 비롯한 각종 자동차 엔진부품에 적용하고 있다. 특히 Diado Steel(주)은 플라즈마 침탄장치를 개발하고 이를 이용하여 기어 및 자동차 핵심부품의 고강도화는 물론 내피로 및 내마모 특성을 향상시키기 위한 고농도 침탄기술을 개발하고 있다.

프랑스의 HIT그룹에서는 열간공구강을 플라즈마 고농도 침탄한 다음 이온질화하는 기술을 개발하여 열간단조금형은 물론 압연롤, 유리성형공구, 샌드브라스트 및 파쇄기부품, 그리고 타일성형공구에 적용하여 수명을 크게 향상시키고 있다. I.N.P.L.에서는 Cr강의 고농도 침탄시 탄화물의 생성기구, 성장속도 및 미세조직에 관한 연구를 수행하였다.

미국의 Carpenter Technology사는 일반 구조용 침탄강재의 고농도 침탄기술과 전용 침탄강을 개발하고, 고Cr강의 부동태 피막형성에 따른 침탄속도 저하 문제를 극복하였다.

호주의 Q.H.P.사에서는 유동층 방식의 고농도 침탄기술인 QCD침탄법을 개발하였다.

한편, 국내에서는 KIMM과 경남열처리에서 기계부품의 고농도 침탄기술을 개발하고 있다. 그리고 동우열처리(주)에서 RX 가스침탄법을 이용하여 열간금형을 고농도 침탄한 다음 이온질화하고 있으며, 자동차부품의 고농도 침탄기술을 개발하고 있다.

8. 맺음말

고농도 침탄기술은 종래의 침탄경화 의해 얻어진 고탄소의 마르텐사이트 기지중에 미세한 탄화물을 균일하게 분산석출시키는 처리방법으로 매우 우수한 내마모성, 피로강도 및 내피팅성 등을 얻을 수 있기 때문에 철강재료의 새로운 표면경화 방법으로 크게 발전할 것으로 기대된다.

그러나, 이와같이 뛰어난 기계적성질의 향상을 가져오는데도 불구하고 탄화물의 형상이나 량의 제어가 용이하지 못하고, 처리시 높은 C.P로 인해 다량의 soot가 발생하여 장치의 유지관리를 어렵게 함은 물론 품질을 저하시키는 등의 여러 문제점을 가지고 있다.

이를 극복하기 위해서 앞으로, 탄화물의 형성 및 분산 제어가 용이하고, 입계산화를 억제할 수 있는 조성의 고농도 침탄 전용강재 및 처리공정과 soot의 발생을 줄일 수 있는 침탄 분위기의 개발이 요구된다.

참고문헌

1. 内藤武志, “高炭素浸炭の技術”, 熱處理, 第26卷 第2号, 1986, P. 157 P. 197.
2. J. P. Souchard, “Plasma overcarburizing of chromium steels for hot-working and wear applications”, Heat treatment of Metals, 1992.2, P. 49.
3. 中山健次, “過剩浸炭の技術”, 日産技報, 第27号, 1990, P. 21.
4. 阿部吉彦, “MAC鋼の表面硬化處理法に關する研究, 三陵製鋼技報, 第8卷, 제2号, 1974, P. 24.
5. V. Woimbee, “Over-carburizing kinetics and microstructure of Z38CDV5.3 tool steel”, Materials Science Forum, Vol. 163-165, 1994, P. 197.
6. 阿部吉彦, “過剩浸炭處理技術の發展と機械部品への利用”, 三陵製鋼技報, 第18卷, 제1, 2号, 1984, P. 24.
7. K. Namiki, “Application of supercarburizing to hydraulic lash adjuster”, SAE Technical Paper 880416, 1988.
8. 天野安地, “浸炭するだけで特殊炭化物粒子に覆われりIC工具鋼” 不二越技報, 第36卷 第2号, 1980, P. 59.
9. R.W. Reynoldson, “Fluidized bed carburizing in Australia”, Advanced Materials & Process, 1998.6, P. 101.
10. 阿久健辛一, “プラズマ浸炭の原理と高濃度浸炭法” 特殊鋼, 第38卷, 第6号, 1989, P. 45.
11. 高山武盛, “12%クロム鋼の炭化物分散を伴う浸炭(CD浸炭)”, 日本金屬學會誌, 第45卷, 第11号, 1981, P. 1195.
12. R. Kern, “Super carburizing”, Heat treating, Oct., 1986, P. 38.