

열처리의 분류

The Classification of Heat Treatments

이 상 윤

동아대학교 금속공학과

1970년대 초 영국금속학회가 주관하여 당시 열처리 관련 자료를 수집 정리하여 열처리 과정을 면밀히 검토하고 열처리 결과 얻을 수 있는 미세조직과 이에 따른 기계적성질을 분석한 다음 열처리명의 중복을 피하고 열처리 용어의 혼란성을 최소화하여 학문적으로 열처리를 분류한 결과를 발표함으로써 열처리 분야가 학문적으로 정립하게 되었고 국제학술발표대회에 새로운 용어가 등장하여 참신한 영향을 주었다. 1980년대 이후 현재 까지 열처리기술이 개발되고 새로운 열처리 과정이 나타남에 따라 열처리의 분류의 보완과 새로운 용어의 정의를 규정할 필요성을 갖게 되었다. 현재 국제열처리협회(IFHTSE)의 열처리용어분과위원회에서 그 중요성을 강조하면서도 계속 지연되고 있는 실정이다.

따라서 현재 수집된 자료를 토대로 하여 가열 사이클에 관계되는 변태영역, 냉각방법, 상변태 특성, 확산원자의 종류, 열처리 분위기, 열처리 결과 얻을 수 있는 미세조직과 이에 따른 기계적성질, 열처리와 가공의 유기적 조합 등에 따라 학문적으로 분류할 수 있으며 동시에 열처리 목적 가운데 중요시 되고 있는 표면경화를 하는지 여부에 따라서도 분류할 수 있으므로 여기에 수록하고자 한다. 열처리를 학문적으로 분류하고 열처리 용어의 정의를 확정하는 것은 보는 관점에 따라 그리고 각자의 전공분야의 지식에 따라 의견이 분분하는 것이 본질이라 할 수 있으므로 항상 논란의 여지가 있기 마련이다. 그러나 열처리학의 본질을 과학적으로 추구하고 그 정통성을 수립하여 나아가서 열처리기술을 바르게 개발하고 열처리기술 상호간의 유기적인 조합을 이루어 이로부터 상승효과를 얻으므로써 열처리의 발전에 기여할 수 있게 하는 것이 중요한 과제라고 할 수 있으므로 관대한 이해를 바라며 앞으로 열처리의 표준용어로서 많은 활용을 해 주고 끊임없는 보완과 제언을 기대한다.

I. 학문적 분류

1. 보통열처리(thermal treatment)

가열과 냉각과정 만이 관계되는 열처리이며 처리결과 얻은 미세조직에 따라 어닐링처리, 퀸칭처리, 템퍼링처리 및 시효처리로 나눌 수 있다.

1.1 어닐링처리(annealing treatments)

(1) 어닐링(annealing)

적절한 온도로 가열하여 유지한 다음 적절한 속도로 냉각하여 경도를 감소하고 가공성을 향상시키며 냉간가공을 용이하게 할 수 있도록 원하는 미세조직을 얻는 처리이다.

(2) 완전어닐링(full annealing)

아공석강(hypoeutectoid steel)을 Ac_3 이상으로 가열하거나 과공석강(hypereutectoid steel)을 Ac_1 과 Ac_{cm} 사이의 온도로 가열한 다음 변태 영역에서 서냉시키는 처리이다.

(3) 노르말라이징(normalizing)

강을 변태영역 이상의 적절한 온도의 오스테나이트 영역으로 가열한 다음 공기 중에서 냉각하는 처리이다.

(4) 응력제거(stress relieving)

잔류응력을 제거하기 위하여 임계온도 이하의 적절한 온도로 가열한 다음 서냉하는 처리이다.

(5) 구상화(spheroidizing)

강에 형성되어 있는 탄화물을 구상화하기 위한 처리이며 구상화처리 결과 강의 인성, 가공성 등이 향상된다. 구상화처리 방법은 다음과 같다.

- ① Ac_1 바로 아래 온도로 장시간 유지한 다음 냉각한다.
- ② Ac_1 바로위와 Ar_1 바로아래 온도로 반복해서 가열과 냉각을 한다.
- ③ Ac_1 바로 위의 온도로 가열한 다음 노내에서 매우 느리게 냉각하거나 Ac_1 이하의 온도에서 유지하는 처리이다.

(6) 등온어닐링(isothermal annealing)

강을 오스테나이트화처리 후 Ac_1 이하의 온도로 냉각하고 유지하여 비교적 연한 페라이트와 탄화물 조직을 얻는 처리이다.

- (7) 재결정어닐링(recrystallization annealing)
냉간가공된 강의 변형된 조직을 재가열하여 상변태 없이 새로운 결정립으로 구성된 미세조직으로 형성하기 위한 처리이다.
- (8) 균질화어닐링(homogenizing annealing)
소정의 고온에서 충분한 시간동안 유지함으로써 확산에 의해 편석을 제거 하고 균질한 조직을 얻는 처리이다.
- (9) 퀴칭어닐링(quench annealing)
오스테나이트계 합금강에서 냉각 중 탄화물의 석출로 인하여 기계적성질이 나빠게 되는 것을 방지하기 위하여 오스테나이트화처리 후 급랭하여 연화시키는 처리이다.

1.2 퀴칭처리(quenching treatments)

- (1) 퀴칭(quenching)
강을 오스테나이트화한 다음 급랭에 의해 오스테나이트 전부 또는 일부가 마르텐사이트 변태하여 경화하는 처리이며 가공강의 오스테나이트화 온도는 Ac_3 이상이고 과공석강인 경우 Ac_1 과 Ac_{cm} 사이의 온도이다.
- (2) 표면 퀴칭(surface quenching)
강의 표면층을 급속히 가열하여 오스테나이트화한 다음 급랭에 의해 오스테나이트가 마르텐사이트 변태하여 표면층을 경화하는 처리이며 현재 사용되고 있는 처리방법은 고주파 표면경화, 화염 표면경화, 레이저 표면경화 및 전자빔 표면경화가 있다.
- ① 고주파 표면경화(induction surface hardening)
코일에 흐르는 고주파 교류에 의하여 코일 내부에 위치한 처리부품 표면에 와전류가 형성되어 강의 표면층을 급속히 가열한 다음 급랭하여 표면층을 경화하는 처리이다.
- ② 화염 표면경화(flame surface hardening)
가연성 가스인 아세틸렌, 천연가스, 프로판 등과 산소의 혼합가스에 의한 고온화염을 이용하여 강의 표면층을 급속히 가열한 다음 급랭 하여 표면층을 경화하는 처리이다.
- ③ 레이저 표면경화(laser surface hardening)
 CO_2 레이저 빔을 이용하여 강의 표면을 매우

급속히 가열한 다음 자기퀴칭(self-quenching)에 의해 표면층을 경화하는 처리이다

- ④ 전자빔 표면경화(electron beam surface hardening)
가속된 전자 빔이 강의 표면을 직접 충돌하여 변태온도 이상으로 급속히 가열한 다음 자기퀴칭에 의해 표면층을 경화하는 처리이다.
- (3) 마르템퍼링(martempering)
강을 오스테나이트화한 다음 마르텐사이트 변태점 바로 위의 온도 또는 마르텐사이트 변태영역의 상부 온도로 급랭하여 부품 전체의 온도가 균일하게 될 때 까지 유지한 후 변태영역을 통하여 공랭하는 처리이다. 마르퀴칭(marquenching)이라고도 하였다.
- (4) 오스템퍼링(austempering)
강을 오스테나이트화한 다음 펄라이트 변태가 일어나지 않도록 베이나이트 변태온도로 급랭하여 베이나이트 변태가 완료하도록 등은 유지한 후 공랭하는 처리이다. 등은 퀴칭(isothermal quenching)이라고도 하였다.
- (5) 슬랙퀴칭(slack quenching)
강을 오스테나이트화한 다음 강의 임계냉각속도(critical cooling rate) 보다 약간 느린 속도로 냉각하여 불완전한 경화에 의해서 마르텐사이트와 다른 미세조직의 혼합조직을 얻는 처리이다.
- (6) 프레스퀴칭(press quenching)
변형하기 쉬운 철강재 부품을 오스테나이트화한 다음 변형을 방지하기 위하여 프레스를 사용하여 압력을 가하면서 급랭하여 경화하는 처리이다.

1.3 템퍼링처리(tempering treatments)

- (1) 템퍼링(tempering)
퀴칭에 의해서 경화된 강을 공석온도 이하의 온도로 재가열하여 적절한 시간 동안 유지한 다음 공랭함으로써 연성과 인성을 향상시키고 잔류응력을 제거하며 조직을 안정화시킬 목적으로 시행하는 처리이다. 때로는 노르말라이징처리된 강에도 적용한다.
- (2) 프레스템퍼링(press tempering)
퀴칭에 의해 경화된 변형하기 쉬운 철강재 부품을 템퍼링할 때 변형을 방지하기 위하여 프레스를 사용하여 압력을 가하면서 동시에 템퍼링하는 처리이다.

1.4 시효처리(aging treatments)

(1) 시효(aging)

열간가공이나 열처리 또는 냉간가공 후 실온이나 또는 실온 이상의 온도에서 기계적성질의 변화가 일어나는 처리이다.

(2) 석출경화(precipitation hardening)

용체화처리한 후 급랭하여 과포화고용체를 얻은 다음 저온으로 재가열하여 과포화고용체로부터 석출된 미세한 입자에 의하여 경화되는 처리이다.

(3) 변형시효(strain aging)

냉간가공된 강을 적절한 저온으로 가열하여 보다 안정한 조직을 얻은 다음 냉각하여 경화하는 처리이다.

2. 화학열처리(thermochemical treatment)

강을 가열하여 오스테나이트화처리 중 강의 표면과 열처리 분위기와의 화학적 반응에 의해 강의 표면층에 원소를 확산 침투시킨 다음 급랭하여 표면층을 경화하는 처리이며 확산되는 원소의 종류에 따라 금속 또는 준금속 원소에 의한 처리와 비금속 원소에 의한 처리의 두 가지 처리 분야로 나눌 수 있다.

2.1 금속 또는 준금속 원소에 의한 처리

(1) 금속 원소에 의한 처리

① 알루미늄이징(aluminizing)

강의 표면에 알루미늄(Al)을 확산 침투시키는 처리이다.

② 크로마이징(chromizing)

강의 표면에 크롬(Cr)을 확산 침투시키는 처리이다.

③ 셰라다이징(sherardizing)

강의 표면에 아연(Zn)을 확산 침투시키는 처리이다.

④ 티타나이징(titanizing)

강의 표면에 티타늄(Ti)을 확산 침투시키는 처리이다.

⑤ 바나다이징(vanadizing)

강의 표면에 바나듐(V)을 확산 침투시키는 처리이다.

⑥ 텅스텐나이징(tungstenizing)

강의 표면에 텅스텐(W)을 확산 침투시키는 처리이다.

⑦ 망가나이징(manganizing)

강의 표면에 망간(Mn)을 확산 침투시키는 처리이다.

⑧ 안티모나이징(antimonizing)

강의 표면에 안티모니(Sb)를 확산 침투시키는 처리이다.

⑨ 베리루마이징(beryllumizing)

강의 표면에 베리륨(Be)을 확산 침투시키는 처리이다.

⑩ 카퍼라이징(copperizing)

강의 표면에 구리(Cu)를 확산 침투시키는 처리이다.

⑪ 니켈라이징(nickelizing)

강의 표면에 니켈(Ni)을 확산 침투시키는 처리이다.

⑫ TD처리(Toyota diffusion process)

용융붕사에 V, Nb, Cr 등을 함유하는 분말을 첨가한 염욕에 처리 부품을 침지하여 800-1200°C로 가열하여 일정시간 유지한 다음 적절한 속도로 냉각하는 표면경화처리이다.

(2) 준금속 원소에 의한 처리

① 침붕(boriding 또는 boronizing)

● 고체침붕(pack boriding)

탄화붕소(B₄C)와 촉진제를 처리 부품과 함께 침붕상자에 넣고 800-1000°C에서 3-5 시간 동안 유지하여 침붕시키는 처리이다.

● 염욕침붕(salt bath boriding)

용융 붕사와 탄화붕소의 염욕에서 처리 부품을 900-1000°C 까지 가열하여 1-5시간 동안 유지한 다음 켈칭하여 표면경화시키는 처리이다.

● 가스침붕(gas boriding)

염화보론, 취화보론 등의 침붕가스와 캐리어가스로 구성된 가스 분위기 속에서 처리 부품을 800-950°C 까지 가열하여 2-6시간 동안 유지한 다음 켈칭하는 표면경화처리이다.

● 플라즈마침붕(plasma boriding)

처리 부품을 음극에 그리고 노벽을 양극의 직류 전원에 연결된 진공로에서 저압으로 유지된 염화보론과 수소의 혼합가스에 의한 플라즈마 분위기 속에서 처리 부품을 900-1050°C 까지 가열하여 일정시간 동안 유지한 다음 켈칭하여 표면경화시키는 처리이다.

② 실리콘나이징(siliconizing)

강의 표면에 규소(Si)를 확산 침투시키는 처리이다.

2.2 비금속 원소에 의한 처리

(1) 오스테나이트처리(austenitic treatments)

① 침탄(carburizing)

오스테나이트 상역에 해당하는 온도인 820°C와 950°C 사이의 온도에서 요구되는 침탄깊이에 따라 30 분에서 16 시간 동안 저탄소강 및 저탄소합금

강재를 가열하여 탄소를 표면층에 확산시킨 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 고체침탄(pack carburizing)

목탄과 촉진제를 처리 부품과 함께 침탄상자에 넣고 침탄 온도까지 가열하여 침탄 시키는 처리이다.

● 염욕침탄(salt bath carburizing)

용융시안화물 염욕에서 처리 부품을 침탄 온도로 가열하여 일정 시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 가스침탄(gas carburizing)

침탄가스(enrich gas)와 캐리어 가스(carrier gas)로 구성된 가스 분위기 속에서 처리 부품을 침탄온도까지 가열하여 일정시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 진공침탄(vacuum carburizing)

진공로 내에 메탄 또는 프로판가스의 저압으로 유지된 가스 분위기 속에서 처리 부품을 900-1050°C 까지 가열하여 일정시간 동안 유지하여 침탄단계와 확산단계를 경과한 다음 퀘칭하여 표면 경화 시키는 처리이다.

● 플라즈마침탄(plasma carburizing)

처리 부품을 음극에 그리고 노벽을 양극의 직류 전원에 연결된 진공로 내에 저압으로 유지된 메탄과 수소의 혼합가스에 의한 플라즈마 분위기 속에서 처리 부품을 900-1050°C 까지 가열하여 일정시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

② 침탄질화(carbonitriding)

저탄소강 및 저탄소합금강재를 오스테나이트 상역에 해당하는 온도인 790-875°C 사이의 온도에서 1-6시간 동안 가열하여 탄소와 동시에 질소를 첨가하여 표면층에 확산시킨 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 염욕침탄질화(salt bath carbonitriding)

용융시안화물 염욕에서 처리 부품을 침탄질화 온도까지 가열하여 일정시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 가스침탄질화(gas carbonitriding)

가스침탄 분위기 가스에 암모니아를 3-8% 첨가시킨 가스 분위기 속에서 처리 부품을 침탄질화 온도로 가열하여 일정시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 플라즈마침탄질화(plasma carbonitriding)

진공로 내에 저압으로 유지된 메탄과 질소의 혼합가스에 의하여 형성된 플라즈마 분위기 속에서 처리 부품을 850-950°C 사이의 온도로 가열하여 일정시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

(2) 페라이트처리(ferritic treatments)

① 질화(nitriding)

저탄소강, 저탄소합금강 및 공구강을 철-질소계 평형상태도의 공석 온도 이하인 500-560°C 범위 온도의 페라이트 상역으로 가열하여 일정 시간 동안 유지하여 질소를 표면층에 확산시킨 다음 퀘칭하는 표면경화처리이다.

● 고체질화(pack nitriding)

질소를 함유하는 유기화합물과 촉진제를 처리 부품과 함께 알루미늄이나 세라믹 질화상자에 넣고 질화 온도에서 2-16 시간 동안 유지하여 질화 시키는 처리이다.

● 염욕질화(salt bath nitriding)

용융시안화물 염욕에서 처리 부품을 질화 온도로 가열하여 24-72시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 가스질화(gas nitriding)

암모니아가스 분위기 속에서 처리 부품을 질화 온도로 가열하여 24-72시간 동안 유지한 다음 퀘칭하는 표면경화처리이다.

● 플라즈마질화(plasma nitriding)

처리 부품을 음극에 그리고 노벽을 양극의 직류 전원에 연결된 진공로 내에 저압으로 유지된 질소와 수소의 혼합가스에 의하여 형성된 플라즈마 분위기 속에서 처리 부품을 375-560°C에서 2-30시간 동안 유지한 다음 퀘칭하여 표면경화 시키는 처리이다.

● 질산화(oxynitriding)

내식성, 내마모성 등을 더욱 향상시키고 외관을 좋게하기 위하여 질화 후 산화처리를 실시하여 산소가 강 표면에 확산한 다음 퀘칭하는 표면경화처리이다.

② 침질탄화(nitrocarburizing)

저탄소강 및 저탄소합금강을 철-질소계 평형상태도의 페라이트 상역에 해당하는 온도인 570-580°C에서 일정시간 유지하여 표면층에 다량의 질소와 소량의 탄소를 동시에 확산시켜 화합물층(compound layer)과 확산층(diffusion layer)을 형성시킨 다음 퀘칭하는 표면경화처리이다.

- 고체침질탄화(pack nitrocarburizing)
질소함유 유기화합물, 목탄분말 및 촉진제의 고체 매질 속에서 처리 부품을 침질탄화 온도로 가열하여 일정시간 동안 유지하는 침질탄화처리이다.
- 염욕침질탄화(salt bath nitrocarburizing)
 - 터프트라이드(Tufftride)
용융시안화물 염욕에 공기를 주입하여 효과적인 반응을 유지 하면서 처리부품을 침질탄화 온도로 가열하여 2-5시간 동안 유지한 다음 켈칭하여 표면 경화 시키는 처리이다.
 - 서설프(Sursulf)
용융시안화물에 황화물이 첨가된 염욕에 공기를 주입하여 효과적인 반응을 유지하면서 처리 부품을 침질탄화 온도로 가열하여 2-5시간 동안 유지한 다음 켈칭하여 활성황으로 인해 내마멸성이 향상된 표면경화처리이다.
- 가스침질탄화(gas nitrocarburizing)
암모니아와 흡열형가스(endothermic gas)의 혼합가스 분위기 속에서 처리 부품을 침질탄화 온도로 가열하여 2-5 시간 동안 유지하여 표면층에 질소와 탄소를 동시에 확산시켜 화합물층과 확산층을 형성하도록 한 다음 켈칭하여 표면경화 시키는 처리이다.
- 진공침질탄화(vacuum nitrocarburizing)
진공로 내에 암모니아와 메탄의 혼합가스에 2% 이내의 산소를 제어 첨가하고 100-400 torr의 압력 변화를 주는 가스분위기 속에서 처리 부품을 침질탄화 온도에서 2-5시간 동안 유지한 다음 켈칭하여 표면경화시키는 처리이다.
- 플라즈마침질탄화(plasma nitrocarburizing)
처리부품을 음극에 그리고 노벽을 양극의 직류 전원에 연결된 진공로 내에 저압으로 유지된 질소와 메탄의 혼합가스 분위기 속에서 처리부품을 침질탄화 온도에서 1-5시간 유지한 다음 켈칭하여 표면경화시키는 처리이다.
- 침질탄산화(oxynitrocarburizing)
내식성, 내마모성 등을 더욱 향상시키고 제품의 외관을 미려하게 하기 위하여 침질탄화에 산화처리를 추가하여 산소가 강재표면의 화합물층에 확산한 다음 켈칭하는 표면경화처리이다.

3. 가공열처리(thermomechanical treatment)

가공이 용이하고 향상된 기계적성질을 얻기 위하여 열

처리와 소성가공을 유기적으로 조합하여 제어되는 여러 가지 형태의 가공 처리이다.

3.1 임계상 가공열처리(supercritical thermomechanical treatment)

(1) 재결정 없는가공열처리(thermomechanical treatment without recrystallization)

오스테나이트를 Ac_3 바로 위 안정한 온도에서 가공하거나 또는 재결정 방지 원소인 V, Nb, Ti 등을 강에 첨가하여 재결정이 일어나지 않는 온도에서 가공한 다음 변태가 일어나서 집합조직이 형성되는 처리이다.

(2) 재결정 있는 가공열처리(thermomechanical treatment with recrystallization)

오스테나이트를 Ac_3 이상의 온도에서 가공한 후 재결정이 일어나서 미세한 등축정 오스테나이트로 한 다음 변태가 일어나서 등방성이 있는 조직이 형성되는 처리이다.

3.2 임계간 가공열처리(intercritical thermomechanical treatment)

오스테나이트와 페라이트의 두 개 상이 공존하는 Ac_3 와 Ac_1 사이의 온도에서 이공석강을 가공한 다음 켈칭하여 페라이트에 마르텐사이트 섬유조직으로 된 이상조직(dual phase structure)을 얻는 처리이다.

3.3 임계하 가공열처리(subcritical thermomechanical treatment)

(1) 오스포밍(ausforming)

공석온도 이하 강의 변태가 느린 온도에서 오스테나이트가 변태하기 전에 가공한 다음 켈칭하여 미세한 마르텐사이트 집합조직을 얻는 처리이다.

(2) 아이스포밍(isoforming)

공석온도 이하 온도에서 펄라이트 또는 베이나이트 변태 중 가공하여 미세한 펄라이트 또는 베이나이트 조직을 얻는 처리이다.

II. 표면경화에 따른 분류

1. 일반열처리(general heat treatment)

강재 표면층의 경화를 목적으로 하지 않고 부품 전체

를 균일하게 열처리하거나 가공열처리하는 처리이다.

- (1) 어닐링(annealing)
- (2) 완전어닐링(full annealing)
- (3) 노르말라이징(normalizing)
- (4) 응력제거어닐링(stress relieve annealing)
- (5) 구상화어닐링(spheroidizing annealing)
- (6) 등온어닐링(isothermal annealing)
- (7) 재결정어닐링(recrystallization annealing)
- (8) 균질화어닐링(homogenizing annealing)
- (9) 퀘칭어닐링(quench annealing)
- (10) 퀘칭(quenching)
- (11) 마르템퍼링(martempering)
- (12) 오스템퍼링(austempering)
- (13) 슬랙 퀘칭(slack quenching)
- (14) 프레스 퀘칭(press quenching)
- (15) 템퍼링(tempering)
- (16) 프레스템퍼링(press tempering)
- (17) 시효(aging)
- (18) 석출경화(precipitation hardening)
- (19) 변형시효(strain aging)
- (20) 재결정 없는 가공열처리(thermomechanical treatment without recrystallization)
- (21) 재결정 있는 가공열처리(thermomechanical treatment with recrystallization)
- (22) 임계간 가공열처리(intercritical thermomechanical treatment)
- (23) 오스포밍(ausforming)
- (24) 아이스포밍(isoforming)

2. 표면경화처리(surface hardening treatment)

강재 표면층의 경화를 목적으로 표면층만을 급속히 가열하거나 부품 전체의 가열 중 표면층에 원소를 확산시킨 다음 퀘칭하여 표면 경화 시키는 처리이다.

- (1) 고주파 표면경화(induction surface hardening)
- (2) 화염 표면경화(flame surface hardening)
- (3) 레이저 표면경화(laser surface hardening)
- (4) 전자빔 표면경화(electron beam surface hardening)
- (5) 알루미늄라이징(aluminizing)
- (6) 셰라다이징(sherardizing)
- (7) 티타나이징(titanizing)
- (8) 바나다이징(vanadizing)
- (9) 텅스텐나이징(tungstenizing)

- (10) 망가나이징(manganizing)
- (11) 안티모나이징(antimonizing)
- (12) 베릴루미나이징(beryllumizing)
- (13) 카퍼라이징(copperizing)
- (14) 니켈라이징(nickelizing)
- (15) TD처리(Toyota diffusion process)
- (16) 고체침봉(pack boriding 또는 pack boronizing)
- (17) 염욕침봉(salt bath boriding)
- (18) 가스침봉(gas boriding)
- (19) 플라즈마침봉(plasma boriding)
- (20) 실리콘나이징(siliconizing)
- (21) 고체침탄(pack carburizing)
- (22) 염욕침탄(salt bath carburizing)
- (23) 가스침탄(gas carburizing)
- (24) 진공침탄(vacuum carburizing)
- (25) 플라즈마침탄(plasma carburizing)
- (26) 염욕침탄질화(salt bath carbonitriding)
- (27) 가스침탄질화(gas carbonitriding)
- (28) 플라즈마침탄질화(plasma carbonitriding)
- (29) 고체질화(pack nitriding)
- (30) 염욕질화(salt bath nitriding)
- (31) 가스질화(gas nitriding)
- (32) 플라즈마질화(plasma nitriding)
- (33) 질산화(oxynitriding)
- (34) 고체침질탄화(pack nitrocarburizing)
- (35) 터프트라이드(Tufftride)
- (36) 서설프(Sursulf)
- (37) 가스침질탄화(gas nitrocarburizing)
- (38) 진공침질탄화(vacuum nitrocarburizing)
- (39) 플라즈마침질탄화(plasma nitrocarburizing)
- (40) 침질탄산화(oxynitrocarburizing)

참고문헌

1. T. Bell, "Survey of the Heat Treatment of Engineering Components", The Metals Society, 1973.
2. E. Tyrkiel, "Multilingual Glossary of Heat Treatment Terminology", International Federation for the Heat Treatment of Materials(IFHT), 1986.
3. J. R. Davis, et al., "Glossary of Terms", Heat Treating of ASM Handbook, ASM International, 1991.
4. 열처리공학회지, 한국열처리공학회, 1988-2001.
5. 열처리용어집, 한국열처리공학회, 1997.