## 여는 글

뿌리산업은 제조업의 근간을 이루는 핵심 산업임에도 불구하고 다양한 생산기반 기술을 습득하는데 많은 시간과 노력을 필요로 하고 있으나, 산업분야에 대한 세부적인 기술을 연마하고, 이해하기 위한 기술서적은 쉽게 찾아볼 수 없는 것이 현실입니다.

따라서 뿌리산업분야 인력육성 및 인프라를 지원하고 있는 뿌리산업 인적자원개발위원회는 본 개론서를 발간하여 해당분야 산업과 기술을 이해하는데 도움을 드리고저 하였으며, 아울러 평생경력개발경로를 통해 한 분야에서 기술인으로 성장하는데 일조하기 위해 국가직무능력표준(NCS)과 연계하여 지침서로서 활용토록 하였습니다.

앞으로 본 개론서가 특성화고, 일반 대학 전공 학생은 물론, 뿌리산업계에 종사하기 위한 취업예정자와 기업체 소속 근로자, 뿌리산업 관련 훈련 교원 등 모든 분들로부터 환영받기를 기대합니다.

아울러, 본 개론서가 나오기까지 지원을 아까지 않으신 고용노동부, 한국산업인력공단에 감사의 말씀을 드리며 금형, 금속가공, 표면처리, 용접산업의 발전과 더불어 미래에도 핵심산업으로 도약하는데 작은 도움이 되기를 기대합니다.

2019. 12.

**뿌리산업 인적자원개발위원회 위원장 임 영 택**

**(금형·금속가공·표면처리·용접)**

# 목 차


**제 I 편 열처리 입문 ····· 1**

**제1장 열처리 기본 이론 ····· 3**

1. 열처리란? ····· 3
2. 열처리 목적과 방법 ····· 6
3. 열처리 기초 ····· 8
4. 열처리 기초 이론 ····· 11
5. 강(鋼)의 변태 ····· 20

**제2장 열처리 조직 ····· 24**

1. 탄소강의 기본조직 ····· 24
2. 담금질 조직 ····· 26

**제3장 강(鋼)의 열처리 ····· 31**

1. 강의 열처리 방법 ····· 31
2. 특수 열처리 ····· 45

**제4장 강(鋼)의 열처리 효과와 영향 ····· 51**

1. 합금원소의 영향 ····· 51
2. 강(鋼)의 담금질 효과 ····· 54
3. 냉각제와 냉각능 ····· 57

**제5장 탄소강의 열처리 ····· 59**

1. 기계구조용 탄소강의 열처리 ····· 59

**제6장 합금강의 열처리 ····· 63**

1. 기계구조용 합금강의 열처리 ····· 63
2. 표면 경화강의 열처리 ····· 66
3. 공구강의 열처리 ····· 67
4. 특수강의 열처리 ····· 68

**제7장 주철의 열처리 ····· 70**
1. 보통 주철의 열처리 ····· 70
2. 고급 주철의 열처리 ····· 74
3. 특수 주철의 열처리 ····· 75

**제8장 분위기 열처리 ····· 79**
1. 분위기 열처리란? ····· 79
2. 보호가스 분위기 종류 및 특성 ····· 80
3. 보호가스 분위기 열처리 ····· 85

**제9장 진공 열처리 ····· 86**
1. 진공 열처리의 개요 ····· 86
2. 진공 열처리의 원리와 특성 ····· 86

**제10장 표면경화 열처리 ····· 89**
1. 고주파 및 화염 경화법 ····· 89
2. 침탄 및 화염 경화법 ····· 92
3. 기타 표면경화 열처리 ····· 105

**제11장 염욕 열처리 ····· 107**
1. 염욕 열처리의 특성 ····· 107
2. 염욕의 침식과 열화 ····· 109

**제Ⅱ편 열처리 실무 ····· 110**
**제1장 열처리 변형 및 균열 발생의 원인 ····· 111**
1. 열처리 변형 ····· 111
2. 열처리 균열 ····· 113

**제2장 담금질 열처리 작업의 요점 ····· 115**
1. 정확한 담금질을 하게 위한 조건 ····· 115
2. 담금질을 균일하게 하기 위한 조건 ····· 117

**제3장 너무 가열하면 강(鋼)을 버린다 ····· 120**

**제4장 열처리 온도와 변태점(變態點) ····· 121**

**제5장 절제 담금질 작업의 기본요령 ····· 122**

1. 일반통칙 ····· 122
2. 구멍내부 담금질 ····· 122
3. 두께 불균일 부품 담금질 ····· 122
4. 구멍이 있는 부품 담금질 ····· 124
5. 심하게 각이 진 구석부(Sharp Corner)가 있는 부품 담금질 ····· 124

**제6장 세장(細長)공구류 담금질 방법 ····· 125**

1. 드릴 공구 담금질 ····· 125
2. 리머(reamer) 담금질 ····· 127
3. 탭(Tap) 담금질 ····· 128
4. 브로치(Broach) 담금질 ····· 129
5. 엔드밀 담금질 ····· 130
6. 핀, 축류 담금질 ····· 130

**제7장 톱날, 커터류 담금질 방법 ····· 131**

1. 둥근톱 담금질 ····· 131
2. 쇠톱날 담금질 ····· 132
3. 커터(Cutter)류 담금질 ····· 133
4. 퀜칭 온도 ····· 134
5. 퀜칭 가열시간 ····· 136
6. 냉각과정 ····· 136
7. 퀜칭용 냉각제 ····· 136

**제8장 Al합금 열처리 ····· 138**

1. Al합금의 질별 기호 ····· 138
2. 열처리 실제 ····· 139
3. 가공용 알루미늄 합금 ····· 140

4. Al 합금의 강도 증가를 위한 열처리 3단계 ····· 141
5. 알루미늄 합금 A2024와 A7075 열처리 ····· 141

**제9장 가스 질화 열처리 ····· 142**
1. 가스 질화 자동화 시스템 ····· 142
2. 질화 열처리 제어 시스템 계통도 ····· 142
3. KN 콘트롤러 적용 사례 ····· 143
4. H2 센서 ····· 143
5. KN 콘트롤러 ····· 144

**제Ⅲ편 열처리 설비 ····· 145**
**제1장 열처리로 종류 ····· 147**
1. 열처리로 종류 ····· 147

**제2장 흡열형 변성로 ····· 155**
**제3장 냉각 장치 ····· 161**
1. 공랭장치 ····· 161
2. 수랭장치 ····· 161
3. 기름냉각장치 ····· 162
4. 분사냉각장치 ····· 162
5. 염욕(연욕) 냉각장치 ····· 163
6. 프레스 담금질 장치 ····· 164

**제4장 발열체 ····· 165**
1. 발열체의 구비조건 ····· 165
2. 발열체의 종류 ····· 165

**제5장 온도 제어 장치 ····· 167**
1. 온도 제어 장치 ····· 167
2. 열전대 ····· 167
3. 열전대와 측온 저항체의 특징 ····· 168

**제6장 단열 내화재료 ····· 171**

1. 내화물의 구비 조건 ····· 171
2. 저온용 단열재 ····· 171
3. 고온용 단열재 ····· 172

**제7장 열처리 전·후처리 설비 ····· 173**

1. 열처리 전·후처리 설비 ····· 173
2. 버프연마 ····· 173
3. 액체호닝 ····· 173
4. 산세척 ····· 173
5. 탈지 ····· 174
6. 클리클로에틸렌 세정 ····· 174
7. 전해세정 ····· 175
8. 전해연마 ····· 175

# 표 목차

[표 1-1] 냉각 방법의 요령 ····· 9
[표 1-2] 냉각 방법의 3형식 ····· 9
[표 1-3] 순금속의 동소 변태 ····· 14
[표 1-4] 담금질 조직의 경도 ····· 29
[표 1-5] 열처리의 분류 ····· 32
[표 1-6] 뜨임 취성과 종류 ····· 43
[표 1-7] 성냥을 이용한 템퍼링온도 측정 ····· 43
[표 1-8] 마래징강의 보기 ····· 50
[표 1-9] 여러 가지 냉각제의 냉각능 ····· 58
[표 1-10] 기계구조용 탄소강의 완전 풀림조건 및 풀림경도 ····· 59
[표 1-11] 기계구조용 탄소강의 노멀라이징 온도 및 기계적 성질 ····· 60
[표 1-12] 기계구조용 탄소강의 담금질 온도 ····· 61
[표 1-13] 기계구조용 탄소강의 담금질 온도의 가열시간 및 유지시간 ····· 61
[표 1-14] 보호가스의 종류 ····· 81
[표 1-15] 변성가스의 종류, 조성 및 특성 ····· 82
[표 1-16] 열처리 종류에 따른 노내 분위기 적용 사례 ····· 85
[표 1-17] 압력범위의 구분 ····· 88
[표 1-18] 주파수의 선택 ····· 90
[표 1-19] 경화층 깊이의 표시 기호 ····· 96
[표 1-20] 경화깊이 별 시험기 활용요령 ····· 99
[표 1-21] 경화 깊이와 경도와의 관계 ····· 100
[표 2-1] 탄소강의 담금질-템퍼링으로 인한 체적변화 ····· 111
[표 2-2] 담금질로 인한 체적 변화율의 계산치와 실측 ····· 112
[표 2-3] 담금질 온도와 경도, 마텐사이트 침상(針狀)의 길이 균열수(數)의 관계 ····· 114
[표 2-4] 철의 가열온도와 색 ····· 117

[표 2-5] 각종 공구류의 투입방법 및 젖는 방법 통칙 ····· 123
[표 2-6] 대표적인 가공용 Al합금의 화학 조성 ····· 140
[표 2-7] 용체화 처리 후 시효처리한 결과 ····· 141
[표 3-1] 열처리로의 종류 ····· 147
[표 3-2] 열처리에 사용되는 온도계의 종류의 용도 ····· 167
[표 3-3] 열전대의 종류와 특징 ····· 168
[표 3-4] 제어 방식과 조절 동작 ····· 170
[표 3-5] 내화물의 화학조성에 의한 분류 ····· 171
[표 3-6] 열처리 전·후처리 설비 ····· 173

# 그림 목차

[그림 1-1] 열처리 기술의 최근 동향 ····· 3
[그림 1-2] 열처리 장면 ····· 4
[그림 1-3] 진공로 ····· 4
[그림 1-4] 각종 금속재료에 요구되는 성질 ····· 4
[그림 1-5] 연속로 열처리 ····· 6
[그림 1-6] 열처리의 목적 ····· 6
[그림 1-7] 진공 열처리 제품 ····· 7
[그림 1-8] C강의 냉각 속도에 따르는 항복 강도의 변화 ····· 8
[그림 1-9] 연속 냉각에 의한 열처리 ····· 10
[그림 1-10] 2단 냉각에 의한 열처리 ····· 10
[그림 1-11] 항온 냉각에 의한 열처리 ····· 10
[그림 1-12] 금속의 조직과 구조 ····· 11
[그림 1-13] 주요한 결정 격자 구조 ····· 12
[그림 1-14] 금속의 변태 ····· 13
[그림 1-15] α기지에서 β상의 핵생성과 성장 ····· 15
[그림 1-16] 고용체의 공간 격자의 종류 ····· 16
[그림 1-17] 합금의 열분석 곡선과 상태도의 관계 ····· 17
[그림 1-18] 금속확산의 과정 ····· 17
[그림 1-19] 용체화처리 및 시효 처리 ····· 18
[그림 1-20] Fe-Fe3C계 평형 상태도와 변태 조직도 ····· 20
[그림 1-21] 펄라이트의 생성과정 ····· 21
[그림 1-22] 항온 변태 선도(공석강) ····· 22
[그림 1-23] 공석 탄소강의 베이나이트 ····· 23
[그림 1-24] 연속 냉간 변태선도(공석강) ····· 23
[그림 1-25] 공석강의 펄라이트 조직 ····· 24
[그림 1-26] 아공석강의 서냉 조직 ····· 25
[그림 1-27] 과공석강의 서냉 조직 ····· 25
[그림 1-28] 마텐자이트변태 시작 및 종료 온도와 탄소량과의 관계 ····· 27
[그림 1-29] 탄소강의 마텐자이트 ····· 28
[그림 1-30] 트루스타이트 조직 ····· 28
[그림 1-31] 소르바이트 조직 ····· 30
[그림 1-32] 열처리의 구역 ····· 31
[그림 1-33] 강의 풀림 온도 ····· 32

[그림 1-34] 완전 풀림 공정 ····· 33
[그림 1-35] 등온 풀림과 등온 풀림의 작업 과정 ····· 33
[그림 1-36] 강도 저하로 인한 잔류 응력 감소 ····· 34
[그림 1-37] 망상 시멘타이트의 구상 ····· 35
[그림 1-38] 펄라이트 조직 ····· 35
[그림 1-39] 과공석강 조직 ····· 35
[그림 1-40] 구상 시멘타이트 조직 ····· 35
[그림 1-41] 시멘타이트의 구상화 처리 방법 ····· 35
[그림 1-42] 재결정에 있어서의 온도, 입도 및 가공도와 관계 ····· 36
[그림 1-43] 보통 노멀라이징 ····· 37
[그림 1-44] 2단 노멀라이징 ····· 37
[그림 1-45] 항온 노멀라이징 ····· 38
[그림 1-46] 2중 노멀라이징 ····· 38
[그림 1-47] 탄소강의 담금질 온도 ····· 39
[그림 1-48] 담금질 가열 단계의 모식도 ····· 39
[그림 1-49] 담금질 유지 단계의 모식도 ····· 40
[그림 1-50] 형상 효과의 예 ····· 40
[그림 1-51] 모서리각 효과의 예 ····· 40
[그림 1-52] 담금질 액에 넣는 방향 ····· 41
[그림 1-53] 담금질 방법 ····· 41
[그림 1-54] 마텐자이트조직을 가열하였을 때 일어나는 변화 ····· 42
[그림 1-55] 담금질 후 뜨임의 지연으로 생긴 균열 ····· 44
[그림 1-56] 오스템퍼링 ····· 45
[그림 1-57] 마템퍼링 ····· 46
[그림 1-58] 마퀜칭 ····· 46
[그림 1-59] 시간 담금질 ····· 47
[그림 1-60] 분사 냉각 장치 ····· 48
[그림 1-61] 가스 냉각 장치 ····· 48
[그림 1-62] 프레스 담금질에 의한 기어의 담금질 ····· 48
[그림 1-63] 각종 가공 열처리 곡선 ····· 49
[그림 1-64] 합금원소의 영향 ····· 51
[그림 1-65] 강의 임계 냉각속도에 끼치는 함급원소의 영향 ····· 52
[그림 1-66] 담금질 경도에 미치는 원소의 영향 ····· 52
[그림 1-67] 뜨임경도에 미치는 Si의 영향 ····· 53
[그림 1-68] 뜨임 경도에 미치는 Mo과 Cr의 영향 ····· 53
[그림 1-69] 담금질한 강의 경도 분포 ····· 54
[그림 1-70] 경화능 시험편과 시험장치 ····· 55
[그림 1-71] 경화능 시험 곡선 ····· 56

[그림 1-72] 강의 담금질 냉각 곡선 ····· 58
[그림 1-73] 마우러(Maurer) 조직도 ····· 70
[그림 1-74] 레데뷰라이트(Ledeburite) ····· 70
[그림 1-75] 백주철 ····· 72
[그림 1-76] 편상 흑연 주철 ····· 72
[그림 1-77] 흑심가단주철 ····· 75
[그림 1-78] 펄라이트 가단주철 ····· 76
[그림 1-79] 구상흑연주철 ····· 77
[그림 1-80] 이온 질화 처리 분위기로 ····· 79
[그림 1-81] 발열형가스 변성 약도 ····· 83
[그림 1-82] 흡열형 변성가스 약도 ····· 84
[그림 1-83] 진공 열처리한 밸브 ····· 88
[그림 1-84] 고주파 열처리의 개요도 ····· 90
[그림 1-85] 산소·아세틸렌 가스 화염법 ····· 92
[그림 1-86] 침탄 표면 경화법 ····· 93
[그림 1-87] 침탄 조직 ····· 93
[그림 1-88] 액체 침탄법 ····· 94
[그림 1-89] 매크로 조직 시험의 일례 ····· 96
[그림 1-90] 입도번호(1~4) ····· 99
[그림 1-91] 입도번호(5~8) ····· 99
[그림 1-92] 표면조직(500배) ····· 100
[그림 1-93] 표면조직(200배) ····· 100
[그림 1-94] 표면조직(100배) ····· 100
[그림 1-95] 질화 ····· 103
[그림 1-96] 가스 연질화 개요도 ····· 104
[그림 1-97] 침탄과 질화의 비교도 ····· 104
[그림 1-98] 플라즈마 질화의 개요도 ····· 105
[그림 2-1] 열변형과 변태 변형의 발생 기구 ····· 113
[그림 2-2] 열전대 삽입의 예 ····· 115
[그림 2-3] 냉각 방식 ····· 118
[그림 2-4] 국부적인 냉각속도 조정 방식의 몇가지 실례 ····· 118
[그림 2-5] 각종 공구류의 급랭 방법 ····· 122
[그림 2-6] 각종 담금질 방법 1 ····· 123
[그림 2-7] 각종 담금질 방법 2 ····· 124
[그림 2-8] 드릴 공구의 가열 방법 ····· 125
[그림 2-9] 드릴 공구의 담금질 ····· 125
[그림 2-10] 드릴의 경사담금질 방법 ····· 126
[그림 2-11] 드릴의 굽힘 변형 고정 방법 ····· 126

[그림 2-12] 리머의 가열 방법 ····· 126
[그림 2-13] 리머의 수랭 방법 ····· 126
[그림 2-14] 탭의 가열 방법 ····· 126
[그림 2-15] 탭의 담금질 ····· 127
[그림 2-16] 탭, 리머의 수평회전담금질 ····· 127
[그림 2-17] 탭의 수랭 시 회전 방향 ····· 128
[그림 2-18] 브로치의 가열 방법 ····· 128
[그림 2-19] 앤드밀의 증풍 담금질 ····· 128
[그림 2-20] 브로치 굽힘 변형 교정 ····· 129
[그림 2-21] 앤드밀의 담금질 ····· 129
[그림 2-22] 앤드밀의 증풍 담금질 ····· 129
[그림 2-23] 둥근톱의 가열 방법 ····· 131
[그림 2-24] 둥근톱의 담금질 방법 ····· 131
[그림 2-25] 둥근톱의 프레스담금질(1) ····· 131
[그림 2-26] 둥근톱의 프레스담금질(2) ····· 131
[그림 2-27] 긴장 담금질 ····· 132
[그림 2-28] 강재의 표면온도 도달 후 중심부에 도달하기까지의 시간 ····· 135
[그림 2-29] 수냉시의 냉각단계 ····· 136
[그림 2-30] A2024의 열처리 작업선도 ····· 141
[그림 2-31] A7075의 열처리 작업선도 ····· 141
[그림 2-32] 질화 열처리 제어 시스템 계통도 ····· 142
[그림 2-33] KN 콘트롤러 적용 사례 ····· 143
[그림 2-34] H2 센서 ····· 143
[그림 2-35] KN 콘트롤러 ····· 144
[그림 3-1] 전기로 외관 ····· 148
[그림 3-2] 연소로(중유로와가스로) ····· 148
[그림 3-3] 가스 라디안트튜브 구조 ····· 148
[그림 3-4] 가스 풀림로구조 ····· 149
[그림 3-5] 무산화 광휘 열처리 제품 ····· 149
[그림 3-6] 무산화 광휘로 구조 ····· 149
[그림 3-7] ALL CASE로(다목적로) ····· 150
[그림 3-8] 피트로 ····· 150
[그림 3-9] 연속로 ····· 151
[그림 3-10] 진공열처리로 ····· 151
[그림 3-11] 진공열처리로의 구조 ····· 152
[그림 3-12] 진공 열처리품 외관 ····· 152
[그림 3-13] 고주파 유도 열처리 ····· 153
[그림 3-14] 고주파 유도 가열 원리 ····· 154

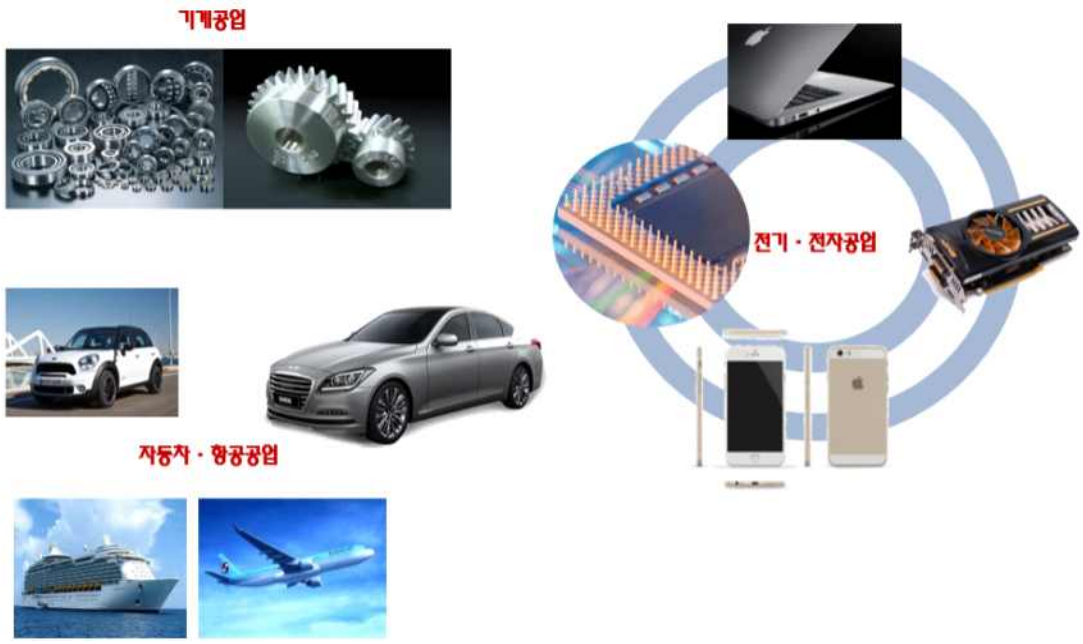
[그림 3-15] Endothermic(RX) Gas Generators ····· 155
[그림 3-16] 변성로 seasoning 곡선 ····· 156
[그림 3-17] 각종 촉매 ····· 157
[그림 3-18] 수랭 장치의 구조 ····· 161
[그림 3-19] 쿨러 내장의 담금질 탱크(프러펠러식) ····· 162
[그림 3-20] 고주파경화담금질에서 분사냉각 ····· 162
[그림 3-21] 분사 냉각 장치 ····· 163
[그림 3-22] 프레스 담금질 장치(베벨기어의 경우) ····· 164
[그림 3-23] 각종 발열체 ····· 165
[그림 3-24] 열전쌍회로와 접속 ····· 167
[그림 3-25] 열전대 ····· 167
[그림 3-26] 열전대의 종류 ····· 168
[그림 3-27] 각종 보호관 ····· 169
[그림 3-28] 열처리로의 자동온도제어의 예 ····· 170
[그림 3-29] 내화 단열벽돌 ····· 172
[그림 3-30] 고온용(1450℃) 내화, 단열 세라믹화이버 ····· 172
[그림 3-31] 산세정 장치 ····· 174
[그림 3-32] 트리클로에틸렌 증기 세정 장치 ····· 175
[그림 3-33] 전해 연마 ····· 176

# 제Ⅰ편 열처리 입문

# 제 1 장 열처리 기본 이론

## 1. 열처리란?[1)]

기계 요소와 절삭 공구, 작업 공구 및 지그 등에 사용되는 금속재료는 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 경도, 강도, 인성 등의 기계적 성질이 요구된다. 또 가공이 어려운 소재가 있거나, 용접, 가공 등에 의한 내부 응력이 남게 되는 경우가 있는데, 이러한 경우에도 가공을 쉽게 하거나 내부 응력을 제거하여야 한다. 이와 같이 필요한 기계적 성질을 얻기 위하여 또는 가공을 용이하게 하기 위하여 열을 이용하는 모든 조작을 열처리라 한다. 금속 재료는 화학 조성이나 가공 방법이 같더라도 가열후의 유지시간, 냉각 속도와 그 처리 방법을 달리하면 가열 전과는 다른 성질을 가지게 된다. 열처리를 알맞게 하면 가공 효율과 재질을 향상시킬 수 있다. 따라서 같은 금속이더라도 열처리 방법을 개선하면 보다 우수한 성질과 특성을 갖는 새로운 금속재료를 얻을 수가 있으며, 용도를 넓히면서 부가가치를 높일 수가 있다.




[그림 1-1] 열처리 기술의 최근 동향

1) NCS 분류번호 : 열처리 생산계획 파악 (1601030311_17v5)

[그림 1-2] 열처리 장면

[그림 1-3] 진공로

가. 금속 재료의 특성

1) 금속 재료에 요구되는 성질

금속 재료는 여러 가지 기계 또는 구조물의 구성 재료로 사용되므로, 그 구조나 기능에 알맞은 재료가 쓰여야 한다. 즉, 금속 재료는 각 부품이 제 기능을 발휘하는 데 필요한 강도와 물리, 화학적 성질은 물론, 바라는 모양과 치수로 가공하기 위한 가공성 및 제품 생산과 관련된 경제성 등이 우수하여야 한다. 금속 재료에 요구되는 일반적인 성질은 다음과 같다.

(가) 가공성 및 열처리성이 좋아야 한다.
(나) 소성, 주조성 및 표면 처리성이 좋아야 한다.
(다) 경량화가 가능하여야 한다.
(라) 안전성이 높아야 한다.
(마) 재료의 보급과 대량 생산이 가능하며, 값이 싸야 한다.

이 밖에 특수 조건에 알맞은 성질도 필요하다. 즉, 사용 조건이나 환경에 대하여 안전성, 내식성, 내산성 및 내열성, 그리고 인간 공학적 측면에서의 구조와 기능에도 알맞은 성질을 가지고 있어야 한다.

[그림 1-4] 각종 금속재료에 요구되는 성질

2) 외력에 대한 강도

기계나 구조물을 구성하고 있는 각 부품은 외부에서 가해지는 하중에 대여 파괴되거나 변형되는 일이 없이, 안전하속 재료로 만들어진 공구류에서는 내마멸성이 공구의 수명을 결정하는 중요한 요인이 된다. 내연 기관, 열간 가공기 등의 부품이나 절삭 공구, 열간 성형 공구 등은 고온에서 사용되므로, 열팽창계수, 열전도율 등의 열적 성질뿐만 아니라, 고온에서의 내식성, 내산화성, 강도 등 내열성이 우수한 재료를 사용해야 한다. 그리고 저온에서 사용되는 특수 기계나 화학 기계류는 저온에 견딜 수 있어야 한다. 이 밖에 산이나 알칼리 용액을 사용하는 화학 기계에는 각각의 사용 조건에 알맞은 내식성이 있는 재료를 사용해야 한다.

3) 가공성과 경제성

대부분의 기계 재료는 기계 가공에 의하여 필요한 모양과 게 그 기능을 충분히 발휘할 수 있는 강도를 가지고 있어야 한다.

4) 사용 조건과 환경에 대한 성질

금속 재료는 사용 조건이나 환경에 있어서도 그 부품의 기능을 충분히 발휘할 수 있는 특성을 가지고 있어야 한다.

기계에는 운동 전달 부분이 많으므로, 베어링 및 미끄럼 운동의 마찰 부분은 내마멸성이 있어야 한다. 또 금치수로 절삭 또는 소성 가공하여 사용하게 되므로 가공성이 좋아야 하며, 주조성, 용접성 등도 좋아야 한다. 또한 기계 재료에 필요한 조건으로는 경제성을 들 수 있다. 즉, 가격이 싸고 구하기 쉬운 것이어야 한다.

5) 외관성

다품종 소량 생산 체제에 대응하기 위해서는 제품의 외관성이 중요시되어야 한다. 즉 자동차, 냉장고, TV 등과 같이 아름다룬 외관이 중요시되는 제품은 그 특성에 알맞은 재료를 선택해야 한다.

나. 금속 재료와 열처리

금속 재료는 가열 온도, 가열 후의 유지시간, 냉각 속도와 방법 등의 열처리를 달리하면 조작 전과는 뚜렷하게 다른 성질의 재료로 변화시킬 수 있다. 이와 같이 금속 재료에 대하여 열처리 방법을 알맞게 하면 금속 재료에 필요한 여러 가지 성질로 변화시킬 수 있다. 따라서 열처리는 기계 제작 과정에서 매우 중요한 공정으로 많은 연구·개선이 이루어지고 있다. 여러 가지 금속 재료 중에서 특히 강은 열처리를 통하여 다양한 조직과 우수 한 기계적 성질을 얻을 수 있으므로 공업적으로 매우 중요시되고 널리 쓰여지고 있다.

즉, 철강 재료는 다른 금속에 비해 열처리 효과가 크고, 그 방법에 따라 여러 가지 성질의 것을 얻을 수 있다는 특징을 갖고 있다. 예를 들면 동일한 강재라도 기계가공을 용이하게 하려면 풀림(annealing)을 하고, 단단한 조직으로 하려면 담금질(quenching)을 하면 된다. 또 담금질이나 가공으로 경하고 메짐(brittleness)이 커지면

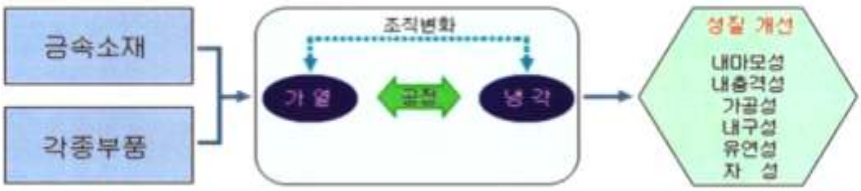
뜨임(tempering)으로 용도에 알맞는 성질로 변화시킬 수 있다.

[그림 1-5] 연속로 열처리

## 2. 열처리 목적과 방법[2)]

가. 열처리의 목적

변태와 석출이 일어나는 합금의 경우에는 냉각이 빨라지게 되면 그 조직이 평형 상태를 이루지 못하고 준안정 조직이 된다. 이는 평형 상태가 되기 위한 농도의 변화에 따라 일어난다. 합금 조직의 변화가 냉각 속도가 빠르게 되면 그 일부가 저지되어 평형 상태와 다른 조직이 되고 그 성질도 변하게 된다.




[그림 1-6] 열처리의 목적

열처리는 이상과 같은 합금의 열적 성질을 이용하여 고체합금의 성질을 목적에 따라 변화하려는 적극적인 의도를 갖고 있다. 즉, 금속과 관련되는 소정의 열, 시간 사이클에 따라 가열과 냉각 조작을 통한 금속의 질적 가공 방법이다. 여기에는 가열에 따라 금속 내에 일어나는 여러 가지 형상과 냉각에 의해 일어나는 안정·준안정의 여러 가지 변화를 응용하게 된다. 실제 이루어지고 있는 열처리의 주된 목적은 다음과 같이 요약할 수 있다.

2) NCS 분류번호 : 열처리 공정 관리 (1601030313_17v5)

1) 금속 재료로서 필요한 성질의 개선
 (가) 강도, 경도, 인성, 연성 등의 기계적 성질의 개선
 (나) 내마멸성의 개선과 내식성의 향상
 (다) 변형의 방지(경시변화, 잔류응력, 조직 변화 등)
2) 재료의 가공성 개선
 (가) 피삭성의 개선
 (나) 소성 가공성의 향상
3) 제조 공정으로서의 열처리
 (가) 흑연화 풀림과 수소 제거 풀림
 (나) 표면처리(화학처리: 시멘테이션)
 (다) 분말야금의 소결처리와 자석 재료 등의 열처리

나. 열처리 방법

열처리의 종류를 크게 나누면, 주조나 단조 후의 편석과 잔류 응력 등을 제거하고 균질화를 위한 노멀라이징(normalizing)과 연화를 위한 풀림(soft annealing) 및 경화를 위한 담금질(quenching), 그리고 담금질한 후 강인성을 주기 위한 뜨임(tempering) 처리 등으로 나눌 수 있다. 또, 표면은 내마멸성이 높고, 중심부는 내충격성이 큰 이중 조직을 가지는 표면경화(surface hardening)도 있다.

[그림 1-7] 진공 열처리 제품

| 읽을거리 <물들기 시작하는 온도는 600℃> |
| --- |
| 강이 가열로 화색이 돌기 시작하는 온도는 대략 600℃이다. 그 화색은 어두운 곳에서 약간 붉게 보일 정도이다. 600℃라고 하면 담금질강의 소르바이트화 온도도 되고, 또 고속도강의 뜨임 온도도 된다. 물들기 시작하는 온도가 600℃이므로 거꾸로 화색이 없어지는 소색 온도, 즉 냉각으로 검게 물들기 시작하는 온도는 약 550℃가 된다. 이 온도는 열처리에 있어서 중요하며, 담금질 온도에서 소색 온도까지를 임계구역이라고 한다. 이 온도 범위에서 빨리 냉각하는 열처리 조작을 담금질, 공냉하는 열처리 조작을 노멀라이징, 노냉하는 열처리 조작을 풀림이라 한다. |

## 3. 열처리 기초[3)]

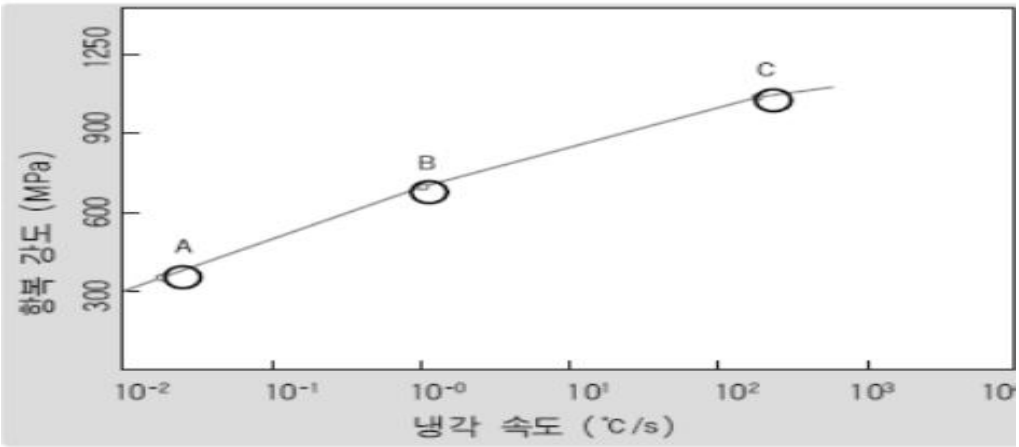
### 가. 강의 열처리 특성

탄소강이 기계 재료로 널리 사용되는 또 하나의 이유는 열처리에 의해서 그 기계적 성질을 매우 다양하게 변화시킬 수 있기 때문이다. 즉, 다른 금속 재료에 비해서 열처리 효과가 매우 낮기 때문에 그 응용 범위가 매우 넓다.

[그림 1-8]은 Fe-0.8%강을 900℃에서부터 냉각시킬 때 냉각 속도에 따른 항복 강도의 변화를 나타낸 것으로, 냉각 속도가 증가됨에 따라 항복 강도가 급격하게 증가된다는 사실을 알 수 있다.

즉, 세 개의 시료를 동일한 탄소량을 함유하고 있는 A, B, C를 열처리하였을 때 냉각 속도에 따라서 기계적 성질이 변화된다는 것을 보여주고 있다. 이와 같이 냉각 속도에 따라 강도가 증가되는 이유는 강의 내부 조직이 변화되기 때문인데, 실제로 모든 금속 재료의 기계적 성질은 그 금속 재료의 내부 구조에 따라 다르게 나타나는데, 이때의 내부 구조를 흔히 현미경 조직(microstructure)이라고 한다.

### 나. 강의 열처리 특성




[그림 1-8] 900℃로 가열시킨 Fe-0.8% C강의 냉각 속도에 따르는 항복 강도의 변화

#### 1) 가열 방법

가열 방법에는 가열 온도와 속도가 열처리의 중요한 인자로서 작용하게 되는데, 가열 온도는 변태점 이상과 이하에서 열처리 결과가 달라진다. 즉, 변태점 이상으로 가열하는 것을 풀림, 노멀라이징, 담금질이며, 변태점 이하로 가열하는 것을 뜨임 처리이다.

가열 속도는 늦은 경우와 빠른 경우가 있는데 서서히 가열하는 것이 전통적인 방

3) NCS 분류번호 : 열처리 공정 관리 (1601030313_17v5)

법이다. 급속한 가열은 새로운 방법으로, 현재 풀림과 고주파 담금질, 화염 담금질 등에 사용되고 있다.

2) 냉각 방법

가열 방법 뿐 아니라 냉각 방법에 의해서도 열처리 결과가 달라진다. 냉각법에는 [표 1-1]과 같이 두 가지 규칙이 있다.

즉 필요한 온도 범위와 필요한 냉각 속도로 냉각시키는 방법이다. 필요한 온도 범위에는 두 가지 종류가 있다. 열처리 온도부터 화색이 없어지는 온도(약 550℃)까지의 범위와 약 250℃ 이하의 온도 범위이다. 약 550℃까지의 범위는 담금질 효과에 정도를 결정하는 정점 온도 범위로서 임계구역이라고도 한다. 즉, 이 구역을 빨리 냉각시키면 강은 경화되고 늦게 냉각되면 경화되지 않는다. 250℃이하인 Ar"범위는 담금질 처리의 경우에만 필요한 온도 범위이며, 여기에서 담금질 균열이 나타날 수 있으므로 이를 위험 구역이라 한다. 따라서 냉각은 신중히 이루어지도록 하여야 하는데, '필요한 냉각 속도로 냉각시킨다' 란 풀림은 서서히(노냉), 노멀라이징은 약간 빨리(공냉), 담금질에서는 빨리 (수냉, 유냉) 냉각시키는 것을 의미한다.

[표 1-1] 냉각 방법의 요령

| 처리 | 필요한 온도 범의 | 필요한 냉각 속도 |
|---|---|---|
| 풀림 | 550℃가지(Ar′)<br>그 이하의 온도 | 극히 서서히<br>공냉으로도 가능 |
| 노멀라이징 | 550℃가지(Ar′)<br>그 이하의 온도 | 방냉(공기중)<br>서서히 |
| 담금질 | 550℃가지(Ar′)<br>250℃ 이하(Ar ", Ms) | 빨리<br>서서히 |
| 뜨임 | 뜨임 온도부터(탬퍼링 연화)<br>뜨임 온도부터 | 급냉<br>서서히 |

3) 냉각 방법의 3형식

열처리의 냉각 방법에는 [표1-2]와 같이 3가지 형식이 있다.

[표 1-2] 냉각 방법의 3형식

| 냉각 방법 | 열처리의 종류 |
|---|---|
| 연속냉각<br>2 단냉각<br>항온냉각 | 보통 플림, 보통풀림, 보통 담금질<br>2단 풀림, 2단 뜨임, 인상 담금질<br>항온풀림, 항온뜨임, 오스템퍼링, 마템퍼링, 마퀜칭 |

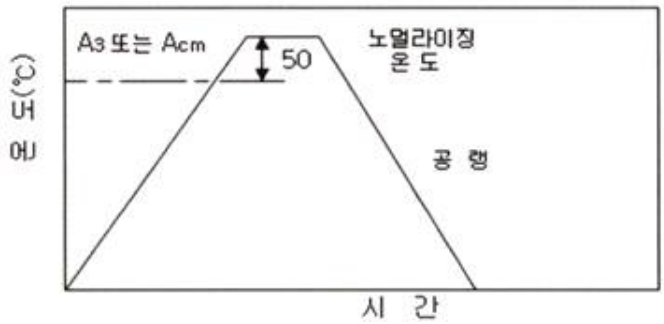
(가) 연속냉각(C.C:continuous cooling)

완전히 냉각될 때까지 계속하는 방법으로 가장 일반적이고 초보적 방식이다.

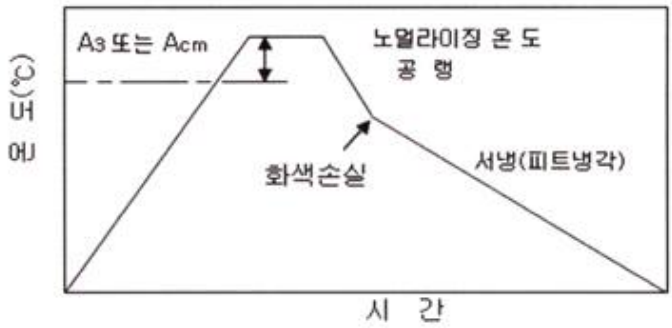
[그림 1-9]는 연속 냉각의 열처리 방식을 나타낸 것으로 보통 풀림, 보통 노멀라이징, 보통 담금질을 할 때 적용된다.

(나) 2단 냉각(S.C:step cooling)

냉각 도중에 냉각 속도를 변화시키는 방법으로 현장에서 널리 응용되고 있다. 단 풀림, 2단 노멀라이징, 인상 담금질 등을 할 때 적용되며, 변태 속도는 [그림 1-10]과 같이 Ar′ 점과 Ar″ 점이 기준이다.



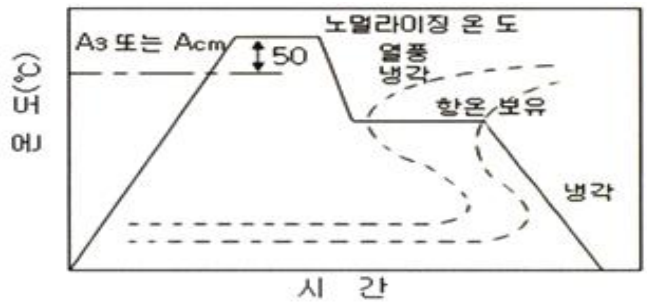

[그림1-9] 연속 냉각에 의한 열처리




[그림 1-10] 2단 냉각에 의한 열처리

(다) 항온 냉각(I.C:isothermal coo-ling)

냉각제에 열욕을 사용하여 항온 유지 후 냉각하는 방법으로 새로운 열처리 기술은 항온 냉각에서 이루어진다. [그림 1-11]은 항온 냉각에 의한 열처리 공정의 보기이다.




[그림 1-11] 항온 냉각에 의한 열처리

## 4. 열처리 기초 이론[4)]

### 가. 금속의 결정 격자

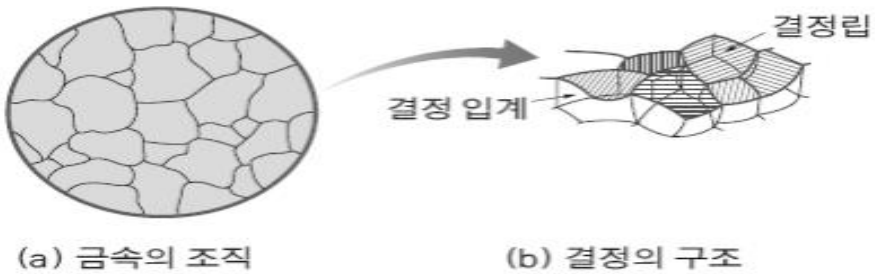
금속에는 철(Fe), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 금(Au), 은(Ag) 등이 있는데, 현재 대부분의 기계 재료는 2종 이상의 순금속(pure metal)으로 이루어진 합금(alloy)을 사용하고 있다. 그리고 강도, 경도 등과 같은 기계적 설질은 금속의 내부 조직에 따라서 달라진다.

[그림 1-12]의 (a)는 순금속의 조직을 나타낸 것으로서, 대부분의 금속은 망상의 경계선으로 구분된 조각들의 집합체라고 할 수 있다. 이러한 하나하나의 조작들을 결정 입자(crystal geain)라 하고, 결정 입자를 구분하는 경계선을 결정 경계(crystal boundary)라고 한다. 다시 그 하나하나의 결정 입자 내부를 조사해 보면, 원자들이 공간적으로 규칙적이며, 연속적으로 배열되어 있다.

[그림 1-12]의 (b)는 이것을 나타낸 것으로서, 하나의 결정 입자 내에 무수한 금속 원자가 상하, 좌우, 전후로 일정하게 간격을 유지하면서 배열된 원자군을 이루고 있는데, 이것을 결정 격자(crystal lattice)라고 한다.

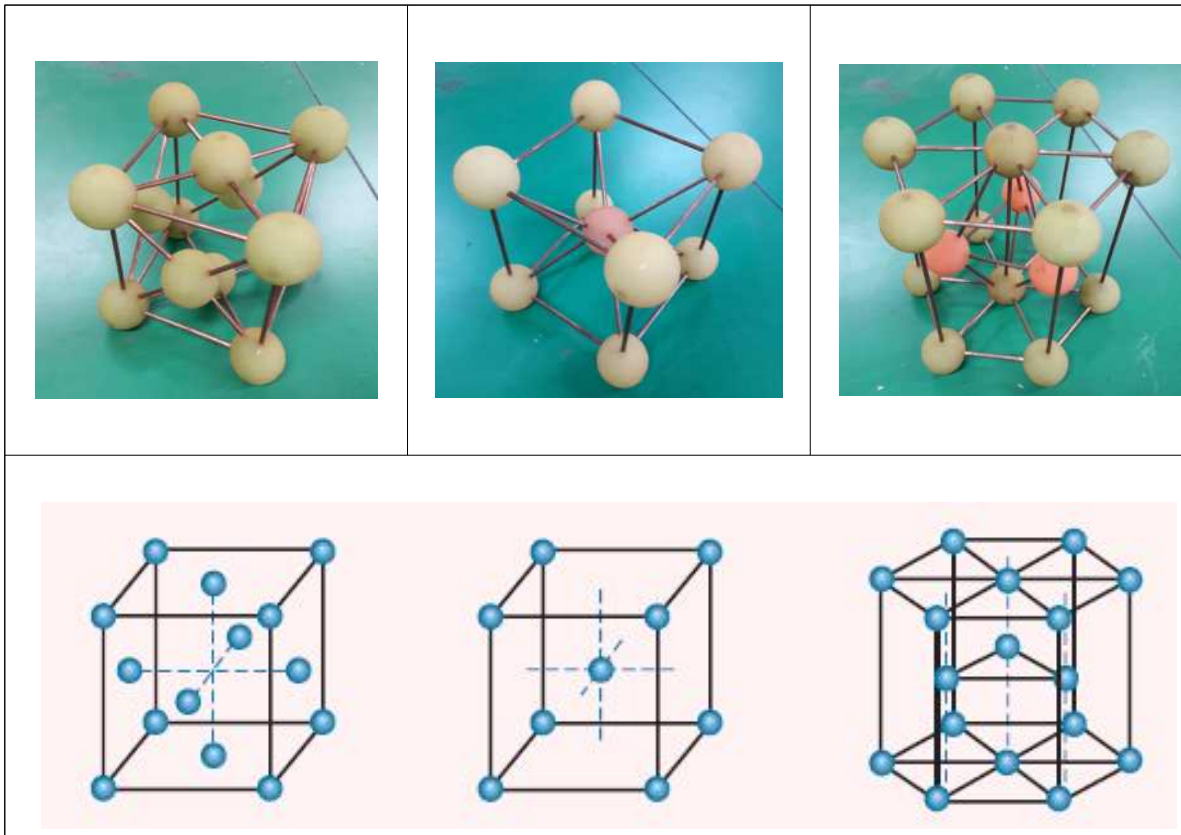
금속의 결정 격자는 입방정계, 정방정 및 육방정계의 세 종류로 나눌 수 있는데, 인듐(In), 주석(Sn) 등과 같이 몇개의 비금속에 가까운 특수한 원소를 제외하면 대부분 체심 입방 격자(body-cented cubic lattice), 면심 입방 격자(face-centered cubic lattice), 조밀 육방 격자(hexagonal close-packed lattice)이다.

[그림 1-13]은 이 세가지 결정 격자의 구조를 나타낸 것으로서, [그림 1-13]의 (a)는 면심 입방 격자로, 원자가 격자의 각 꼭지점과 각 면의 중심에 존재한다. 이 종류의 격자를 가진 금속은 비교적 연성(ductility), 전성(malleability)이 우수하다. [그림 1-13]의 (b)는 체심 입방 격자이며, 원자가 격자의 중심과 각 꼭지점에 존재한다. 이 종류의 격자를 가진 금속은 비교적 연성과 전성이 좋지 못하다. [그림 1-13]의 (C)는 조밀 육방 격자의 구조이다. 이들 격자는 원자가 정육각 기둥의 각 꼭지점과 상하면의 중심과 하나씩 걸러 정삼각기둥의 중심에 존재한다. 금속은 결정격자의 구조에 따라 성질이 달라지는데, 이를 요약하면 다음과 같다.




[그림 1-12] 금속의 조직과 구조

4) NCS 분류번호 : 열처리 공정 관리 (1601030313_17v5)



| (a) 면심 입방 격자 모형 | (b) 체심 입방 격자 모형 | (c)조밀 육방 격자 모형 |
|---|---|---|

[그림 1-13] 주요한 결정 격자 구조

(가) 면심 입방 격자를 가진 금속은 비교적 연성과 전성이 우수하다.
(나) 체심 입방 격자를 가진 금속은 비교적 연성과 전성이 좋지 못하다.
(다) 조밀 육방 격자를 가진 금속은 전성은 우수하나, 연성이 좋지 못한 것이 많다.

나. 열처리와 변태

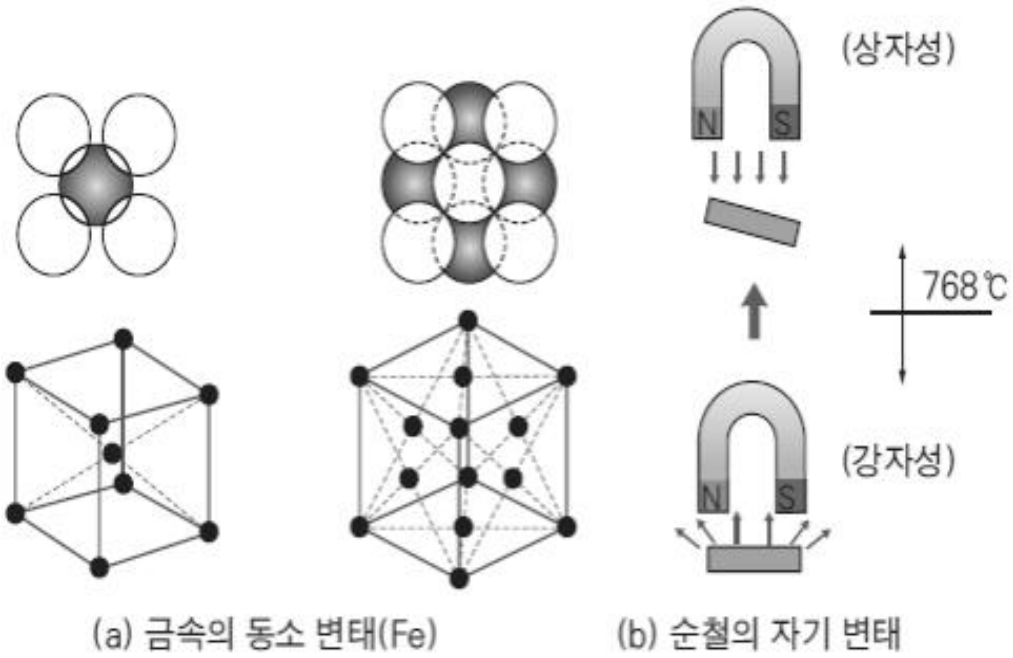
온도가 높아짐에 따라 고체가 액체나 기체로 변화하는 것은 대부분의 금속 원소에서 볼 수 있는 상태의 변화이다. 그러나 같은 성분의 금속이라도 고체 상태에서 하나 이상의 결정 구조를 가지게 되는데, 이러한 결정 구조는 온도 또는 압력의 변화에 의하여 달라진다.

이와 같이, 같은 물질이 한 결정 구조에서 다른 결정 구조로 그 상이 변하는 것을 변태(transformation)라 하며, 변태가 일어나는 온도를 변태점(transformation point)이라 한다. 열처리는 금속의 결정 구조가 변하는 변태 현상, 즉 상이 변하는 현상을 유효하게 이용한 것이라고 할 수 있다. 변태를 넓은 의미로 해석하면, 액상이 기상으로 변화는 기화, 액상이 고상으로 변하는 응고 등도 모두 변태라고 할 수 있으나, 열처

리의 변태라고 하면 고체 상태에서의 상변화를 의미한다.

1) 동소 변태

탄소는 화합 탄소와 흑연의 두 상태로 존재한다. 이와 같이 동일한 원소가 원자 배열이나 결합 방식이 서로 다른 상태로 존재할 때 이 두 고체를 동소체(allotropy)라 하며, 이들 상호간의 변화에 따라 나타나는 현상을 동소 변태(allotropic transformation) 또는 격자 변태(lattice transformation)라 한다. [표 1-3]은 순금속의 동소 변태를 나타낸 것이다. 동소 변태에 있어서 가장 기본적인 것은 결정 격자의 변화이다. 예를 들면, 철은 상온에서 체심 입방 격자이나, 910℃ 이상에서는 면심 입방 격자로, 1,400℃ 이상에서는 도로 체심이방 격자로 된다. 이와 같이, 온도 변화에 의해서 일어나는 동소 변태가 있는 반면에, 세륨(Ce), 비스무트(Bi) 등은 같은 온도에서 압력에 의해서도 동소 변태가 일어난다. 변태를 하는 금속은 열처리에 유리하며, 철강재료가 공업적으로 가장 많이 사용되고 있는 이유중에는 변태를 하고 있는 금속으로, 열처리 효과가 크기 때문이다. 동소 변태는 고체 상태에서 결정 격자의 변화를 일으키므로, 체적 팽창이나 수축을 보일 수 있고, 또 금속의 기계적 성질이나 물리적 성질에도 별화를 줄 수 있다. [그림 1-14]의 (a)는 금속의 동소 변태를 나타낸 것이다.




[그림 1-14] 금속의 변태

[표 1-3] 순금속의 동소 변태

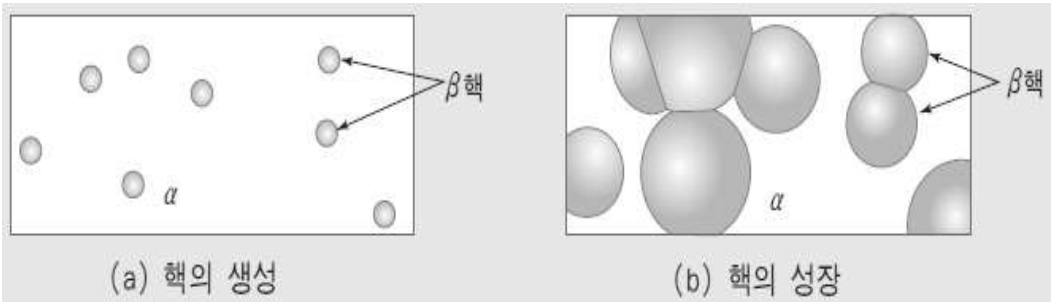
| 동소체 수 | 금속 | 온도(℃) | 결정형 |
|---|---|---|---|
| 4 | Mn | <680<br>680 ~ 1,100<br>1,100 ~ 1,140<br>>1,140 | α-Mn 형 입방정<br>β-Mn형 입방정<br>명심 정방정<br>면심 입방정 |
| 3 | Fe | <910<br>910 ~ 1,400<br>>1,400 | 체심 입방정<br>면심 입방정<br>체심 입방정 |
| | U | <640<br>640 ~ 760<br>>760 | 사방정<br>입방정<br>체심 입방정 |
| 2 | Ca | <450<br>>450 | 면심 입장정<br>조밀 육방정 |
| | Ce | 저온<br>고온 | 조밀 육방정<br>면심 입방정 |
| | Co | <430<br>>430 | 조밀 육방정<br>면심 입방정 |
| | Cr | <800<br>>800 | 조밀 육방정<br>체심 입방정 |
| | La | 저온<br>고온 | 조밀 육방정<br>면심 입방정 |
| | Li | 저온(-190)<br>고온 | 조밀 육방정<br>면심 입방정 |
| | Sc | 저온<br>고온 | 조밀 육방정<br>면심 입방정 |
| | Sn | <13<br>>13 | 다이아몬드형 입방정<br>체심 정방정 |
| | Ti | <880<br>>880 | 조밀 육방정<br>체심 입방정 |
| | Tl | <230<br>>230 | 조밀 육방정<br>면심 입방정 |
| | Zr | <860<br>>860 | 조밀 입방정<br>체심 입방정 |

2) 자기 변태

철(Fe), 코발트(Co), 니켈(Ni) 등과 같은 강자성체 금속을 가열하면, 어느 일정한 온도 이상에서 금속의 결정 구조는 변하지 않으나 자성을 잃어 상자성체로 변하는데, 이와 같이 원자 배열은 변화하지 않고, 강자성(ferromagnetism)으로부터 상자성(paramagnetism)으로 자기적 성질만이 변화하는 변태를 자기 변태(magnetic transformation)라 한다. 따라서, 자기 변태는 결정 격자의 변화가 아닌 단순한 물리적 변화이다. 예를 들면, 순철의 경우에 [그림 1-14]의 (b)와 같이 768℃ 이하에서는 강자성을 나타내어 자석을 가까이 대면 붙기 쉬우나, 768℃ 이상에서는 상자성을 나타내어 자석을 가까이 하여도 잘 붙지 않는다. 이 온도 768℃를 순철의 자기 변태점

이라고 한다. 동소 변태와 자기 변태는 금속 내부에서 생기는 변태이므로, 변태점을 경계로 하여 성질이 변화한다. 동소 변태에서는 성질 변화가 일정한 온도에서 급격히 비연속으로 일어나지만, 자기 변태에서는 일정한 온도의 범위안에서 점진적이고, 연속적인 변화가 일어난다. 이상과 같은 동소 변태와 자기 변태는 순금속에서 나타나는 현상인데 반하여, 만일 2개 이상의 순금속으로 이루어진 합금이 되면 고체 상태에서의 변태는 매우 다양해진다. 따라서, 여러 가지 열처리를 통하여 다양한 성질을 얻을 수가 있다.

다. 핵생성과 성장




[그림 1-15] α기지에서 β상의 핵생성과 성장

금속은 크게 나누어서 핵발생 성장 반응과 마아텐자이트 반응 기구에 의해서 변태가 일어나는데, 일반적인 핵생성은 [그림 1-15]에서와 같이, 기지인 $\alpha$로부터 고상인 $\beta$가 생성됨으로써 $\alpha$와 $\beta$ 사이에 계면이 생성된다. 열처리에 관계되는 현상은 대부분이 고상의 변화이므로 고체중의 핵발생 및 성장이 중요하다.

라. 합금의 조직

2개 이상의 순금속을 함께 용융시키면 서로 완전히 용해되어 균일한 액체가 된다. 이것을 응고시켜서 만들어진 것이 합금이며, 합금을 이루는 성분 금속의 수에 의해서 이원 합금(binary alloy) 또는 삼원 합금(ternary alloy)이라 한다. 합금으로 만들면 순금속에서는 볼 수 없는 특별한 성질이 얻어지므로, 재질을 여러 가지로 개선할 수가 있다.

합금 조직에는 응고시 성분 금속 원자의 혼합 형태에 따라 여러 가지로 분류될 수가 있는데, 그 중에서도 고용체(solid solution), 공정 조직(eutectic structure), 그리고 금속간 화합물(intermetallic compound)이 있다.

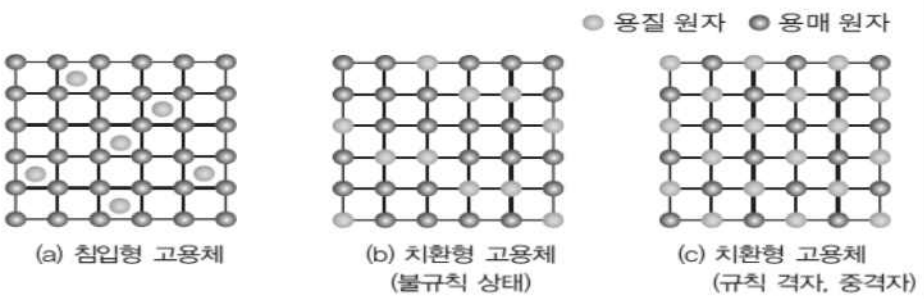
1) 고용체

2개 이상의 원소로 된 단상의 고체에서 하나의 성분 원소가 다른 원소에 고용된

것을 고용체(solid solution)라고 한다. 실제로 사용되는 대부분의 금속이 고용체이며, 하나의 금속 결정 격자 중에 다성분의 금속 원자가 녹아 들어가는 방법에는 침입형과 치환형이 있다. [그림 1-16]의 (a)는 녹아 들어가는 원자, 즉 용질 원자(soluteatom)가 모체의 원자, 즉 용매 원자(solvent atom)의 결정 격자 사이에 들어가는 침입형 고용체 (intersitial solid solution)를, [그림 1-16]의 (b)는 용질 원자가 격자점에 있는 용매 원자와 불규칙적으로 치환된 치환형 고용체(substutional solid solution)를 나타낸 것이다. 침입형 고용체의 대표적인 것에는 면심 입방 격자의 γ철 중에 탄소 원자가 녹은 고용체, 즉 오스테나이트(austenite)이며, 강의 중요한 상의 하나이다. 또, 치환형 고용체에는 Ag-Cu, Cu-Zn(30% Zn까지)합금 등이 있다.

고용체는 어느 경우를 막론하고 용질 원자의 배열이 불규칙적이나, [그림 1-16]의 (c)와 같이 규칙적으로 배열하고 있는 것을 규칙 격자(superlattice)라고 한다. 규칙 격자를 만드는 합금도 고온에 있어서는 불규칙적인 원자 배열 상태가 된다. 따라서, 어느 임계 온도를 경계로 하여 그 온도보다 낮은 온도에서 규칙 격자형 고용체가 되는 것이다.

높은 온도에서 불규칙하게 배열되어 있던 원자를 임계 온도 이하에서의 규칙적인 배열로 바꾸기 위해서는 원자의 이동을 필요로 한다. 이 때문에 규칙 격자형 고용체를 만들기 위해서는 아주 천천히 냉각하거나 임계 온도보다 조금 낮은 온도로 장시간 가열하여야 한다. 이와 같이 하여, 규칙 격자형 고용체가 되면 강도, 경도 등이 높아진다. 규칙 격자형 고용체에는 Cu3Au, Ni3Fe, Fe3Al 등이 있다.




[그림 1-16] 고용체의 공간 격자의 종류

2) 공정 조직

2개의 성분 금속이 용융 상태에서는 균일한 용액으로 되나, 응고된 후에는 서 로 용해되지 않고 성분 금속이 각각 결정이 된어 분리되며, 혼합물로서 공존하는 경우이다. 이와 같은 조직을 공정 조직(eutectic structure)이라 한다.

공정 조직이 나타나는 합금은 그 성분 금속의 비율이 어느 특정 비율일 때에 한해서만 나타난다. 이 특정 비율을 공정 조성(eutectic composition)이라 한다. 그때의 온도를 공정 온도 (eutectictemperature)라 한다.

공정 조직은 미세한 층상 또는 입상 조직을 형성하므로 현미경으로 보면 쉽게 구별할 수 있다.

3) 금속간 화합물

금속간 화합물(intermetallic compound)은 두 가지 성분 금속의 원자비가 AmBn과 같이 비교적 간단한 정수비를 이루고 있으며, 한쪽 성분 금속의 원자가 공간 격자 내에서 정해진 위치를 차지하고 있는 합금으로서, 원자 배열이 항상 일정하게 되어 있는 경우를 말한다. 이 합금은 두 가지 성분 금속 원자의 결합력이 크므로 고용체나 공정 합금에 비하여 한층 단단하고 메진 성질을 갖고 있다. 금속간 화합물에는 Fe3C, Cu4Sn, Cu3Sn, CuAl2, MgSi, MgZn2 등이 있는데, 이러한 금속간 화합물은 열처리할 때 상당히 중요한 역할을 하게 된다.

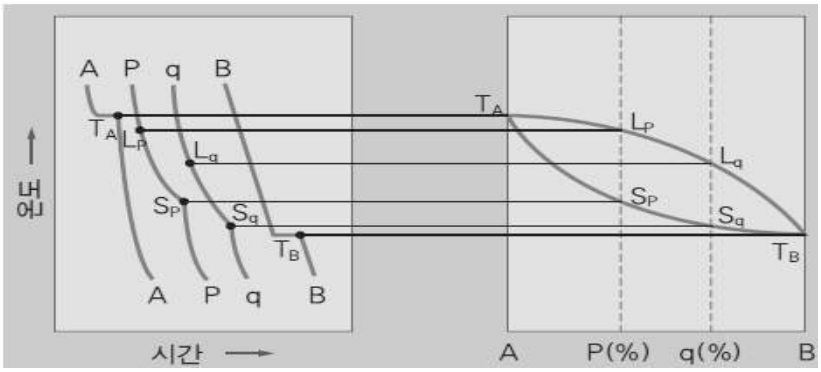
4) 합금의 응고와 상태도와의 관계

순금속의 응고는 일정한 온도에서 이루어지는 데 반하여, 합금의 경우는 일반적으로 어떤 온도 구간 사이에서 이루어진다. [그림 1-17]의 (a)는 A금속의 열분석 곡선과 A 금속에 B 금속을 합금한 2개의 열분석 곡선 및 B금속의 열분석 곡선을 나타낸 것이다.

A, B의 순금속은 온도 $T_A$와 $T_B$에서 응고가 시작된다. A 금속 중 P(%)의 B금속을 합금한 경우에는 $L_p$ 및 $S_p$의 두 점에서 꺾인 점이 나타나는데, 이 합금은 $L_p$ 온도에서 응고가 시작되어 $S_p$ 온도에서 응고가 완료됨을 나타내고 있다.

또, A 금속 중에 $q$(%)의 B금속을 합금한 것은 꺾인 점이 $L_q$와 $S_q$의 두 점에서 일어난다. A, B 금속 및 여러 가지 비율의 두 합금에 대하여 위의 $L_p$, $S_p$ 와 같은 점을 구하고, 이것을 합금의 농도와 대응하는 점에 그림으로 나타내면, [그림 1-17]의 (b)와 같이 2개의 곡선 $T_A L_p L_q T_B$ 와 $T_A S_p S_q T_B$ 를 얻을 수 있다. 이들 2개의 곡선 중 고온 쪽에 있는 것을 액상선(liquidus line), 저온쪽에 있는 것을 고상선(solidus line)이라 한다.

또, 이들 A, B 두 성분의 합금은 액상선 보다 위의 온도에서는 모두 액체이고, 고상선 이하에서는 모두 고체이다. 그리고 액상선과 고상선 사이에서는 액체와 고체의 두 상이 공존하고 있음을 나타내는데, 이와 같은 선도를 상태도 (constutional diagram)라 한다.



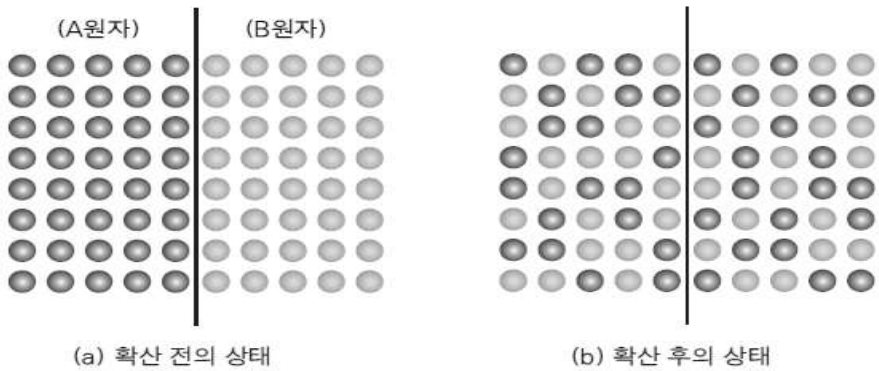

(a) 열분석 곡선 (b) A, B 2원 합금의 상태도

[그림 1-17] 합금의 열분석 곡선과 상태도의 관계

마. 확산과 시효

1) 확산

용기에 들어있는 물에 염료를 떨어뜨렸을 때 염료가 점차로 번지고 시간이 흐르게 되면 전체가 고른 색상으로 변하게 되는데, 이것은 염료가 물 중에 확산되기 때문이다.




[그림 1-18] 금속확산의 과정

이와 같은 현상은 기체도 마찬가지로 잘 볼 수 있으나 고체의 경우에는 볼 수는 없으나 고온에서는 고체 내부에서도 같은 형상이 일어나게 되는데, 이러한 원자의 이동을 확산(diffusion)이라 한다. 이와 같이 고체 금속의 성분 농도가 변하게 되면 고체 내에 확산이 일어나게 된다. 고용체 내의 확산은 원자가 결정격자 중으로 이동하하는 현상으로, 용매원자의 공간격자 중 용질원자가 이동하게 된다. 금속확산의 과정을 도식화하면 [그림 1-18]과 같이 A, B 두 종류의 금속을 접속시켜서 가열하면 A금속 중에 B금속이, 또, B금속 중에 A금속이 들어가서 점차 같은 농도분포가되는 변화가 일어난다.

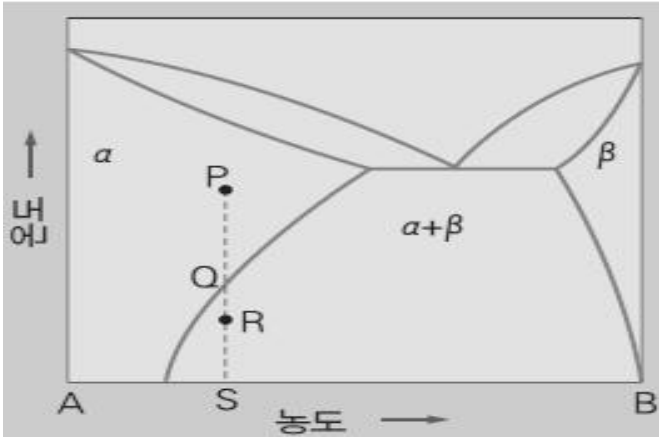
금속의 확산에는 침탄(浸炭), 질화(窒化)와 같이 철(Fe)중에 탄소(C) 또는 질소(N)의 원자를 침입시켜 한쪽으로만 확산하는 단일확산과 금(Au)과 구리(Cu)를 접촉시키고 가열한 경우와 같이 접촉부분에서 원자 위치를 상호 치환하여 확산하는 상호확산(mutual diffusion), 그리고 Pb과 같이 동일 금속내의 원자가 서로 그 위치를 치환하는 (자기확산:self-diffusion)등이 있다.

2) 시효

실용 재료의 열처리 중에서 가장 중요한 것의 하나로서 시효(aging)가 있다. 이것은 과포 화 고용체로 부터 다른 상이 석출하는 현상을 이용해서 금속 재료의 강도 및 그 밖의 성질을 변화시키는 처리이다. 비철 금속 재료를 강화시키는 전형적인 열처리는 이 시효에 의해서 이루어진다.

예를 들면, 듀랄루민은 시효 경화 재료의 대표적인 것이며, Cu-Be 합금이 스프링 재료로서 우수한 성질을 나타내는 것도 시효 처리에 의한 것이다. 과포화 고용체의

석출 시효 처리가 가능하기 위해서는 [그림 1-19]에서와 같이 용해도가 온도에 따라 크게 변화하는 것이 필요하다.




[그림 1-19] 용체화처리 및 시효 처리

그림에서, 점 P의 고용체는 냉각하면 Q까지는 같은 α상이다. 시효 처리를 하기 위해서 우선 점 P에서 평형에 도달하도록 충분히 가열하여 균일한 고용체로 만드는 조작을 용체화 처리라 한다.

이 합금을 서냉하면 점Q 이하에서는 α상은 B에 대하여 과 포화되므로 β상이 석출된다. 그러나, 이 합금을 급랭하면 β가 석출될 사이도 없이 과포화로 B를 고용한 채 상온인 점S까지 내려오게 된다. 이와 같이 해서 점S까지 담금질하여 과 포화된 고용체는 불안정한 상태이므로, 적당한 온도로 가열해서 원자를 이동시키면 β상을 석출시켜 안정한 평형 상태로 된다.

즉, 과포화 α→포화α + β 이다. 이 과정을 시효라 하며, 전형적인 핵발생 성장 기구이다. 이 반응이 일어나기 위해서는 온도 변화에 따라 용해도가 달라져야 한다. 석출상의 양은 용질 원자인 B 함량이 많은 고용체일수록 많으며, 시효 온도가 낮을수록 많다. 이 정도를 나태내는 것을 과포화도라 한다. 또, β상의 석출 속도는 온도가 높으면 빠르고 온도가 낮으면 늦다. 고온에서 시효하면 작은 입자는 재용해하고, 큰 입자는 성장하여 전체적으로 매우 조대한 석출물이 분포하게 된다. 이 상태에서는 재료의 강도는 떨어지며 연화한다. 이 현상을 과시효라고 한다.

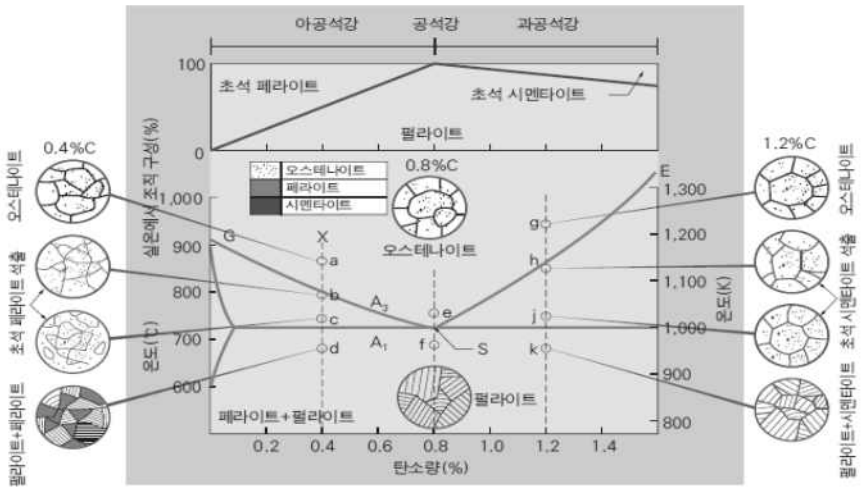
석출상의 크기는 핵발생 원칙에 따르며, 어느 임계값보다 큰 핵은 성장하고 이것보다 작은 핵은 소멸된다, 이 핵이 성장하기 위하여 넘어야 할 산등성이(Saddle point)활성화 에너지는 과포화도 또는 과냉도에 의존한다.

## 5. 강(鋼)의 변태[5)]

[그림 1-20]은 Fe-Fe3C 상태도의 일부로서, 강의 변태와 조직을 설명하는데 필요한 부분을 나타낸 것이다. 0.8%C를 함유하는 조성의 탄소강(S점)은 723℃ 이하로 냉각할 때, 오스테나이트가 페라이트와 시멘타이트로 분해되는 공석 반응(eutectoid reaction)을 일으키므로 공석강(eutectoid steel)이라고 하며, 이 반응이 일어나는 온도를 A1선이라고 부른다.

또한, 공석 반응에 의한 변태를 공석 변태, 펄라이트 변태, 또는 A1 변태라고 부른다. 한편, 0.8%C 이하의 탄소강을 아공석강(hypo-eutectoid steel)이라고 하는데, 공업적으로 생산되는 대부분의 강은 아공석강이다. 순철이 γ철로 변태하는 온도는 910℃(Ac3점)이지만, 아공석강이 γ오스테나이트 단상으로 변태하는 온도는 GS선 이상으므로 이 GS선을 $A_3$선이라 한다. 또, 0.8%C 이상의 탄소강을 과공석강(hyper-eutectoid steel)이라고 부르는데, 과공석강에서는 SE선 이상으로 가열될 때 단상의 오스테나이트로 변태하므로, 이 SE선을 Acm선이라고 부른다. 과공석강의 탄소 함유량은 0.8~2.0%C 범위이지만, 공업적으로 생산되는 과공석강은 대부분이 0.8~1.2% C 범위의 탄소량을 가지고 있다. 탄소량이 1.2%이상이면 강의 성질이 매우 취약해지므로 거의 사용되지 않고 있다.

Fe-Fe3C 상태도 서냉이라 함은 평형 냉각에 가까운 냉각 속도를 말하는 것으로서, 실제적인 열처리에서는 얻을 수도 없는 냉각 속도이지만, Fe-Fe3C 상태도를 통하여 평형 냉각시의 미세 조직 변화와 연속 냉각 변태의 기초를 이해하는 데 도움이 될 수 있다.




[그림 1-20] Fe-Fe3C계 평형 상태도와 변태 조직도

5) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징 열처리 (1601030315_17v5)

가. 공석 변태

[그림 1-20]의 상태도에서와 같이 0.8% 탄소강을 723℃ 이하로 서냉하거나 이 온도 바로 아래에서 장시간 유지하면 공석 변태에 의하여 하나의 고상인 오스테나이트가 2개의 다른 고상인 페라이트와 시멘타이트로 변태한다. 즉,

$$\text{오스테나이트} \underset{\text{가열}}{\overset{\text{냉각}}{\rightleftharpoons}} \text{페라이트} + \text{시멘타이트}$$

이와 같이 강의 공석 변태에 의해서 나타나는 조직은 페라이트와 시멘타이트의 혼합 조직인데, 이것을 펄라이트(pearlite)라고 한다.

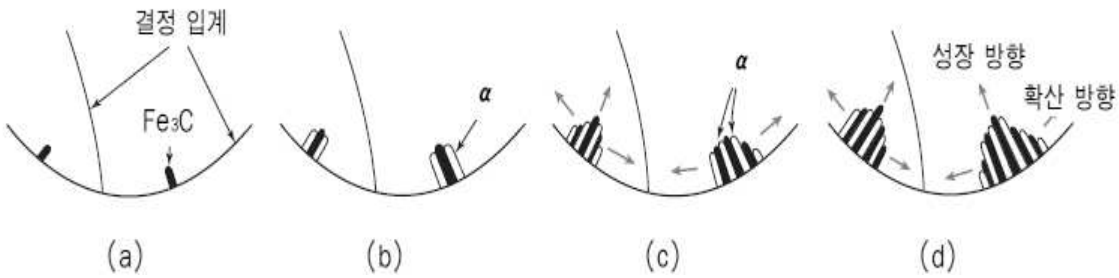
α와 시멘타이트가 생성되는 과정은 [그림 1-21]과 같이 도식화할 수 있다.

(가)A1변태점에 달하면 γ철의 결정입계에 시멘타이트의 핵을 생성한다.([그림 1-21](a))

(나)시멘타이트는 γ철보다 탄소를 많이 함유함으로, 이 핵의 성장에 따라 그 주위의 γ철로부터 탄소원자가 확산하게 되어 여기서 탄소가 적어진 부분은 그 주위에 α철로 변태하여 생긴다.([그림 1-21] (b))

(다) α철이 생긴 입계에 새로운 시멘타이트 핵이 생성된다.([그림 1-21] (c))

(라) 생성된 시멘타이트와 α철은 입계로부터 오스테나이트의 안쪽으로 세로 방향(edge wise)과 나비 방향(side wise)으로 성장, 확산된다.([그림 1-21] (d))



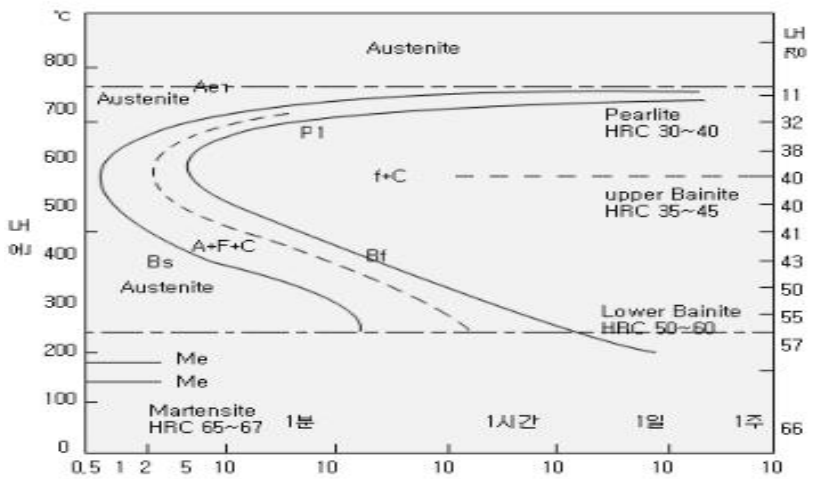

[그림 1-21] 펄라이트의 생성과정

위와 같은 기구로 여러 곳에서 핵으로 생성된 Fe3C의 얇은 편을 기점으로 하여 발달된 펄라이트가 전체적으로 확산되어 Fe3C와 α철이 서로 층을 이루면서 발달하여 펄라이트 변태를 완료하게 된다. 이와 같은 펄라이트의 형성에는 핵의 생성과 그 성장 과정이 포함된다.

나. 항온 변태

강을 오스테나이트 상태로부터 Ac1 변태점 이하의 어떤 일정한 온도로 유지되는

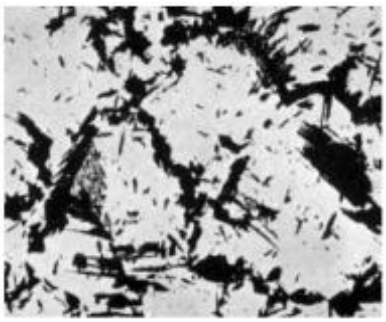
항온 분위기(염욕중) 속에 넣으면, 강은 잠시 후 변태를 시작하고 어느 시간이 지나면 변태가 끝난다. 이와 같은 변태를 보통의 연속적 냉각 변태와 구별해서 항온 변태(恒溫變態: isothermal transformation)라 한다. 이 때, 일정한 온도로 유지하기 위하여 용융된 염류(鹽類)인 염욕(鹽浴)을 사용하는 경우가 많다. 비교적 높은 온도의 경우에는 용융된 납(Pb)을 사용할 때도 있으나 위생상 문제가 있다. 일정한 조성의 탄소강을 A1 온도 이하의 여러 가지 온도에서 항온 변태를 시키고, 각 온도에 있어서의 변태가 시작하는 시간과 끝나는 시간을 측정하여 이들의 값을 온도-시간 곡선으로 도시하면, 그림1-22와 같이 2개의 곡선이 된다. 이와 같은 곡선을 선도화한 것을 항온변태선도(Isothermal Transformation diagram) 또는 머리문자로 I-T 선도, 도는 TTT 선도(Time -Temperature Transformation diagram)이라 한다. 또 그 모양이 S와 유사하여 S곡선(S-curve)이라고도 한다.  또, 이 곡선 중에 석출반응에 대응하는 범위는 C의 모양을 하고 있으므로 C곡선(C-curve)이라 한다.



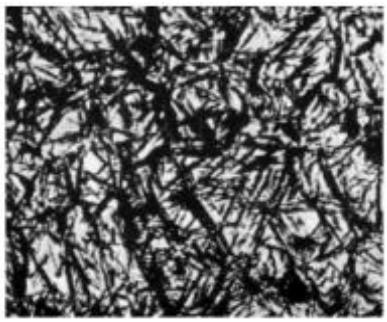

[그림 1-22] 항온 변태 선도(공석강)

[그림 1-22]는 공석에 가까운 탄소강(0.89%)의 TTT 곡선이며, 2개의 단순한 C자형 곡선이 된다. 그림에서 왼쪽 곡선은 변태 개시선이고 오른쪽 곡선은 변태 종료선이다. 또, 550~720℃는 펄라이트가 생기는 범위이고, 곡선의 왼쪽 돌출부(550℃부분) ①은 이 곡선상 가장 단시간에 변태가 일어나는 점으로 이를 만곡점(彎曲點:knee) 또는 코(noss)라 하며, Ms 온도 바로 위의 우묵한 부분②를 만(灣 : bay)이라 한다.

항온 변태에 의한 조직은 C곡선의 코보다 높은 온도에서는 펄라이트 조직이 나타나며, 코 밑에서는 항온 변태에서만 나타나는 특수한 조직인 베이나이트 조직이 된다. 베이나이트 조직은 [그림 1-23]과 같이 두 가지가 있는데, [그림 1-23]의 (a)와 같이 높은 온도에서 생성된 새털 모양으로 발달된 조직을 상부 베이나이트, [그림 1-23]과 같이 낮은 온도에서 생성되어 침상으로 발달된 조직을 하부 베이나이트라 한다.



0.8%C 공석강에서 상부베이나이트

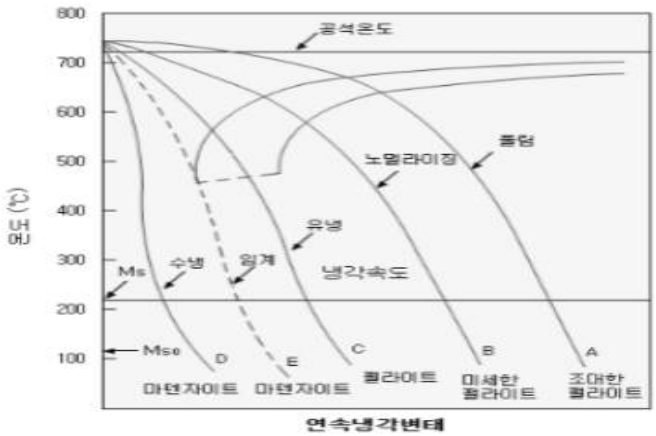


0.8%C 공석강에서 하부베이나이트

[그림 1-23] 공석 탄소강의 베이나이트

다. 연속냉각 변태

실제에 이루어지는 열처리는 이상과 같은 항온 변태가 아니라 오히려, 냉각과 동시에 변태가 일어나는 과정이다. 따라서 냉각 중에 일어나는 변태를 나타내는 선도가 더 실제적이다.




[그림 1-24] 연속 냉간 변태선도(공석강)

이와 같은 성도를 연속 냉각 변태선도(continuous cooling transformation diagram) C-T선도 또는 CCT곡선이라 한다. [그림 1-24]는 공석강의 CCT곡선을 나타낸 것이다. CCT 곡선에서 중요한 것은, 펄라이트 변태곡선의 nose를 통하는 냉각속도가 완전한 마텐자이트화가 일어나는 임계냉각 속도(臨界冷却速度: [그림 1-24]의 점선)로 되는 점이다.

즉 이 냉각 속도보다 느린 냉각의 경우에는 Ms 온도 전에 펄라이트의 석출이 일어나게 된다. 이보다 빠르면 완전한 마텐자이트 조직이 된다. 같은 조성의 강일 때, CCT곡선에 코에 달하는 시간은 TTT곡선의 경우보다 약 두배가 되는 것으로 알려져 있다.

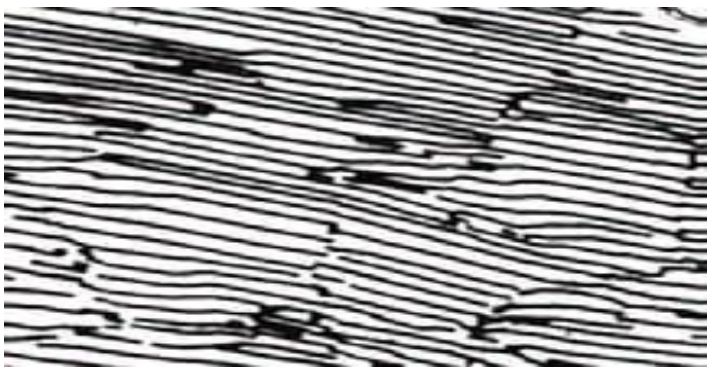
# 제 2 장 열처리 조직

## 1. 탄소강의 기본 조직[6)]

### 가. 공석강

0.8%C의 공석 탄소강을 750℃ 정도로 가열하여 충분한 시간 동안 유지하면 조직은 균일한 단상의 오스테나이트가 되는데, 이과정을 오스테나이트화(austenit -izing)라고 한다.

이 공석강을 평형에 가까운 냉각 속도로 서냉시킬 때 [그림 1-20]에서 공석온도 바로위에 있는 점 e 로서 지시되는 온도에서의 조직은 오스테나이트 상태로 있다. 그러나 온도가 더 내려가서 공석 온도 이하인 f점으로 내려가면 오스테나이트는 $\alpha$ 페라이트와 시멘타이트의 혼합 조직으로 변태하게 되어 [그림 1-25]에서와 같이 페라이트와 시멘타이트가 교대로 반복되어지는 층상 조직(lamellar structure)을 형성하게 된다. 이 현미경 조직은 그 형태가 진주(pearl)와 비슷하다 하여 펄라이트(peatlite)라고 불리워지게 되었다.



[그림 1-25] 공석강의 펄라이트 조직(×800)

### 나. 아공석강

0.4% C의 아공석 탄소강을 [그림1-20]에서 870℃(점a)로 가열하여 충분한 시간 동안 유지하게 되면 공석 탄소강에서와 같이 균일한 오스테나이트로 된다. 그리고는 이 아공석강을 [그림 1-20]의 b점 (약 790℃)까지 서냉시키면 오스테나이트 결정립계에서 초석 페라이트(proeutectoid ferrite)가 우선적으로 핵생성을 하기 시작한다.

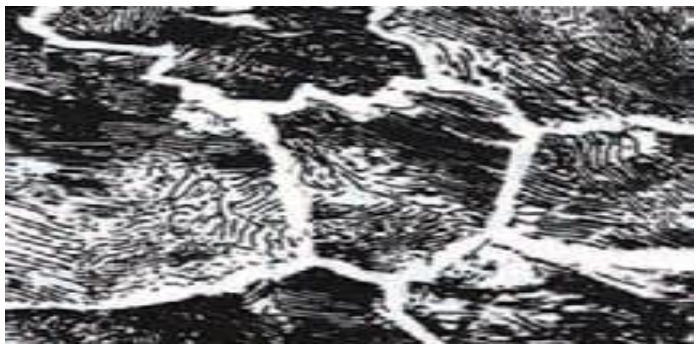
6) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징 열처리 (1601030315_17v5)

이 강을 다시 c점까지 서냉하면 초석 페라이트는 오스테나이트 속으로 계속해서 성장해 간다. 이때 페라이트가 형성된 지역의 과잉 탄소는 오스테나이트-페라이트 계면으로부터 오스테나이트 속으로 밀려나므로 남아 있는 오스테나이트의 탄소량은 점점 많아지게 된다. 따라서, A1 변태 온도 바로 위의 c점에 도달되면 남아 있는 오스테나이트는 공석 반응에 의해서 펄라이트로 변태하게 된다. 펄라이트를 구성하고 있는 페라이트는 초석 페라이트와 구별하기 위해서 공석 페라이트(eutectoid ferrite)라고 부르며, 이 두 페라이트의 조성은 평형 조건하에서는 같아진다. [그림 1-26]은 0,6% C의 아공석강을 860℃에서 오스테나이트화 한 후에 상온으로 서냉(100℃/hr)시킨 조직의 보기이다. 여기서 흰색 부분이 초석 페라이트이고, 검은 부분이 펄라이트이며, 초석 페라이트는 결정립계 부위에서 우선적으로 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

[그림 1-26] 아공석강의 서냉 조직(0.6%C)

다. 과공석강

과공석 탄소강을 서냉시킬 때 나타나는 초석상은 시멘타이트이다. 1,2%C의 과공석강을 950℃(g점)에서 우스테나이트화한 후에 냉각할 때에 나타나는 미세 조직 변화 과정을 보면 [그림 1-20]의 h 점의 온도로 서냉되면 오스테나이트 결정립계에서 초석 시멘타이트(proeutectoid cementite)가 핵생성되어 성장하게 된다.



[그림 1-27] 과공석강의 서냉 조직

다시 이 강이 [그림1-20]의 j점까지 냉각되는 동안에 초석 시멘타이트는 계속 성장하면서 오스테나이트에 있는 탄소를 감소시키게 된다. 이 냉각 과정이 평형 냉각이라고 가정할 때에 j점의 온도에서 남아 있는 오스테나이트의 탄소량은 1,2%에서 0.8%로 감소하게 될 것이다.

따라서, 이 오스테나이트는 A1 변태 온도 이하로 냉각되면서 공석 반응에 의한 펄라이트로 변태하게 된다. 펄라이트를 구성하고 있는 시멘타이트는 초석 시멘타이트와 구별하기 위해서 공석 시멘타이트(entectoid cementite)라고 부른다.

[그림 1-28]은 1,4% C의 과공석강을 970℃에서 오스테나이트화한 후 서냉(100℃/h)한 조직의 보기로서, 초석 시멘타이트가 오스테나이트 결정립계를 따라서 망상으로 형성되어 있다.

## 2. 담금질 조직[7)]

### 가. 오스테나이트

강에서는 온도와 조성에 따라서 많은 상들이 나타나는데, 오스테나이트는 고온에서만 존재하고 있는 것을 볼 수 있다 대부분의 강에서 오스테나이트는 상온에서 존재할 수 없기 때문에 펄라이트나 마텐자이트 등과 같은 최종 조직의 모상(parent phase)으로써 작용한다. 따라서, 오스테나이트가 최종 조직의 성질에 크게 영향을 미치게 된다. 예를 들면, 오스테나이트의 결정립 크기(grain size)는 최종 조직의 결정립 크기, 변태속도 및 경화능(hardenability) 등에 크게 영향을 미친다.

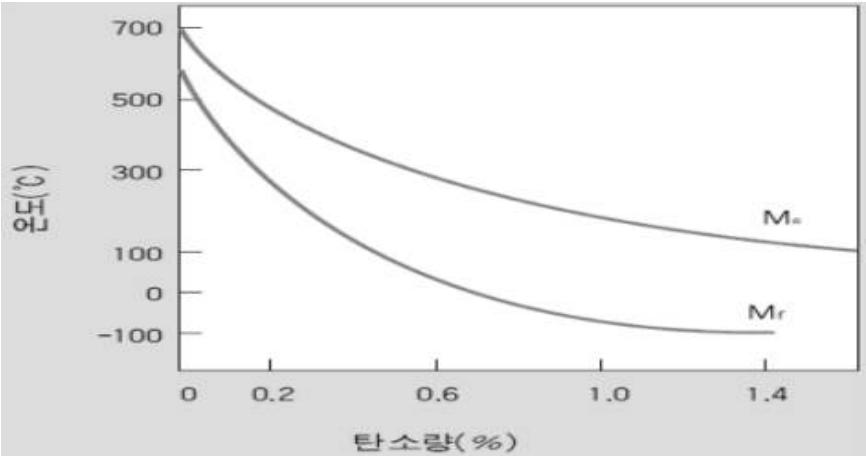
마텐자이트(martensite)는 강 조직 중의 하나이나, 열처리에 있어서 대단히 중요한 조직으로 담금질할 때 생기며, 경도가 현저히 높은 것이 특징이다.

### 나. 마텐자이트변태

일반적으로, 금속의 변태에서는 원자가 이동해서 새로운 위치를 점유하는 확산 변태를 하는 데 비하여, 마텐자이트 변태에서는 많은 원자가 한꺼번에 협동적으로 이동해서 새로운 원자 위치를 점유하는, 이른 바 원자의 확산을 수반하지 않는 무확산 변태를 한다. 확산이 없으므로 냉각 속도를 아무리 빨리하여도 변태를 저지할 수 없으며, 또 변태 시작 온도를 저하시킬 수도 없다. 여기서 확산이 없다는 것은 모상과 마텐자이트의 성분이 같다는 것을 뜻한다.

일반적으로, 마텐자이트 반응 마텐자이트에의 변태가 완전하게 일어날 경우, 변태개시온도(martensitc starting tempera-ture) Ms와 변태종료온도(marten-site finishing temperature)Mf는 [그림 1-28]과 같이 탄소량에 따라 변한다.

7) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링 열처리 (1601030316_17v5)




[그림1-28] 마텐자이트변태 시작 및 종료 온도와 탄소량과의 관계

또한 마텐자이트 변태는 펄라이트 변태와는 달라서 대부분 항온적으로는 진행하지 않는다. 즉, 강이 Ms점 이하의 어느 온도로 상온 유지되면, 마텐자이트 변태는 급히 정지해 버리며, 그 조직도 오스테나이트 결정립을 어느 정도의 마텐자이트 침상이 관통하고 있는 것으로 된다. 그러나 계속 온도가 내려가면, 새로운 내부 응력이 발생하고 변태도 계속 일어나며, 새로운 마텐자이트의 침삭이 발생한다. 이와 같이, 마텐자이트 변태는 어느 온도 범위에 걸쳐서 끝나게 되는 것이다.

이상과 같이 Ms, Mf는 강의 탄소량에 따라서 변화한다. 즉, 탄소량이 많을수록 Ms와 Mf의 온도는 낮아진다.

즉, [그림 1-28]와 같이 탄소량이 0.6% 이상인 강의 마텐자이트 변태는 대부분 상온 이하의 온도에서 끝난다. 이것은 대단히 중요한 두 가지 결론을 제시해 주고 있다.

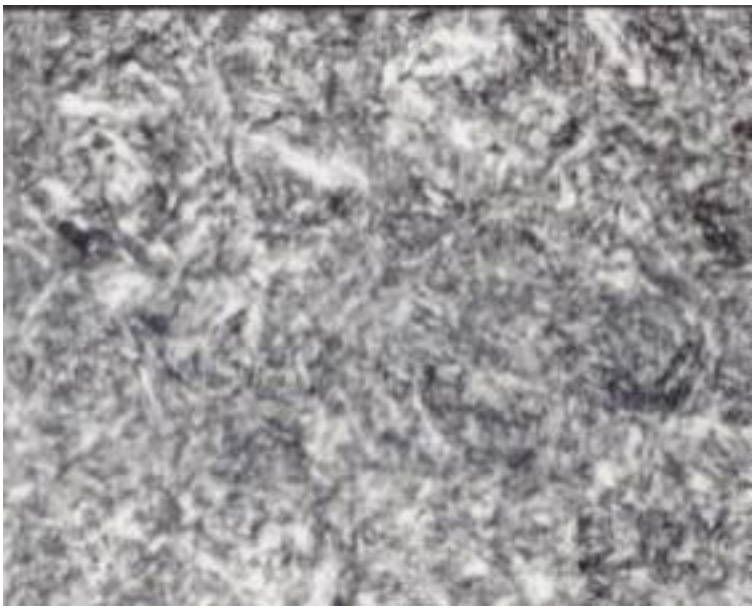
첫째는 탄소량이 0.6% 이상인 강을 담금질할 때 상온 조직에는 반드시 어느 양의 오스테나이트가 혼재되어 있다는 것이다. 이 오스테나이트를 잔류 오스테나이트(retained austenite)라고 하는데, 그 양은 탄소량이 많을수록 많아진다. 따라서, 0.6% 이상의 탄소량을 함유한 강에 있어서는 담금질 조직이 마텐자이트라 하더라도 잔류 오스테나이트가 항상 함유되어 있다.

둘째로 중요한 것은 잔류 오스테나이트가 함유된 강의 마텐자이트 양을 증가시키고, 경도를 높이기 위해서는 상온 이하의 온도까지 냉각하지 않으면 안 된다는 것이다. 이 처리를 심랭처리(subzero treatment)라 한다. [그림 1-29]는 0.81% 탄소강을 850℃에서 담금질한 후 수냉한 조직을 나타낸 것으로서, 검은 부분이 침상의 마텐자이트이고 흰 부분이 잔류 오스테나이트이다. 이 조직은 강을 물 속에서 담금질할 때 흔히 얻어지며, 상온에서는 준안정 상태이다.

[그림1-29] 탄소강의 마텐자이트

다. 트루스타이트

트루스타이트는 페라이트와 극히 미세한 시멘타이트와의 혼합 조직으로, 강을 유냉하여 냉각 속도가 약간 느리면, 제1단계 변태에서 생긴 마텐자이트 조직이 500℃ 부근의 온도에서 제2단계 변태가 다소 진행되어 생긱는 결정상의 조직이다.



[그림 1-30] 트루스타이트 조직(×400)

[표 1-4] 담금질 조직의 경도

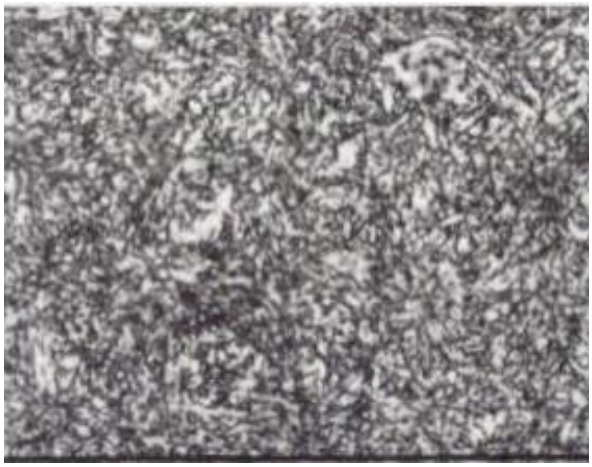
| 조직 | 경도 | |
|---|---|---|
| | 브리넬 경도[HB] | 로크웰 경도 [HR] |
| 페라이트 | 90 | - |
| 오스테나이트 | 155 | 9 |
| 펄라이트(0.9%C) | 225 | 26 |
| 소르바이트(0.9%C) | 275 | 34 |
| 트루스타이트(0.9%C) | 400 | 47 |
| 마텐자이트 | 720 | 68.5 |
| 시멘타이트 | 820 | 74 |

[그림 1-30]은 0.81%C의 탄소공구강을 850℃에서 물담금질한 다음 350℃에서 뜨임한 조직으로, 흑색 부분이 트루스타이트이고, 흰색 부분은 마텐자이트이다. 마텐자이트를 300 ~ 400℃로 뜨임 처리를 할 때, 미세한 시멘타이트가 페라이트의 바탕에서 입상으로 석출된 조직도 트루스타이트와 같다. 트루스타이트는 마텐자이트보다는 경도가 높지 않으나 인성이 크다.

라. 소르바이트

소르바이트(sorbite) 조직은 트루스타이트보다 약간 냉각 속도가 느린 경우에 나타난다. 시멘타이트가 트루스타이트의 경우보다도 결정립이 크게 성장하여 석출된 것이며, 탄화물은 현미경으로 약 400배 이상에서 볼 수가 있다. 즉 조직은 미세한 입상 탄화물이 밀집된 것 같으나, 낮은 비율로서는 검게 보인다. 트루스타이트보다 강인성이 크고 연하며, 펄라이트보다는 단단하다. [그림 1-31]는 0.81%의 탄소공구강을 820℃에서 물에 담금질하고, 580℃에서 뜨임한 조직으로 소르바이트 현미경 조직의 보기이다.

[표 1-4]는 강의 담금질 조직의 경도를 비교한 것으로 마텐자이트가 시멘타이트와 유사한 높은 경도를 갖고 있음을 보여주고 있다.



[그림 1-31] 소르바이트 조직(×400)

**읽을거리**

<담금질에 새로운 물을 사용해서는 안된다>

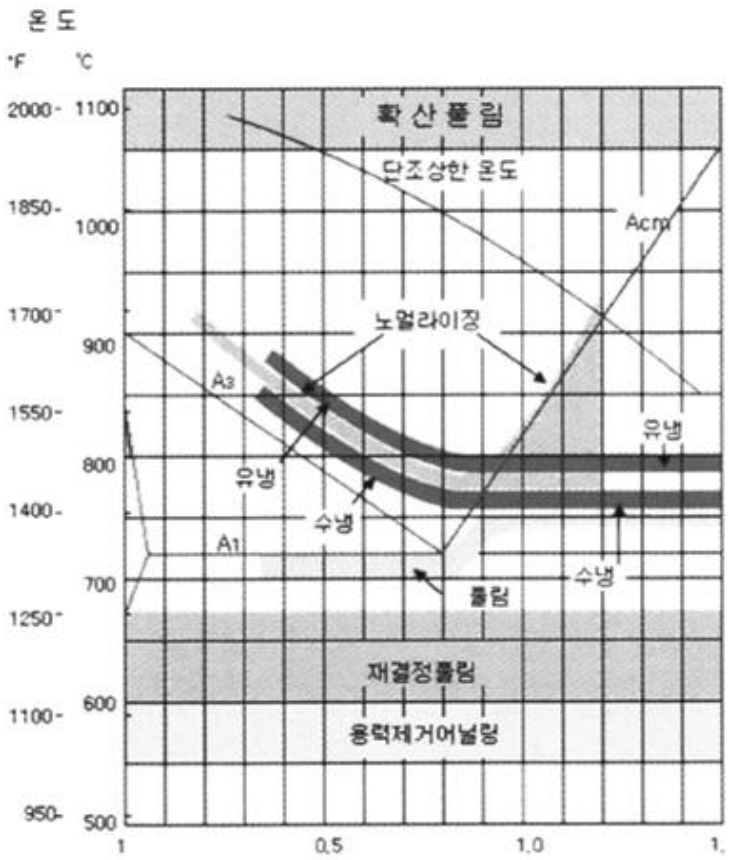
새로 떠온 물은 가스를 많이 함유하고 있으며 이것이 담금질한 강의 표면에 부착해서 담금질 얼룩을 만들게 된다. 따라서 한번 끓이고 나서 사용하는 것이 좋다. 끓이게 되면 경수도 연수가 되므로 일거양득이다. 끓일 수 없는 형편이라면 필요 없는 파쇠를 달구어서 물에 투입하는 방법이 이용된다. 따라서 오래 사용하고있는 물이 담금질 냉각수로 적합하다. 그리고 소금을 10%정도 섞으면 물속의 가스분이 제거되어 담금질이 효과가 있다.

# 제 3 장 강(鋼)의 열처리

## 1. 강의 열처리 방법[8)9)]

철강 재료는 같은 성분의 것이라도 열처리 방법에 따라서 그 조직이 크게 달라질 수가 있으므로, 열처리를 알맞게 하게 되면 필요에 다라 철강 재료의 기계적 성질이나 그 밖의 성질을 변화시킬 수 있으므로 기계 재료에 효과적으로 이용할 수 있다.

열처리의 종류를 크게 나누면, 주조나 단조 후의 편석과 잔류 응력 등의 불균질을 제거하고, 균질화를 위한 노멀라이징(normalizing)과 연화를 위한 풀림(annealing) 및 경화를 위한 담금질(quenching), 그리고 강인화를 위한 뜨임(tempering) 처리 등으로 나눌 수 있다.




[그림 1-32] 열처리의 구역

8) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징 열처리 (1601030315_17v5)
9) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링 열처리 (1601030316_17v5)

또, 표면은 내마멸성이 높고, 중심부는 내충격성이 큰 이중 조직을 나타내게 하는 표면 경화(surface hardening)도 있다. [그림 1-32]은 상태도상에서의 열처리의 종류와 그 구역을 나타낸 것이며 [표 1-5]는 열처리의 분류를 세분화하여 나타내였다.

[표 1-5] 열처리의 분류

| 일반열처리 | 등온열처리 | 표면경화 열처리 |
|---|---|---|
| 노말라이징 (normalizing), 풀림 (annealing), 담금질 (quenching), 뜨임 (tempering) | 마퀜칭 (marquenching), 마템퍼링 (martempering), 오스템퍼링 (austempering), 오스포밍 (ausforming), 등온풀림 (isothermal annealing), 등온뜨임 (isothermal tempering) | 침탄법 (carburizing), 질화법 (nitriding), 화염 경화법 (flame hardening), 고주파 경화법 (induction hardening), 청화법 (cyaniding) |

가. 풀림

결정조직을조정하고 연화시키기 위한 열처리 조직으로 노멀라이징과의 차이점은 가열온도가 과공석강에서 다르다는 것과 냉각방식이 노 중 냉각인 점이다.

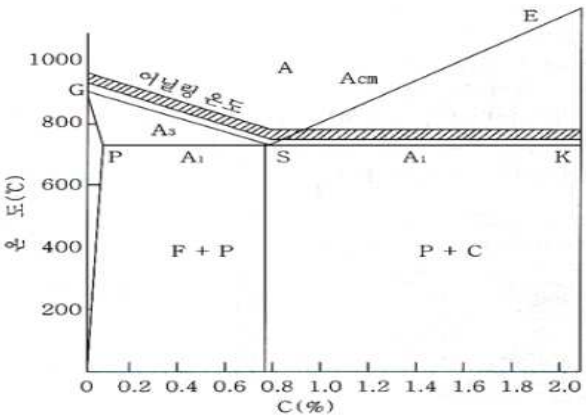
- 금속 합금의 성질을 변화시킨다.

일반적으로 강의 경도가 낮아져야 연화된다.

- 일정 조직의 금속이 형성된다.

즉 조직의 균질화, 미세화, 표준화 된다.

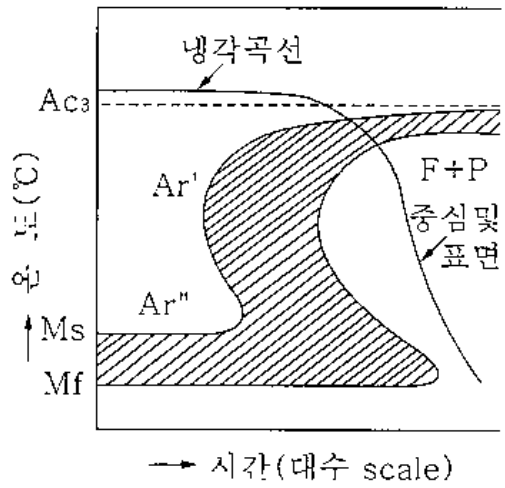
- 가스 및 불순물의 방출과 확산을 일으키고 내부 응력을 저하시킨다.




[그림 1-33] 강의 풀림 온도

1) 완전 풀림

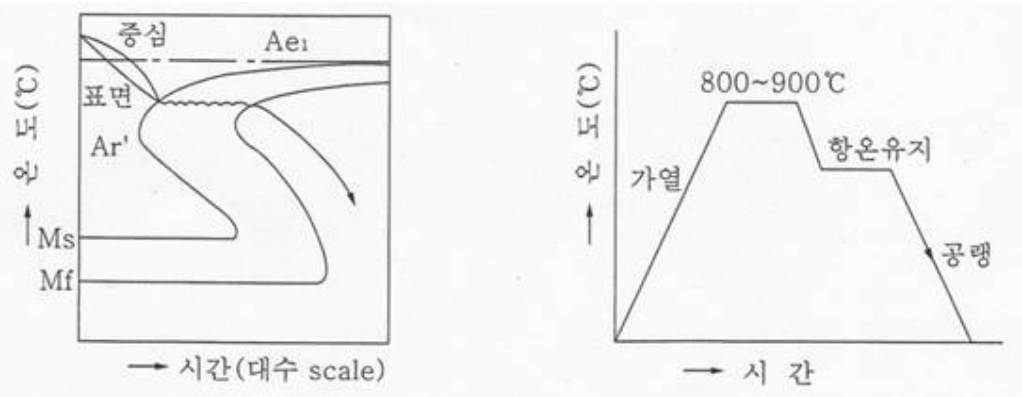
완전 풀림은 아공석강에서는 Ac3선 이상, 과공석강에서는 Ac1선 이상의 온도에서 가열하고, 그 온도에서 충분한 시간을 유지하여 오스테나이트 단상, 또는 오스테나이트와 탄화물의 공존 조직으로 한 다음, 서서히 냉각시켜 연화시키는 열처리 조작이다. [그림 1-34]는 완전풀림의 공정의 보기이다.




[그림 1-34] 완전 풀림 공정

2) 등(항)온 풀림

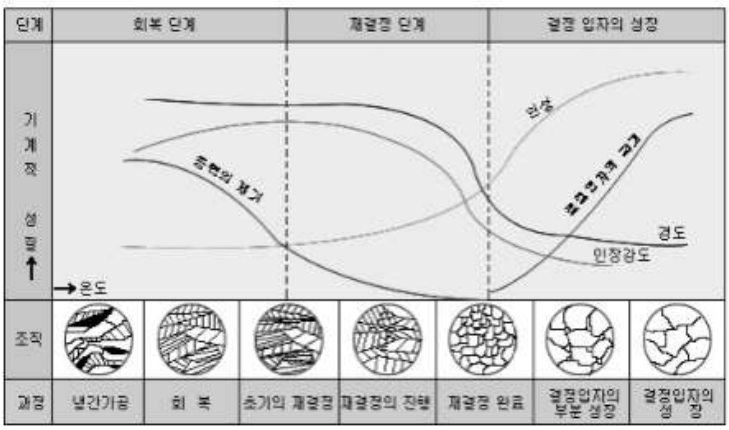
완전 풀림으로는 연화가 어려운 합금강인 대형 단조품 또는 고속도강 등은 $A_1$점 이상 30~50℃로 가열을 유지한 다음 $A_1$점 바로 아래의 온도로 급랭 유지하는 등온 변태처리를 하여 거친 펄라이트 조직으로 하는 조작을 등온 풀림(isothermal annealing) 또는 오스 풀림(aus-annealing)이라 하며, 비교적 짧은 시간에 연화된다. [그림 1-35]는 등온 풀림 공정의 보기이다.




[그림 1-35] 등온 풀림과 등온 풀림의 작업 과정

3) 응력 제거 풀림

단조, 주조, 기계 가공 및 용접 등에 의해서 생긴 잔류 응력을 제거시키기 위해서 $A_1$선 이하의 적당한 온도에서 가열하는 열처리를 응력 제거 풀림(stress relief annealing)이라고 한다. 잔류응력은 일반적으로, [그림1-36]과 같이 가열 온도가 높아질수록 재료는 연해지고, 잔류 응력도 완화, 제거된다. 또한 탄소량이 많은 강일수록 잔류 응력이 많고, 또 제거하기가 어렵다. 응력 제거 어닐링(strss-relief annealing)이란 금속 재료를 일정 온도에서 일정시간 유지 후 냉각시킨 조작이며 주조, 단조, 기계가공, 냉간가공및 용접 후에 잔류 응력을 제거하기 위함이다. 보통 500~700℃로 가열 일정 시간 유지 후 서냉한다. A1점 이상에서는 변태로 인하여 응력이 발생되고 또 응력이 제거되는 온도가 625℃정도 되므로 보통 500~700℃에서 한다. 응력제거로 인한 조직상의 변화는 일어나지 않더라도 제품을 사용하고 있는 동안의 사고 등이 감소 된다.




**풀림 후 성질의 변화**

[그림 1-36] 강도 저하로 인한 잔류 응력 감소

4) 연화 풀림

강은 냉간 가공을 계속하게 되면 경화되어 그 이상 가공을 할 수 없는 상태로 되는데, 이와 같이 가공 경화된 재료를 공정 중에 재결정 온도 이상으로 가열하여, 회복 또는 재결정에 의해 연화시키는 열처리 조작을 연화 풀림(softening annealing) 또는 중간 풀림(process annealing)이라 한다.

5) 확산 풀림

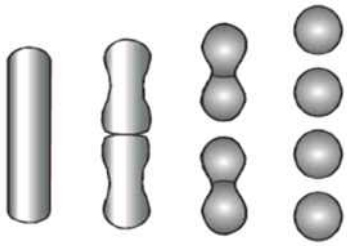
일반적으로, 응고된 주조 조직에서 주형에 접한 부분은 합금 원소나 불순물이 극히 적고, 주형 벽에 수직한 방향으로 응고가 진행됨에 따라 합금 원소와 불순물이 많아지며, 최후로 응고한 부분에 합금 원소가 가장 많이 잔존하게 된다. 이와 같은 현상을 편석(segregation)이라 한다. 강괴의 경우, 편석은 1300℃ 정도에서 수시간 동안 가열하는 균질화 처리와, 그 다음 열간 가공에 의해서 어느 정도 균질화되나 완

전히 해소되지는 못한다. 따라서, 이러한 상태의 주괴를 단조나 압연을 하면 이와 같이 편석된 것들이가 공 방향으로 늘어나 섬유상 편석이 나타난다.

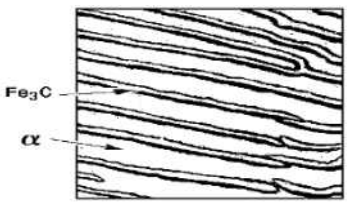
이와 같은 주괴 편석이나 섬유상 편석을 없애고 강을 균질화시키기 위해서는 고온에서 장시간 가열하여 확산시킬 필요가 있는데. 이와 같은 열처리를 확산 풀림(diffusion annealing)이라고 한다.

6) 구상화 풀림

소성 가공이나 절삭 가공을 쉽게 하거나 기계적 성질을 개선할 목적으로 탄화물을 구상화시키는 열처리를 구상화 풀림(spheroidizing annealing)이라고 한다. [그림 1-37]은 구상 시멘타이트의 생성기구이고, [그림 1-40]은 구상 시멘타이트 조직을 나타내고 있다.

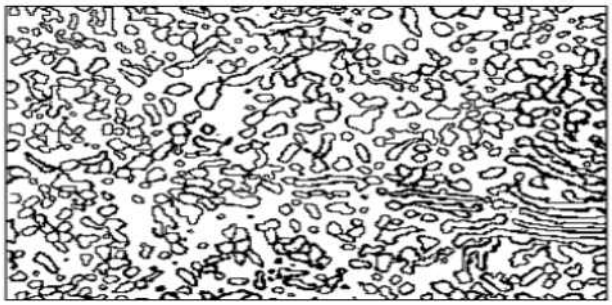


[그림 1-37] 망상 시멘타이트의 구상



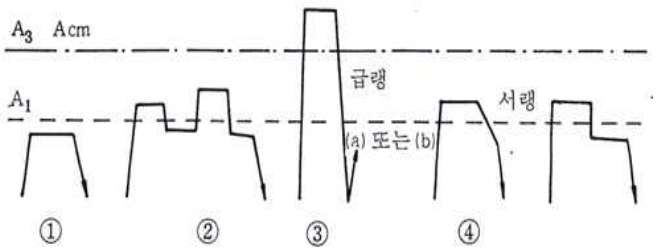

[그림 1-38] 펄라이트 조직

[그림 1-39] 과공석강 조직



[그림 1-40] 구상 시멘타이트 조직

구상화 풀림 방법에는 [그림 1-41]과 같은 여러 가지가 있다.



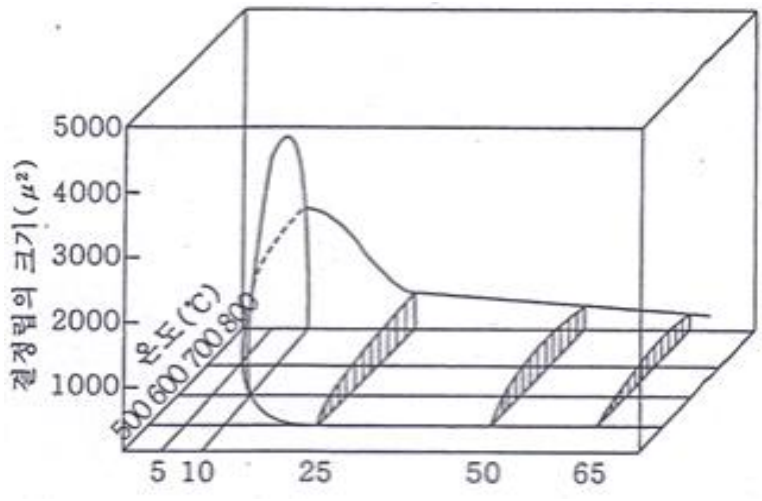

[그림 1-41] 시멘타이트의 구상화 처리 방법

7) 재결정 풀림

냉간 가공한 강을 600℃로 가열하면 응력이 감소되고 재결정(再結晶)이 일어나는데 이것을 재결정 어닐링이라 한다.

재결정 현상의 특징은

- 영구변형을 일으키지 않으면 입자의 크기는 변화하지 않는다.
- 일정한 온도 이상이 아니면 입자의 크기는 변화하지 않는다. 이때의 온도를 재결정 온도라 한다.
- 입자의 크기에 변화를 주는 온도는 영구 변형의 양에 관계되고 이때 변형이 크면 온도는 낮아지고, 변형이 적으면 점점 고온을 필요로 한다.
- 입자의 크기는 변형의 양과 어닐링의 온도에 관계된다.




[그림 1-42] 재결정에 있어서의 온도, 입도 및 가공도와 관계

나. 노멀라이징

노멀라이징(normalizing)의 목적은 결정 조직을 미세화하고 냉간 가공, 단조등에 의한 내부 응력을 제거하며 결정 조직, 기계적 성질, 물리적 성질 등을 표준화시키는데 있다. 따라서 이를 방지하려면 변태점 이상의 적당한 온도, 즉 $A_3$ 또는 $A_{cm}$선보 30～50℃ 높은 온도로 가열한 다음, 일정한 시간을 유지하면 균일한 오스테나이트 직으로 된다. 그 다음 안정된 공기 중에서 냉각시키면 미세하고 균일한 표준화된 노멀라이징 조직을 얻을 수 있다.

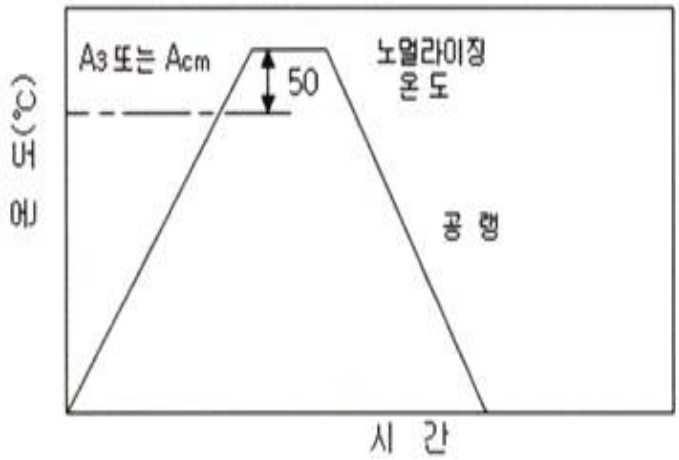
1) 보통 노멀라이징

(가) 방법

A3 또는 Acm변태점보다 약 50℃ 정도 높은 온도로 가열 오스테나이트화한 후 상온에 이르기까지 대기 중에 방랭한다.

(나) 효과

바람이 부는 곳이나 양지 바른 곳의 냉각 속도가 달라지고 여름과 겨울은 동일한 조건의 공랭이라하여도 노멀라이징의효과에 영향을 미치므로 주의를 요한다.




[그림 1-43] 보통 노멀라이징

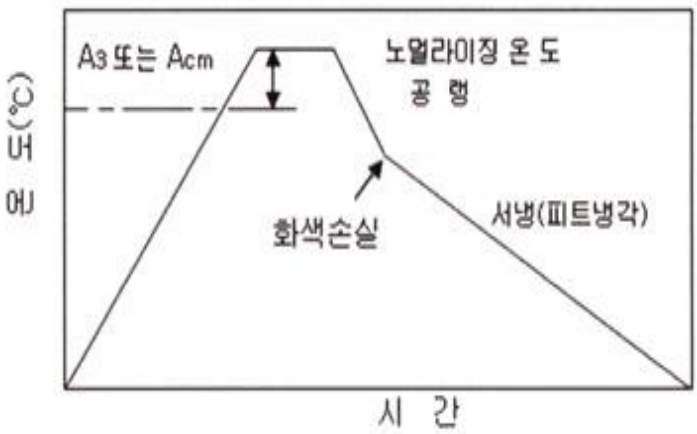
2) 2단 노멀라이징

(가) 방법

노멀라이징온도로부터 화색이 없어지는 온도-구조용강(C 0.3 ~ 0.5%)은 초석 페라이트가-대형의 고탄소강(C 0.6 ~ 0.9%)에서는 백점과 (약 550℃)까지 공랭한 후 피트(pit) 혹은 서냉 상태에서 상온까지 서냉한다.

(나) 효과

구조용강(C 0.3 ~ 0.5%)은 초석 페라이트가-대형의 고탄소강(C 0.6 ~ 0.9%)에서는 백점과 펄라이트조직이 되어 강인성이 향상된다. 내부 균열이 방지된다.




[그림 1-44] 2단 노멀라이징

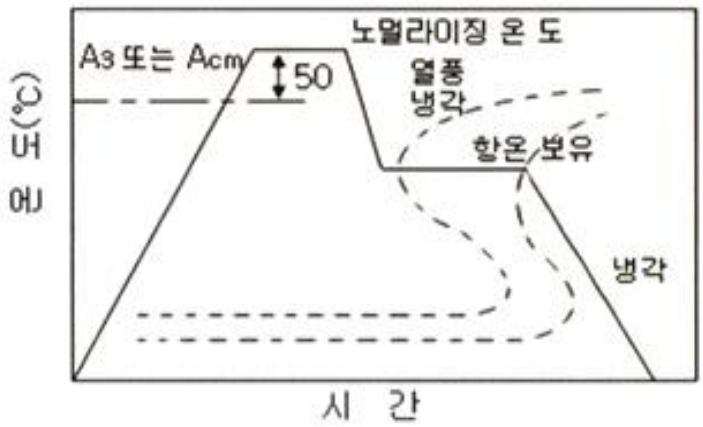
3) 항온 노멀라이징

(가) 방법

항온 변태 곡선의 nose 온도에 상당한(550℃) 부근에서 항온 변태시킨 후 상온까지 공랭한다. 노멀라이징 온도에서 항온까지의 냉각시간은 5~7분이 적당하며 이외에는 열풍냉각이 이용된다.

(나) 효과

기계구조용 강재나 저탄소 합금강의 피절삭성 향상처리에 잘 이용된다.




[그림 1-45] 항온 노멀라이징

4) 2중 노멀라이징

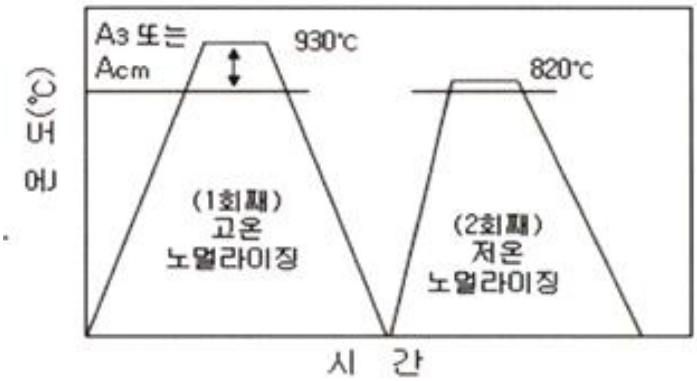
(가) 방법

1회 : 930℃로가열 후 공랭하면전 조직이 개선되어 저온 성분을 고용

2회 : 820℃에서 공랭하면펄라이트가 미세화 된다

(나) 효과

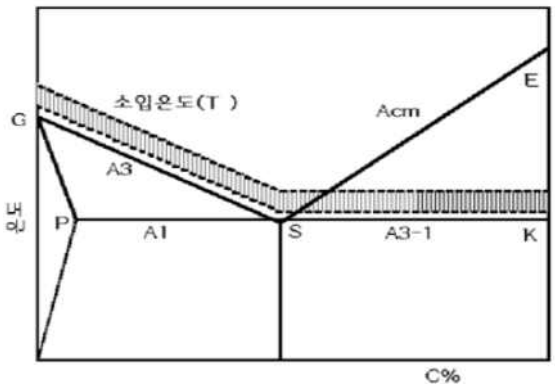
차축 또는 저온용 저탄소강(0.18%C)의 강인화에 적용된다.




[그림 1-46] 2중 노멀라이징

다. 담금질

내마멸성과 경도의 향상을 위해서 행하는 열처리로서, 오스테나이트로부터냉각할 경우, 그 냉각 속도에 따라 조직이 변화된다. 냉각 도중의 변태를 저지하기 위하여 급랭하는 조작을 담금질(quenching)이라 하며, 이때의 조직은 매우 단단하다.




[그림 1-47] 탄소강의 담금질 온도

담금질 온도는 그 강의 조성에 따라 다르며, 아공석강에서는 [그림 1-47]의 GS선 이상 30~50℃, 과공석강에서는 $A_1$ 온도 이상 30~50℃가 적당한 담금질 온도이다.

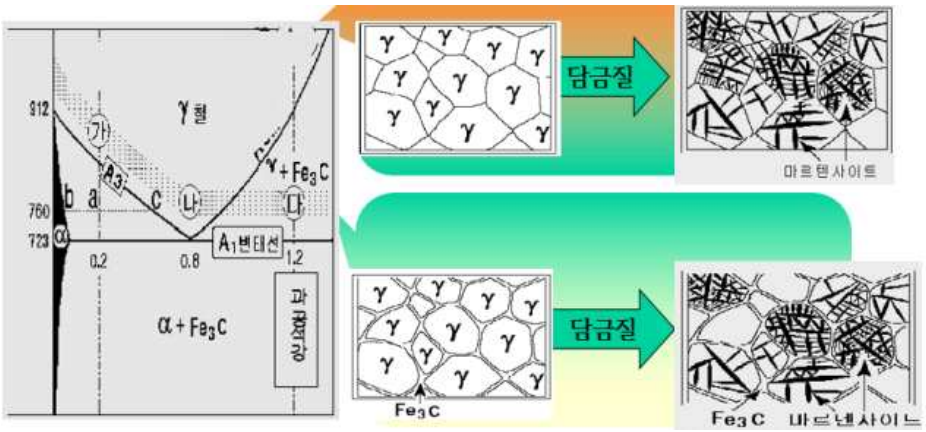
1) 목적 : 경화

강을 경하게 또는 강하게 하는 열처리 작업이며 급랭하는 것을 Quenching, 경하게 하는 것을 Hardening이라 한다. 담금질하는 강은 적어도 탄소함유량이 0.3~1.7%를 필요로 한다.

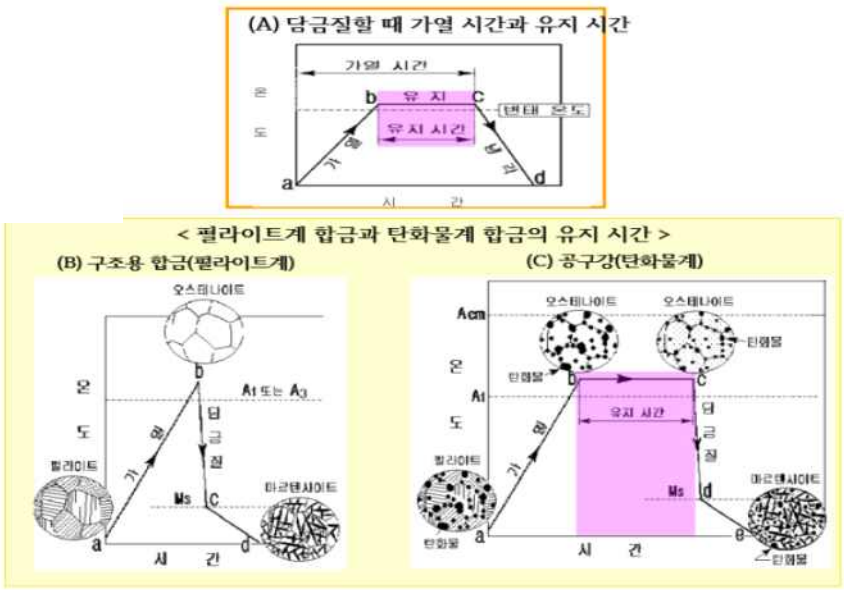
2) 요점 : 급랭방법에 주의

임계 구역에서는 빨리, 위험구역은 천천히 냉각한다.

3) 조직 : 마텐자이트




[그림 1-48] 담금질 가열 단계의 모식도




[그림 1-49] 담금질 유지 단계의 모식도

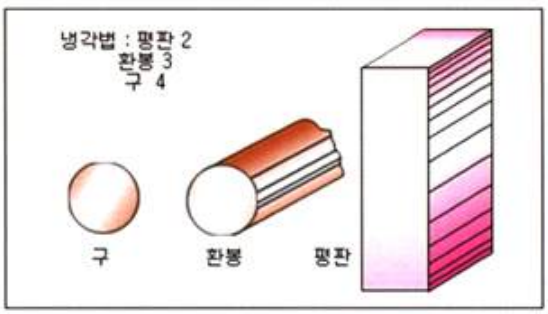
4) 형상에 따른 냉각 효과

(가) 형상에 따른 냉각방법의차이

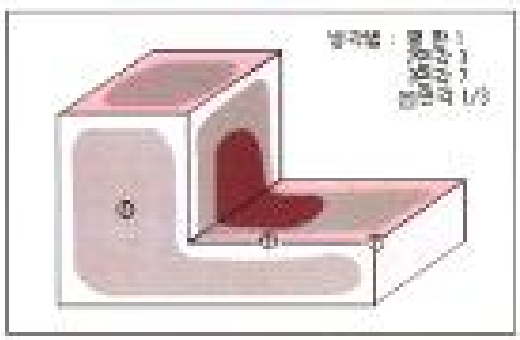
- 냉각방식은물건의 형태에 따라 다르며 가장 담금질이 잘된 형상은 구이고 잘 안되는 것은 판이다. 대체적인 비율은 다음과 같다.
- 구 : 봉 : 판 = 4 : 3 : 2
- 환봉은 판의 50%나 더 많이, 구는 판의 2배나 깊게 담금질 된다.

(나) 위치에 따른 냉각속도의 차이.

- 평 면 …… 1
- 2면각…… 3
- 3면각…… 7
- 오목면각…… 1/3



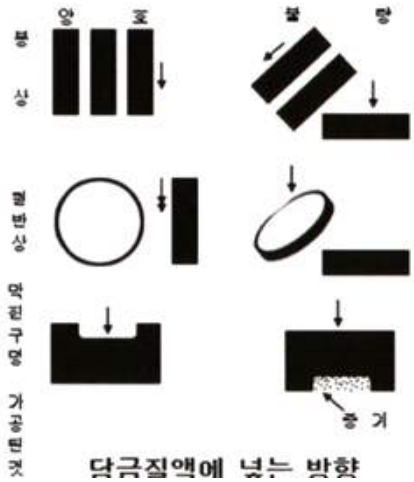

[그림 1-50] 형상 효과의 예



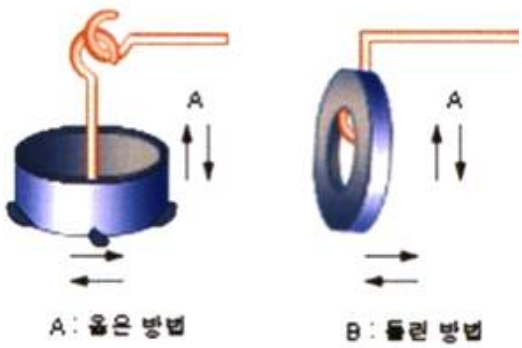
[그림 1-51] 모서리각 효과의 예

5) 담금질 방

- 물체의 표면에 불순물이나 스케일이 부착되어 있으면 담금질 효과가 현저하게 손상된다.
- 기름은 탈지하고 스케일 기타 이물질은 wire brush, sand blast에 의해서 제거한다.
- 살이 두꺼운 부분과 얇은 부분이 있을 경우에는 살이 두꺼운 부분부터 제일 먼저 냉각시킨다.
- 드릴, 탭, 리이머, 스프링 등과 같이 가늘고 긴 것은 굽힘이 생기므로 수직으로 투입한다.
- 디스크, 밀링커터와 같이 살이 얇고 평평한 것은 가장자리를 세워서 투입한다.
- 링 모양의 물체는 그 축을 액면에 수직으로 해서 투입한다
- 오목 면이 있는 물체는 오목 면을 위로 향하게 해서 투입한다.
- 대형부품은작은 구멍이 뚫려 있을 경우에는 이 구멍을 찰흙 석면으로 매워서 투입한다.




[그림1-52] 담금질 액에 넣는 방향




[그림 1-53] 담금질 방법

6) 담금질경도

담금질시경도를 향상시키는 데는 탄소량이효과적이고 경화깊이를 크게 하는데는 합금원소의 첨가가 효과적이다.

- 최고담금질경도(HRC)=30+50 × C%
- 임계담금질경도(HRC)=24+40 × C%

0.4%C강에서 담금질 경도

- 최고담금질경도(HRC) = 30+50×0.4 = 50
- 임계담금질경도(HRC) = 24+40×0.4 = 40

라. 뜨임

마텐자이트 조직은 취약하기 때문에 표면부에 인장의 잔류 응력이 남아 있으면 불안정하여, 균열이나 파괴가 일어나기 쉽다. 따라서 용도에 따라 적당한 인성을 부여하기 위해서는 담금질 후에는 반드시 뜨임(tempering)처리를 하여 사용한다.

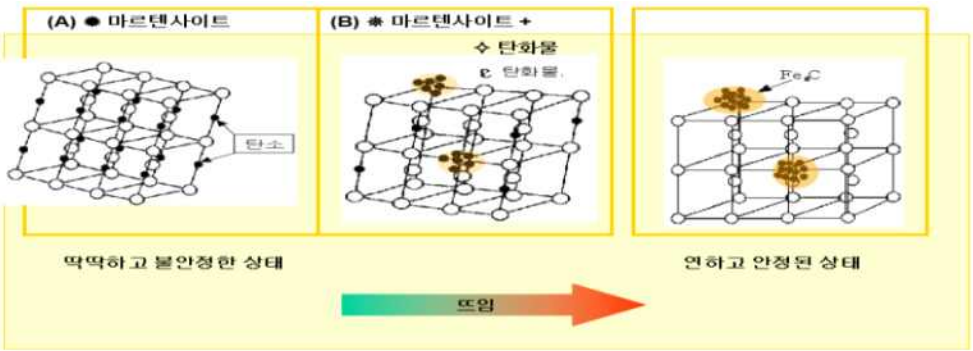
1) 뜨임의 개요

담금질한 강은 단단하지만 취성이있다. 강의 경도를 감하고 강도와 인성을 증가시키기 위하여 A1변태점이하의 온도로 가열한 후 적당한 속도로 냉각하는 조작을 말한다. 강을 담금질한 그대로 사용해서는 안되며 반드시 뜨임하여 사용하여야 한다.

- 목적 : 내부응력제거와 강인성 부여
- 요점 : 뜨임 온도에 주의
- 가열온도: A1변태점이하
- 냉각 : 조질(調質)시에는 급냉, 저온 뜨임이나 뜨임 경화일 때에는 서냉 (공냉)

2) 마텐자이트조직을 가열하였을 때 일어나는 변화

마텐자이트조직은 매우 불안정하므로 뜨임하여 사용하여야 한다.




[그림 1-54] 마텐자이트조직을 가열하였을 때 일어나는 변화

3) 뜨임의 방법

(가) 저온뜨임: 내부응력을제거할 때

- 공구강, 칼날, 게이지강과같이 높은 경도와 내마모성을 필요로 하는 경우에 한다.
- 온도는 150 ~ 200℃로 한다.
- Tempering시간은 25mm 두께 당 보통 30 ~ 60분을 표준으로 한다.
- 템퍼링온도로 부터의냉각은 공랭을한다.
- 장점

・담금질에 의한 응력 제거
・치수의 경년변화의 방지
・연마 균열 방지
・ 내마모성의 향상

(나) 고온뜨임: 인성을 증가하고자 할 때

- 구조용합금강과 같이 어느 정도의 경도와 강도를 필요로 하는 경우에 한다.
- 퀜칭, 템퍼링에의해서 인성을 향상시키는 열처리를 조질(調質)이라고 부르고 있다.
- 온도는 400 ~ 650℃에서 처리하여 급랭한다.
- 템퍼링온도로 부터냉각은 급랭(수냉이나 유냉)을 해야만 한다. 서냉을 하는 경우에는 템퍼링 취성이 나타나기 때문이다.

[표 1-6] 뜨임 취성과 종류

| 구 분 | 온도(℃) | 원인 | 대책 |
|---|---|---|---|
| 저온 뜨임취성 | 250 ~ 350 | 탄화물, 질화물, 인화물 형성 | 이 온도에서 뜨임을 피해야 한다. |
| 1차 뜨임취성 | 450 ~ 500 | 탄화물의 석출 | Mo이나 W를 첨가해서 방지 |
| 2차 뜨임취성 | 550 ~ 650 | 서냉에의한 탄화물의 석출 | Mo이나 W를 첨가해서 방지 |

[표 1-7] 성냥을 이용한 템퍼링온도 측정

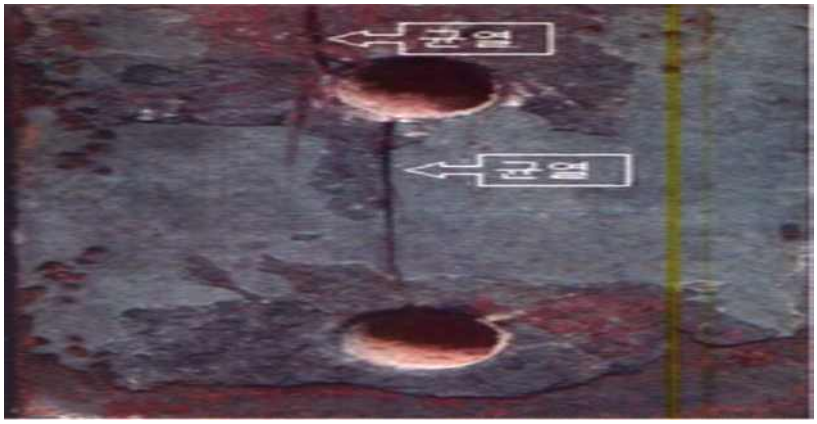
| 상태 | 템퍼링온도(℃) |
|---|---|
| 성냥에 점화 | 270 |
| 성냥개비 그으름 | 400 |
| 성냥개비 탄다 | 600 |

4) 뜨임 균열의 원인

뜨임의 급속가열: 노내 온도 불균일로 열응력이 집중된다. 잔류 오스테나이트의마텐자이트조직에 얼룩이 생겨 파손되기 쉽다. 뜨임 온도로부터 급랭 : 2차 경화되는 고속도강은 뜨임온도로부터의 급랭 시키면 열응력이 생겨 균열이 발생한다.

탈탄층이있는 경우 : 고속도강에서 강 내부에서 잔류오 스테나이트가마텐자이 트로 팽창되고 탄화물 석출에 의해 수축이 생겨 외부 탈탄층과조직이 달라 균열 발생한다.

담금질이 끝나지 않은 상태에서 뜨임 한 경우




[그림 1-55] 담금질 후 뜨임의 지연으로 생긴 균열(STD11)

5) 균열의 대책
- 가열을 천천히 한다.
- 응력이 집중되는 부분은 열처리상알맞게 설계한다.
- 잔류 응력을 제거한다.
- 결정입계의취성을 나타내는 화학성분을 감소시킨다.(Cr, Mo, V등은 취성방지)
- 고속도강은 뜨임 전에 탈탄층을 제거하고 뜨임 후 서랭하거나 유랭한다.
- Ms점, Mf점이 낮은 고합금강은 균열방지를 위하여 2번 뜨임을 한다.

마. 표면 경화[10][11]

최근에는 기계재료에 요구하는 조건이 매우 까다로워졌다. 즉, 내마멸성과 내충 격성은 상반되는 성질임에도 불구하고, 이 상반되는 두 가지 성질이 동시에 요구되는 경우가 많아지고 있다. 이와 같은 요구를 충족시키기 위하여, 표면은 견고하게 하여 내 마멸성을 높고, 내부는 강인하게 하여 내충격성을 향상시킨 이중 조직을 가지게 하는 열처리를 표면 경화법이라 한다. 표면 경화법은 물리적인 방법과 화학적인 방법으로 분류하고 있다.

10) NCS 분류번호 : 화학적 표면경화 열처리 (1601030317_17v5)
11) NCS 분류번호 : 물리적 표면경화 열처리 (1601030318_17v5)

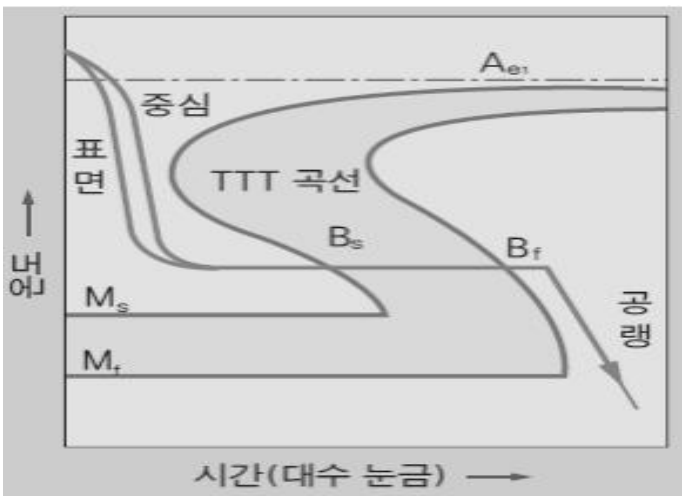
## 2. 특수 열처리[12)13)]

### 가. 심랭 처리

상온으로 담금질된 강을 다시 0℃ 이하의 온도로 냉각하는 작업을 심랭 처리라고 한다. 이 처리는 담금질된 강의 잔류 오스테나이트를 마텐자이트로 변태시키는 것을 목적으로 한다. 심랭 처리를 하면 공구강의 경도가 증가하여 성능을 향상시킬 수 있고, 측정 기기 또는 베어링 등의 정밀 기계 부품의 조직을 안정하게 하여 시효에 의한 모양 및 치수의 변화를 방지할 수 있다.
일반적으로, 담금질한 강은 내부 응력 및 조직 변화 등에 의하여 시간의 경과에 따라 팽창, 수축을 일으키고, 그 모양 및 치수가 제조할 때의 그것과 틀리게 될 수 있다.

### 나. 오스템퍼링

오스테나이트의 등온 변태 처리의 일종으로, [그림 1-56]과 같이 오스테나이트 상태로부터 $M_s$ 이상인 적당한 온도(약 250 ~ 450℃)의 염욕으로 담금질하여 과냉 오스테나이트가 염욕중에서 항온 변태가 종료할때까지 항온을 유지하고, 공기 중으로 냉각하는 과정을 오스템퍼링(austempering)이라고 한다. 이 때, 얻어지는 베이나이트 조직은 인성이 강하다. 이 방법에 의하면 담금질 변형과 균열을 방지할 수 있고 HRC 40~50 정도에서는 같은 경도의 열처리 제품에 비해 충격값, 인성 및 피로강도가 크므로 절삭용 공구와 특수 기계 부품의 열처리에 이용된다.




[그림 1-56] 오스템퍼링

12) NCS 분류번호 : 진공열처리·심랭처리 (1601030320_17v5)
13) NCS 분류번호 : 항온 염욕 열처리 (1601030319_17v5)

다. 마템퍼링

강을 오스테나이트 영역에서 [그림 1-57]과 같이 $M_s$와 $M_r$ 사이에서 항온 처리를 행하는 등온 변태 처리 방법을 마템퍼링(martempering)이라 한다. 오스테나이트 상태로부터 $M_s$ 이하의 염욕중에 담금질한다. 변태가 거이 종료될 때까지 같은 온도로 유지한 후 공기 중에서 냉각한다. 이와 같이 하면, 오스테나이트의 일부는 마텐자이트가 되고, 일부는 베이나이트의 혼합 조직이 된다.

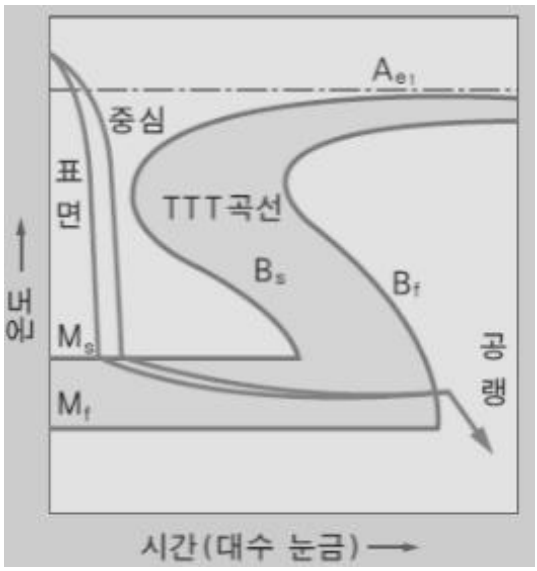
마템퍼링하면, 잔류 오스테나이트의 베이나이트화로 인하여 경도는 그다지 떨어지지 않으면서, 충격값이 큰 조직을 얻을 수 있다. 그러나 유지 시간이 긴 것이 결점이다.

라. 마퀜칭

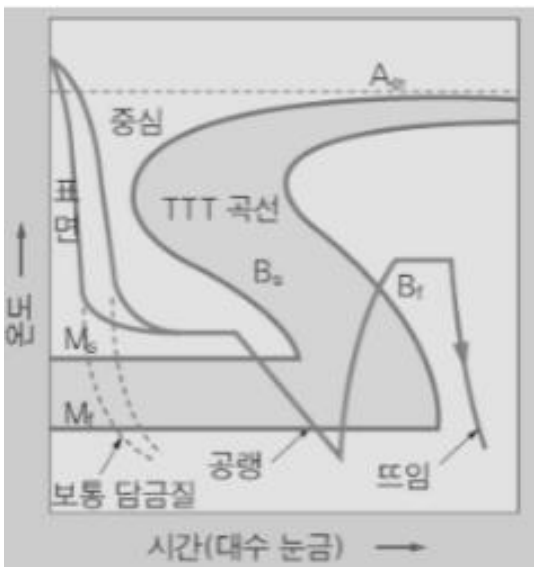
오스테나이트 상태로부터 $M_s$ 바로 위 온도의 염욕 중에 담금질하여 강의 내외가 동일한 온도가 되도록 항온 유지하고, 과냉 오스테나이트가 항온 변태를 일으키기 전에 공기중에서 $Ar''$변태가 천천히 진행되도록 하는 조작을 마퀜칭(marquenching)이라 한다.

마퀜칭에 의하면 물담금질보다는 경도가 다소 저하되나, 담금질 균열이 잘 생기지 않으므로, 고탄소강, 특수강, 게이지강, 베어링강 등과 물 담금질이나 기름담금질하면 균열이나 변형을 일으키기 쉬운 강종에 적합한 열처리 방법이다.

[그림 1-58]은 마퀜칭의 열처리 공정도를 나타낸 것이다.




[그림 1-57] 마템퍼링




[그림 1-58] 마퀜칭

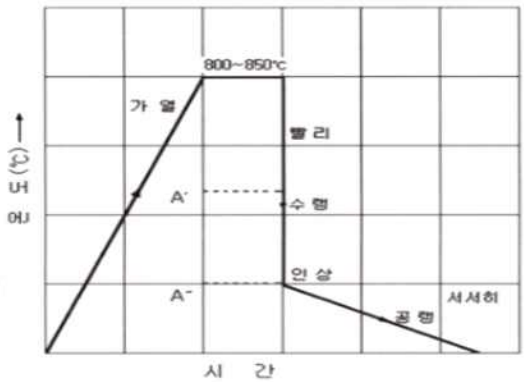
마. 시간 담금질

담금질 작업에 있어서 Ar′ 에서는 급냉하고 Ar″ 에서는 서냉하게 되면 중간온도에서 냉각속도를 변화시켜 주어야한다. 따라서 냉각속도의 변환을 냉각시간으로 조절하는 담금질을 시간담금질이라 한다. 즉 최초에는 수냉시켜 TTT곡선의 코 이하로 냉각될 때까지 온도를 감소시킨 후 인상하여 유냉 또는 공냉한다. 이와 같은 담금질 방법을 시간담금질 또는 인상담금질이라고 하며 변형 균열 및 치수변화를 최소화하기 위해 흔히 사용된다.

- 물건의 직경이나 두께는 보통3mm에 대해서 1초 동안 물속에 담근 후 즉시 꺼내어 유냉 또는 공랭시킨다.
- 강재를 기름에 냉각시킬 때에는 두께 1mm에 대해서 1초 동안 담근 후 꺼내어 즉시 공랭한다.
- 강재를 물에 담글 때 강이 식는 진동소리 (이때 약간의 '팡' 하는소리가 난다.) 또는 강이 식는 물소리가 정지되는 순간에 꺼내어 유냉 또는 공랭한다.
- 강재를 물에 담궈서 강재의 적열된 색깔이 없어질 때까지의 시간이 2배 정도를 물에 담근 후 꺼내어 유냉 또는 공랭한다.
- 강재를 기름 중에 담글 때는 기름의 기포가 올라 오는 것이 중지 될 때 공랭한다.

바. Ms 담금질

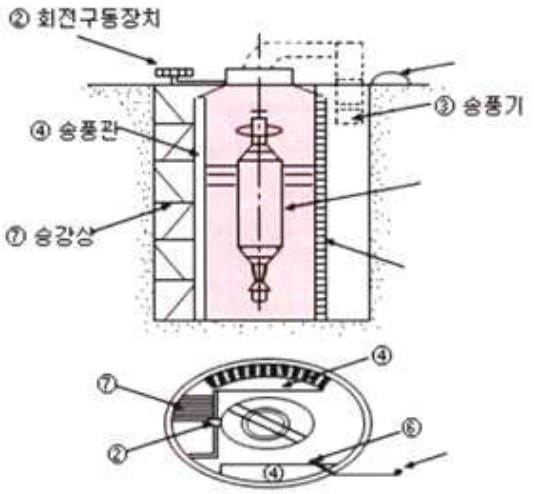
강재는 시간 담그질 또는 마퀜칭하면 담금질 균열이나 전체적인 제품변형은 방지되지만 Ms ~ Mf구간의 냉각을 서서히 진행 시키기 때문에 잔류 오스테나이트가 많아지면서 마르텐사이트로 변화하기 때문에 경도가 약간 상승되면서 칫수의 변형이 약간 생긴다. 이와 같은 형상을 담금질 시효라고 한다. 그러므로 시간 담금질 또는 마퀜칭의 장점과 단점인 Ms ~ Mf구간의 서냉을 급냉으로 하면 잔류오스테나이트를 적게 하는데 사용된다.



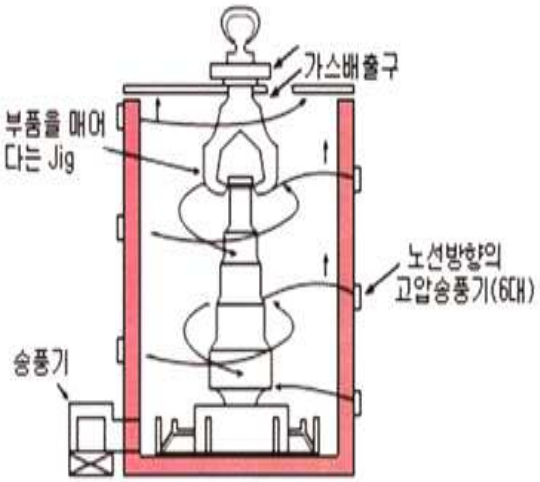

[그림 1-59] 시간 담금질

사. 분사 담금질(spray quecning)

담금질하여 경화되는 부분에 담금질 액을 분사 시키는 방법이다. 고주파담금질, 화염담금질에서 전체, 부분 경화시 일단 담금질법(조미니:jominy시험)과 마찬가지로 수냉시킨 강재의 끝부분은 극히 빠른 냉각 속도로 냉각되며 경화를 필요로 하지 않는 부분은 공랭시킨다.



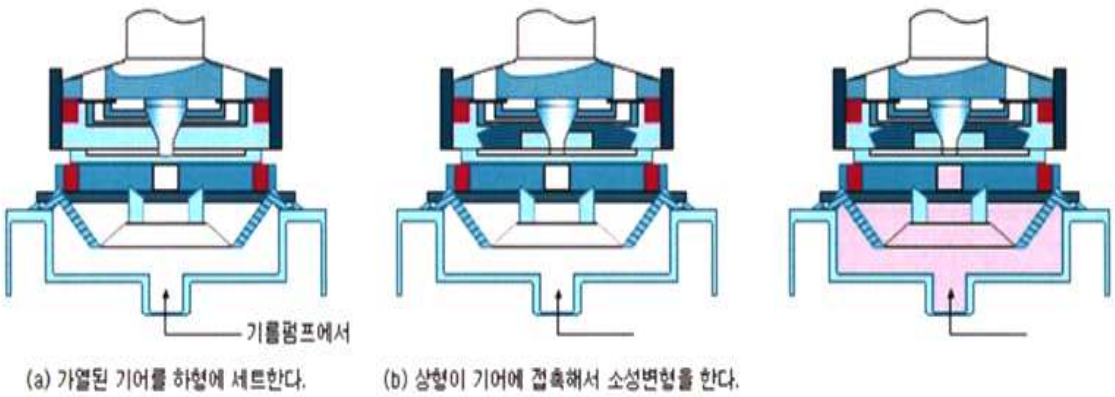

[그림 1-60] 분사 냉각 장치




[그림 1-61] 가스 냉각 장치

아. 프레스 담금질 (press quenching)

기어(gear)나 스프링(spring) 등의 담금질 변형을 일으켜서는 안 될 경우 금형으로 프레스(press) 한 채로 기름에 담금질하는 방법이다. 톱날, 면도날 등의 얇은 물건에는 die quenching을 한다.



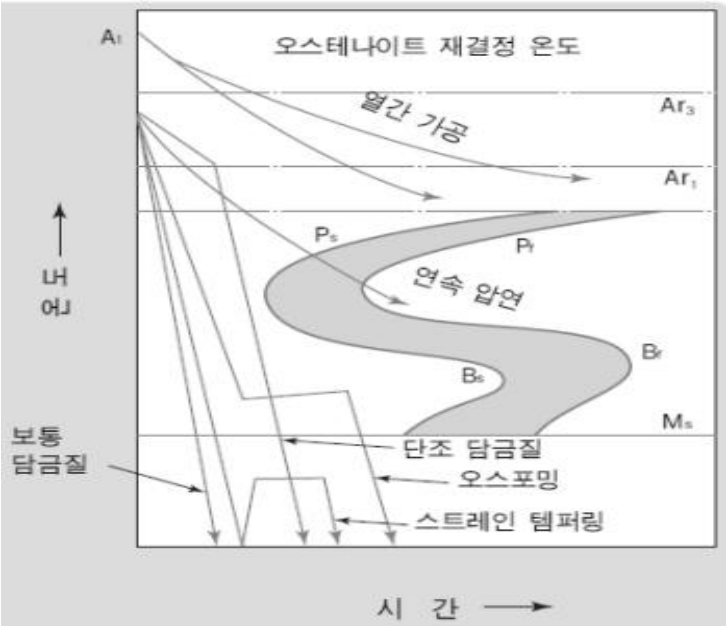

[그림 1-62] 프레스 담금질에 의한 기어의 담금질

자. 가공 열처리

가공 열처리(thermomechamcal treatment)란 소성 가공(plastic working)과 열처리를 유기적으로 결합시킨 처리 방법으로서, 보통의 열처리 또는 소성 가공을 독립적으로 실행했을 때 얻어질 수 없는 연성이나 인성을 향상시키고자 할 때 이 가공 열처리 방법을 사용한다. 이 방법의 대표적인 것은 고장력강을 만들 때 결정립의 미세화를 위한 제어  압연과 초강인강의 제조에 이용되는 오스포밍(ausforming)이 있다.

1) 오스포밍

오스포밍은 준안전 오스테니아트 영역에서 성형가공(forming)한다는 뜻으로, 이 방법으로 인장강도 300㎏/㎟ 급의 고강인성의 강을 얻게 된다.




[그림 1-63] 각종 가공 열처리 곡선

가공열처리는 [그림 1-63]에서와 같이 오스테나이트강을 재결정 온도 이하와 $M_s$ 점 이상의 온도 범위에서 변태가 일어나기 전에 과냉 오스테나이트 상태에서 소성 가공을 한 후 냉각하여 마텐자이트화하는 조작이다.

2) 제어 압연

시편을 오스테나아티화한 후 nose 구역을 무사히 통과하도록 급랭하고 시편의 내외가 동일온도에 도달할 후 적당한 방법으로 소성가공을 하여 공랭, 유냉 또는 수냉으로 마텐자이트 변태를 일으키게 한다.

심화학습

<마래징>
마텐자이트 조직에 시효경과를 일으켜서, 마텐자이트와 시효의 두 개의 효과에 의해 강을 강화하는 처리법을 마래징(maraging)이라 한다. 주로 Co, Mo, Ti, Al, Nb 등의 원소를 첨가하고 Ni 강을 오스테나이트 영역에서 공랭하여 마텐자이트화한 후 450~500℃로 가열하여, 마텐자이트 조직속에 Ni3Ti, Ni3Al, Ni3Mo, Fe2Mo 등의 금속간 화합물을 석출시키면 매우 강하고 단단한 재료를 얻을 수 있다.
이것은 고장력강에 해당되며 일명 마래징강이라고 부른다. 표1-9는 마래징강의 보기로, 18% Ni계, 20% Ni계,25% Ni계가 있다. 이 강은 금속재료 중에서 가장 강도가 높은 강으로, 인장강도의 값으로 240kg급 마래징강이라 부른다.

[표 1-8] 마래징강의 보기

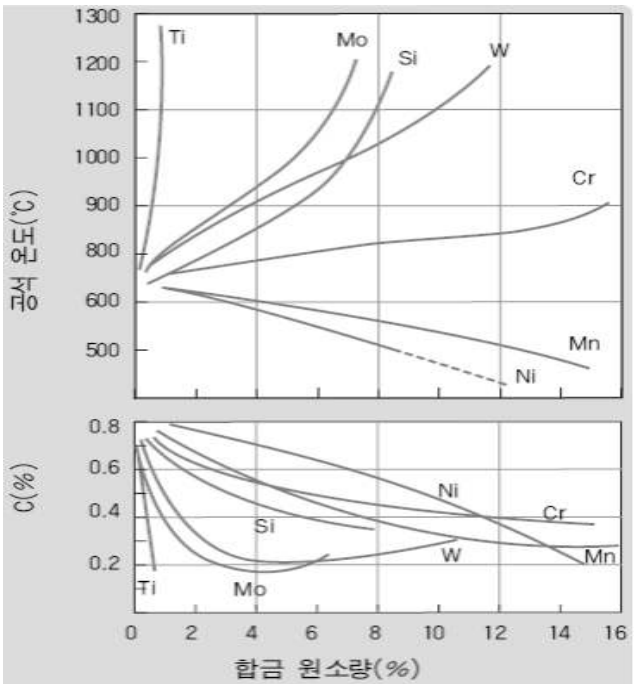
| 종류 | 합금 원소 | | | | | | 기계적 성질 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Ni | Co | Mo | Ti | Al | 기타 | 인장강도 [kgf/㎟] | 인장강도 [N/㎟] | 연신율 (%) | 단면 수출률 (%) |
| 18 Ni maraging 강 | 18.0 | 8.0 | 5.0 | 0.75 | 0.10 | - | 210 | 2058 | 12 | 55 |
| 18 Ni maraging 강 | 18.0 | 12.0 | 4.5 | 1.50 | 0.10 | - | 240 | 2352 | 10 | 50 |
| 20 Ni maraging 강 | 20.0 | - | - | 1.50 | 0.20 | 0.6Nb | 180 | 1764 | 12 | 53 |
| 25 Ni maraging 강 | 20.0 | - | - | 1.50 | 0.20 | 0.5Nb | 190 | 1862 | 11 | 50 |

# 제 4 장 강(鋼)의 열처리 효과와 영향

## 1. 합금원소의 영향[14)]

강의 열처리성은 그 강의 조성에 따라 현저한 영향이 있으며, 특히 합금 원소가 담금질의 경화 현상에 미치는 영향은 매우 중요하다. 따라서 이와 관련되는 변태점과 임계 냉각속도에 끼치는 합금원소의 영향에 대하여 알고 있어야 한다.

또, 강을 담금질 경화하여 사용할 때에는 뜨임처리도 수반됨으로 마텐자이트의 분해에 대한 합금원소의 영향에 대해 이해하고 있어야 한다. 탄소강에서 A1변태점과 공석조성은 합금원소에 따라 변화한다. [그림 1-64]는 공석온도와 공석조성이 탄소량에 끼치는 합금원소의 영향을 나타낸 것이다.



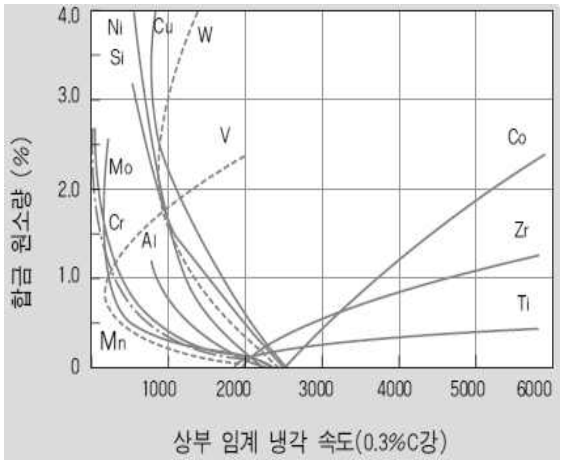

[그림 1-64] 합금원소의 영향

즉, $A_1$ 변태점은 Ti, Mo, W, Si 원소에 의해 급격하게 상승하며, Cr에 의해서는 비교적 완만하게 상승하고 있다. 그러나 Mn, Ni 원소에 의해서는 역으로 저하되고 있다. 그리고 탄소강의 공석조성은 거의 합금원소에 의해 저탄소강 쪽으로 옮겨가 2% W의 강에서는 탄소량이 0.33%에서 공석조성이 된다.

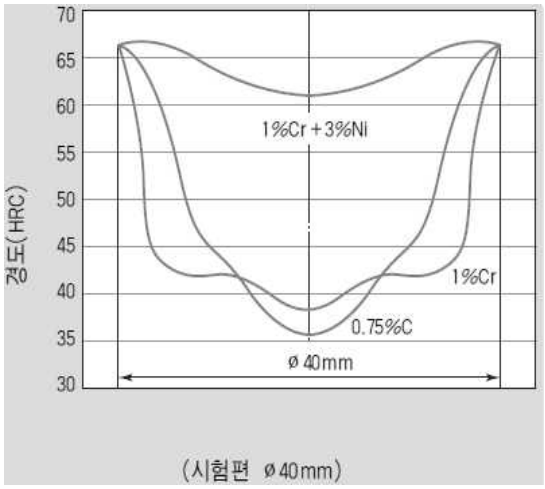
14) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

가. 상부임계 냉각속도에 끼치는 영향

[그림 1-65]는 강의 상부임계 냉각속도에 끼치는 합금원소의 영향을 나타낸 보기이다. 여기서 0.3%C강에 여러 가지 원소를 첨가하여, 800℃와 600℃ 사이의 평균 냉각속도를 측정한 결고, 임계 냉각속도는 Mn, Cr, Mo, V, Ni 그리고 Al 등에 의해 매우 늦어지는 것을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 원소를 함유하는 강은 탄소강에 비교하여 냉각속도를 느리게 하여도 마텐자이트 조직을 얻을 수 있게 되어, 담금질 경화에는 알맞게 된다.




[그림 1-65] 강의 임계 냉각속도에 끼치는 함금원소의 영향




[그림 1-66] 담금질 경도에 미치는 원소의 영향

그러나 풀림이나 노멀라이징 할 때에 냉각속도에 주의하지 않으면 이외의 경화로 연화에 어려움이 생길 때도 있다.

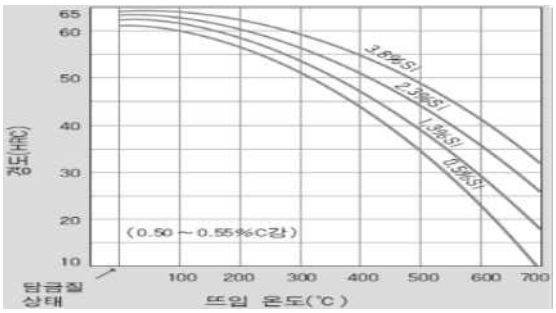
Co는 임계 냉각속도를 빠르게 하는 특별한 원소에 속한다. 그리고 V, Zr, Ti 등은 어느 정도의 양까지는 임계냉각 속도를 느리게 하지만 그 한도를 넘어서 많아지게 되면 역작용을 한다.

일반적으로 임계 냉각속도를 느리게 하는 원소를 함유하고 있는 강은 [그림 1-66]에서와 같이 질량효과가 낮아진다. [그림 1-66]에서 0.75% C강의 경우에는 표면의 경도가 HRC 67점도로 매우 경화되어 있는데, 내부는 원래의 연한 상태로 경화되고 있지 않다. 이 강(0.75%C)에 Cr 1%를 첨가한 것과 Cr 1%와 Ni 3%를 첨가한 두 조성의 강을 같은 조건에서 담금질을 한 결과를 보면, 그림 1-54에서와 같이 표면의 경도는 같으나 경화 깊이는 현저한 차가 있음을 알 수 있다.

가. 뜨임경도에 미치는 합금원소의 영향

1) Si 의 영향

[그림 1-67]은 0.50~0.55%C 강에 Si를 0.5~0.38% 첨가한 강을 뜨임에 의한 경도의 변화를 보여주고 있다. 여기서는 Si가 증가하게 되면 점차 경화됨을 알 수 있다.




[그림 1-67] 뜨임경도에 미치는 Si의 영향

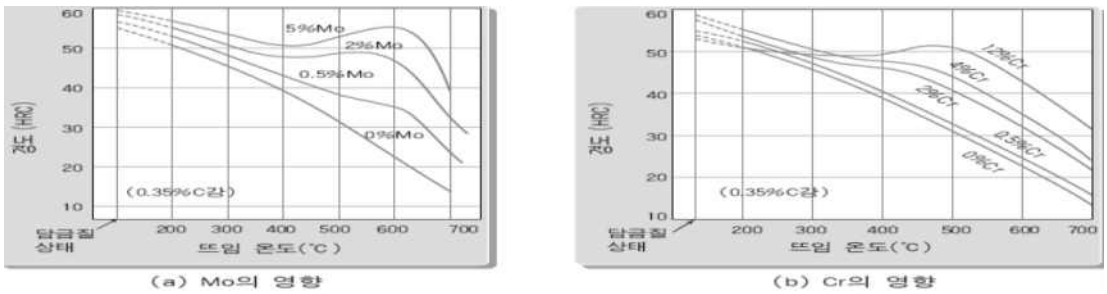
2) Cr, Mn의 영향

잔류 오스테나이트의 분해는 Cr이나 Mn과 같은 원소에 의해 두드러지게 늦어지며, 합금량이 많을 때에는 120 ~ 260℃에서는 거의 분해되지 않는 경우도 있다.

이와 같은 잔류 오스테나이트는 고온 뜨임 과정에서 탄화물을 석출하여 고용 탄소량이 감소하게 되면 냉각할 때 마텐자이트로 변태하여 경화 현상이 일어나게 된다. 고속도강이나 다이스강을 담금질하게 되면 잔류 오스테나이트가 남아 있게 되는데, 이를 완전히 분해하기 위해서는 뜨임 조작을 여러 차례 반복해야 한다.

3) Mn, Cr, Mo 등의 영향

450℃ 이상의 고온 뜨임에서는 뜨임온도의 상승에 따라 탄소 이외의 합금원 자의 이동과 확산이 일어난다. 이에 따라 Cr, Mn, 및 Mo 등은 시멘타이트로부터 이탈하여 페라이트에 고용된다. 따라서 시멘타이트에는 점차로 Cr, Mn, Mo등이 다량으로 함유하게 되고 Ni, Mn, Mo 등의 고용량은 감소한다. 또한, 뜨임온도가 500 ~ 600℃가 되면 Cr, Mo, W, V과 같은 탄화물 생성원소를 어느 정도이상 함유하는 합금강에서는 시멘타이트가 점차로 특수탄화물로 변화하여 뜨임경화 형상을 일으킨다.




[그림 1-68] 뜨임 경도에 미치는 Mo과 Cr의 영향

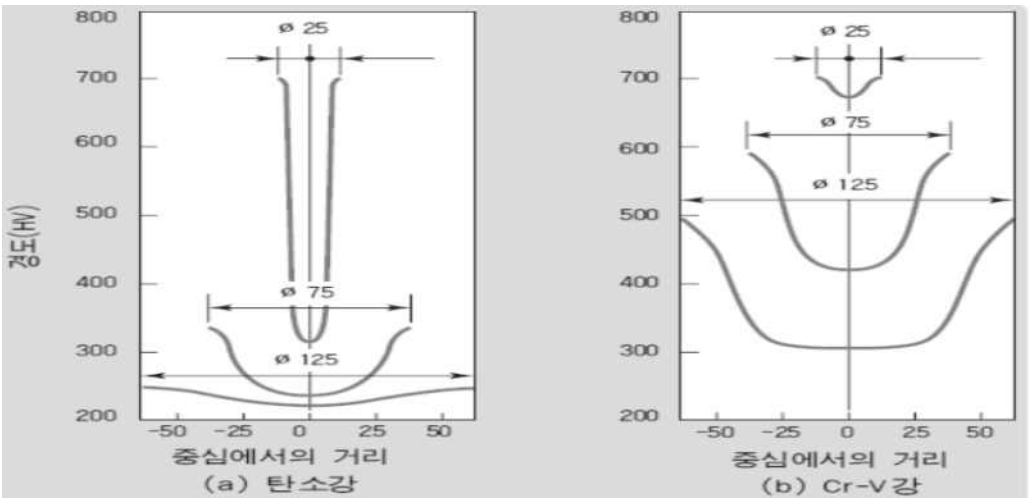
[그림 1-68]은 0.35%C강에 Mo과 Cr을 첨가하였을 때의 뜨임 연화곡선으로 두 원소 모두 연화를 강력히 저지하는 작용이 있음을 보여주고 있다. 이 경우 400 ~ 600℃의 뜨임으로 경도가 증가하고 있는 형상을 2차 경화(二次硬化: secondary hardening)라 하며 Mo2C 도는 Cr7C3 등의 특수 탄화물의 석출에 의한 경화이다.

## 2. 강(鋼)의 담금질 효과[15)]

### 가. 질량 효과

강을 담금질 할 때, 재료의 표면은 급랭에 의해 담금질이 잘 되는데 반해 재료의 중심에 가까울수록 담금질이 잘되지 않는다. 따라서 같은 조성의 강을 같은 방법으로 담금질해도 그 재료의 굵기나 두께가 다르면 냉각속도가 다르게 되므로 담금질 깊이도 달라지게 된다. 이와 같이 강재의 크기, 즉 질량의 크기에 따라 담금질의 효과에 끼치는 영향을 질량 효과(mass effect)라 한다. 또한. 같은 질량의 재료를 같은 조건에서 담금질하여도 조성이 다르면 담금질 깊이가 다르다. 이 때 담금질의 난이성을 강의 담금질성(hardenability)이라 한다.

담금질할 때 강의 냉각속도는 표면이 가장 빠르고 내부에 갈수록 느리다. 예를 들면, 동일한 종류의 강을 지름의 크기가 다른 원주상의 시험편을 같은 조건에서 담금질한 다음 횡단면의 경도 분포를 측정하면 [그림 1-69]와 같이 다르게 나타난다. 즉, [그림 1-69]의 (a)는 동종의 탄소강으로 그 지름이 ø25, ø25, ø75, ø125로의 다른 크기의 시험편을 수냉 담금질 하였을 때의 단면의 경도 분포를 나타낸 것이다.




단위: ㎜ 물 담금질한 환봉의 단면

[그림 1-69] 담금질한 강의 경도 분포

15) NCS 분류번호: 템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

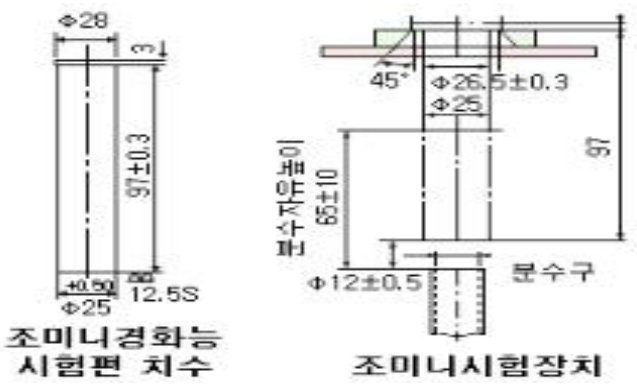
[그림 1-69]의 (a)에서 비교적 가는 봉(ø25)은 중심부와 주변부의 경도의 차가 매우 큰데에 비해, 지름이 ϕ125로 큰 경우에는 내외부의 경도차가 거의 없거나 작은 편이며 전체적으로 경도가 낮은 것을 알 수 있다. 이것은 환봉의 바깥면과 중심부의 냉각속도가 다르며, 또 굵어질수록 전체적으로 냉각속도가 늦어짐을 알 수 있다. 즉 질량 효과가 크다.

한편, [그림 1-69]의 (b)는 재질이 Cr-V강의 경우로 그림의 (a)와 같은 조건에서 담금질한 것이다. 이 경우에는 경도의 분포가 보다 고르고 질량 효과가 적은 것을 알 수 있다.

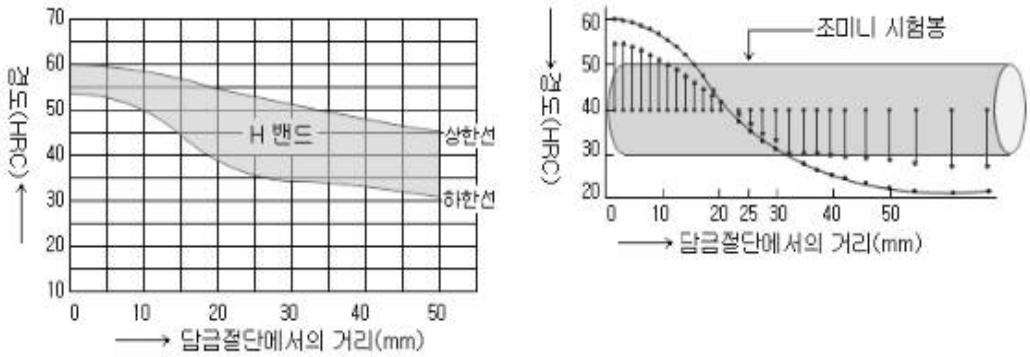
## 나. 담금질성 시험

질량 효과가 작은 강은 냉각속도를 빠르게 하지 않아도 되므로 담금질에 의한 균열이나 변형이 작고, 또 굵어도 중심부까지 경화된다. 이와 같이 재료의 크기에 따라 담금질 효과의 차이가 큰 것을 질량 효과가 크다고 하며, 또 담금질성이 나쁘다고도 한다. 한편, 강에 Ni 또는 Cr 등의 합금원소를 첨가하면 치수가 큰 것일지라도 담금질이 잘된다. 즉 질향의 변화에 대해 둔함으로 질향 효과가 적고 담금질성은 좋다고 말한다. 담금질성은 강 중의 탄소량에 따라 변하며 또 함유원소의 종류와 양에 따라 변화한다.

이에 따라 강에 특수 원소를첨가 하여 질량 효과를 적게 한 강이 중요하게 되었다. 강의 담금질성을 판단하는 방법에는 임계냉각속도(critical cooling velosity)를 사용하는 방법, 임계직영(critical diameter)에 의한 방법, 그리고 조미니 시험(Jominy test)등이 있다. 이 중에서 조미니 시험법이 일반화되어 있다. 담금질성을 표시하는데 있어서 문제점으로는 시료의 모양, 담금질 온도, 담금질액 등을 동일 조건으로 하여도 담금질액에 대한 교반 방법에 따라 냉각속도가 달라져 담금질 상태가 다르게 나타난다. 조미니 서험법에서는 이러한 점을 해소하기 위해 냉각액을 분사하는 방법을 사용하고 있다. 가공한 시험편을 담금질 온도로 가열한 다음 30분간 유지하고 5초 이내에 [그림 1-70]의(a)와 같은 장치에 수직으로 매달아 놓고, 아래로부터 분수에 의해 담금질하는 방법이다.




[그림 1-70] 경화능 시험편과 시험장치




[그림 1-71] 경화능 시험 곡선

담금질이 끝나면 시험편의 축방향에 평행한 전장의 면(또는 서로 180° 로 대응하는 양면)에 깊이 0.4㎜를 연마하여 평면을 만들고, 담금질 한 일단에서 1.5㎜의 점, 다음부터는 5㎜ 간격으로 경도(HRC 또는 HV)를 측정하여, 이것을 그림 1-56의 (b)와 같이 경도의 변화를 선도화 하면, 그림(c)와 같은 조미니 선도를 얻을 수 있다.

이 선도에서 비교적 담금질성이 떨어지는 탄소강은 담금끝에서 멀어질수록 경도가 급히 저하되는데 반해, Mn-Cr강의 경우는 서서히 저하됨을 알 수 있다. 이와 같이 조미니 곡선에 의해 강재의 담금질성을 비교할 수 있다.

**읽을거리**

<물은 차갑게, 기름은 뜨겁게>

담금질에 사용되는 물은 40℃이하라야 한다. 40℃를 넘으면 담금질경화가 안된다. 물은 차가우면 차가울수록 냉각효과가 크므로 담금질이 잘 된다. 담금질경화가 잘 되는 것과 담금질균열이 생기는 것과는 별개의 문제이며 이것을 혼돈해서는 안된다. 차가운 물을 사용해서 잘 담금질하고 시간 담금질(단속담금질)에 의해 깨어지지 않게 하는 것이 중요하다. 이와 반대로 기름은 차가우면 안된다. 데워서 사용하는 것이 좋으며 60~80℃ 적당한 온도이다. 기름은 차가우면 끈적끝적하여 냉각효과가 떨어지기 때문이다.

<물에 비누는 금물이고 소금은 환영 >

담금질용의 물에 비누가 섞이면 냉각효과가 몸시 저하하여 담금질경화가 안된다. 옛날부터 담금질용의 물탱크 곁에서 비누가 손을 씻으면 안된다고 금지되어 온 것도 이 때문이다. 반대로 물에 소금이 섞이면 냉각 효과가 중대하여 담금질얼룩같은 것이 생기지 않는다. 가장 효과적인 염분의 비율은 중량으로 10%이다.

## 3. 냉각제와 냉각능[16)]

### 가. 냉각제

열처리에서 가열한 다음 냉각하는 방법에는 공랭, 수냉, 유냉, 정반 냉각 등 여러 가지 방법이 있다. 노멀라이징을 하거나 뜨임을 한 다음의 냉각은 주로 공랭을 실시하고, 수냉 및 유냉은 그 냉각 효과가 크기 때문에 담금질할 경우에 주로 사용된다. 이 때, 사용하는 냉각재에 따라 열처리 결과가 좌우된다.

담금질액의 냉각 효과를 지배하는 인자에는 여러 가지가 있다. 즉 ㈀ 열전도도, ㈁ 비열, ㈂ 기화열, ㈃ 점성, ㈄온도 등이다. 이 중에서 어느 것이 주된 인자인지는 액체의 종류에 따라 다르다. 물 또는 수용액에서 점도는 낮으므로 기화 열이 높을수록 냉각 능력이 크다. 또, 기름과 같이 점도가 높은 것은 기화열보다 점성이 더 큰 영향을 끼친다.

예를 들면, 물에서는 온도가 올라가면 기화하기 쉽게 되고, 수증기가 강 표면을 둘러싸므로 냉각이 느리게 된다. 그런데 기름에서는 온도가 올라가면 점도가 낮게 되고, 대류가 활발하여 냉각이 강하게 된다. 즉, 물과 반대 현상이다.

일반적으로 냉각제의 냉각속도는 그 열전도도, 비열 및 기화열이 크고 끓는 점이 높을수록 크며, 점도나 휘발성이 적을수록 크다. 냉각 속도가 최대인 것이 냉각제로서 가장 좋다고는 할 수 없고 너무 바르면 변형이나 균열이 생기기 쉬우므로, 강의 성분이나 모양에 따라 적당한 담금질제를 선택해야 한다.

이 밖에 가열한 기름, 용융금속(Pb 도는 그 합금) 그리고 용융염 등의 열욕(熱浴)에 담금질하는 방법이 있으며, 일반적으로 200℃ 정도의 기름, 200 ~ 400℃의 용융 금속 또는 용융염이 사용된다.

### 나. 냉각능

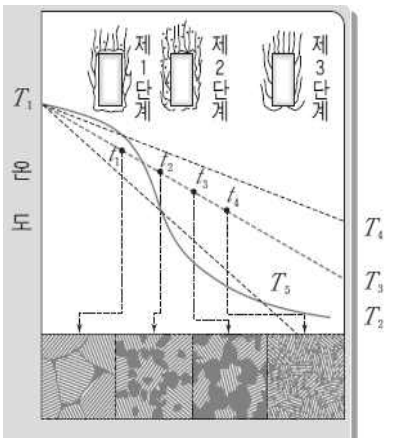
공업용으로 사용되는 열처리용 냉각제는 값이 싸고 변질이 안되며, 고온으로 가열된 강을 냉각하는 능력이 커야한다. 그 능력은 [그림 1-72]에서와 같이 냉각의 제1단계가 빨리 끝나고, 제 2단계의 600~500℃ 사이에서의 냉각속도가 크며, 제 3단계의 냉각속도는 비교적 작은 것이 좋다. 일반적으로 제1단계가 길고, 제2단계의 냉각속도가 작은 것(50℃ 이상의 물의 경우)은 트루스타이트의 발생이 많아서 담금질의 목적에 맞지 않다. 또, 제3단계의 냉각속도가 큰것(염류의수용액)은 담금 균열이 생기기 쉽다. 물도 제2단계의 냉각속도와 제3단계의 냉각속도가 크므로 담금 균열이 발생하기 쉽다.

그러나 기름은 제3단계의 냉각속도가 적어서, 담금균열은 잘 일어나지 않으나 제2단계의 냉각속도가 작고, 트루스타이트의 발생이 용이하다. 따라서 담금질성이 나쁜

16) NCS 분류번호 : 템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

재료에는 사용하지 않는다.

[표 1-9]는 지름이 4㎜인 니크롬으로 만든 구형의 것을 860℃에서 정지한 18℃ 물 속에 넣었을 때의 냉각 속도를 1로 하고, 이를 기준으로 하여 여러 가지 담금질제의 냉각 능력을 비교한 값이다.




제 1 단계 : 시료가 냉각액의 증기에 감싸이는 단계로 냉각 속도가 극히 느리다. (증기막 단계)

제 2 단계 : 증기막의 파괴로 비등이 활발하게 일어나는 단계로, 냉각 속도가 최대가 된다. (비등 단계)

제 3 단계 : 시료 온도가 냉각액의 비등점보다 내려간 상태로, 대류에 의해 열이 뺏기는 단계이며, 냉각 속도가 느려진다. (대류 단계)

[그림 1-72] 강의 담금질 냉각 곡선

[표 1-9] 여러 가지 냉각제의 냉각능

| 물질 | 720 ~ 550℃ | 200℃ | 물질 | 720 ~ 550℃ | 200℃ |
|---|---|---|---|---|---|
| 10%식염수 | 1.96 | 0.98 | 물[50℃] | 0.17 | 0.95 |
| 물[18℃] | 1.00 | 1.00 | 기름10%와 물과의 에멀션화액 | 0.11 | 1.33 |
| 30%Sn-70%Cd | 0.77 | 0.009 | 비눗물 | 0.077 | 1.16 |
| 중유 | 0.30 | 0.55 | 철판 | 0.061 | 0.011 |
| 글리세린 | 0.20 | 0.89 | 물[100℃] | 0.044 | 0.71 |
| 기계유 | 0.18 | 0.20 | 정지공기 | 0.0028 | 0.077 |

# 제 5 장 탄소강의 열처리

## 1. 기계구조용 탄소강의 열처리[17][18]

### 가. 풀림

완전풀림 외에 등온풀림, 구상화 풀림 및 균질화 풀림 등이 있다. 완전풀림은 아공석강에서는 Ac3점 이상, 과공석강에서는 Ac1점 이상의 온도로 가열하여 그 온도에서 충분한 시간동안 유지하여 오스테나이트 단상, 또는 오스테나이트와 탄화물의 공존조직으로 한 후, 극히 서서히 냉각하여 강을 연화시키는 조작이다. 따라서 이때의 조직은 아공석강에서는 페라이트와 조대한 펄라이트, 또한 과공석강에서는 망상 시멘타이트와 조대한 펄라이트로 된다.

일반적으로 열간압연 도는 단조를 행한 강재는 조직이 불균일하거나 잔류응력이 존재하거나 또는 충분한 연화상태로 존재하지 않으므로 그 상태로는 기계절삭가공이나 소성가공하기 어렵다. 따라서 이러한 경우에 강을 연화시켜 절삭 등을 용이하게 하는 것이 완전풀림의 목적이지만, 이 조작은 탄소량 약 0.6% 이하의 기계 구조용강에 주로 적용되는 것으로, 탄소량이 이보다 많은 공구강 등에서는 구상화풀림을 행하는 것이 일반적이다. 그 이유는 공구강에서는 온전풀림에 의해서는 절삭가공에 적절한 연성이 얻어지지 않기 때문인데, 이에 반해 탄화물을 구상화시키면 피삭성 외에도 담금질에 의한 변형이나 균열 발생을 감소시킨다는 점에서도 유리하고, 사용중의 내마모성도 좋아지기 때문이다.

한편 탄소량 0.6 % 이하의 구조용강에 구상화풀림을 하면 너무 연해져서 피삭성이 나빠지므로, 이때에는 퍼라이트와 조대한 펄라이트의 이중조직으로 하는 것이 유리하다.

[표 1-10] 기계구조용 탄소강의 완전 풀림조건 및 풀림경도

| 기호 | 탄소량(%) | 풀림온도(℃) | 풀림경도(HB) |
|---|---|---|---|
| SM20C | 0.18-0.23 | 870-920 | 111-149 |
| SM25C | 0.22-.028 | 860-910 | 111-187 |
| SM30C | 0.27-0.33 | 850-900 | 126-197 |
| SM35C | 0.32-0.38 | 840-890 | 137-207 |
| SM40C | 0.37-0.43 | 830-880 | 137-207 |
| SM45C | 0.42-0.48 | 820-870 | 156-217 |
| SM 0C | 0.47-0.53 | 820-860 | 156-217 |
| SM55C | 0.52-0.58 | 800-850 | 156-217 |

17) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징열처리 (1601030315_17v5)
18) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

완전풀림의 가열온도는 아공석강에서는 Ac3점 이상 30-50℃, 과공석강에서는 Ac1점 이상 약 50℃ 부근이 적절하다. 너무 고온으로 가열하면 오스테나이트 결정립이 조대화되므로 주의하여야 한다.

[표 1-10]에서는 여러 가지 기계구조용 탄소강을 완전풀림할 때의 가열온도와 30℃/h의 서냉을 요하는 온도범위를 나타낸 것으로, 예를 들어 SM40C 강에서는 790-870℃에서 오스테나이트화한 후 냉각 시 790-650℃의 온도범위는 30℃/h 정도로 서냉하여 변태 완료시키고, 그 이후에는 노에서 꺼내 공랭을 해도 좋다는 것이다.

한편 군질화풀림은 1050-1300℃ 정도의 고온으로 가열하여 강재 내부의 탄소, 인, 황 및 망간 등의 미세 편석을 어느 정도 확산 균질화시켜 그 해로움을 제거하는 조작이다.

나. 노멀라이징

열간가공으로 조대화된 조직을 미세화시켜서 강의 성질을 개선하고, 불균일한 가공으로 인한 조직의 국부적인 차이 및 내부응력을 제거하여 균일한 상태로 하며, 저탄소강의 피삭성을 향상시켜서 가공면을 깨끗하게 하기 위하여 행해지는 처리가 노멀라이징이 다. 대부분의 저탄소강이 노멀라이징 상태로 사용되는 데에 비해, SM30C-SM45C의 중탄소강은 노멀라이징 상태로도 널리 상요되고 있지만, 담금질의 전처리로 행해지는 경우도 많다. [표 1-11]에서는 기계구조용 탄소강의 노멀라이징 온도와 노멀라이징 후의 기계적 성질을 나타낸 것이다. 노멀라이징 처리 온도는 단강품과 다소 차이가 나지만, 가열시간은 풀림, 노멀라이징 모두 탄소강 단품강에 준해서 행하는 경우가 많다. 보통은 기계구조용 탄소강이 탄소강 단품강에 비해서 승온시간과 유지시간을 약간 짧게 하고 있다.

한편 노멀라이징의 가열온도가 일반적으로 풀림온도보다 높은 이유는 노멀라이징은 풀림보다 냉각에 소요되는 시간이 현저하게 짧고, 더구나 제품의 최종 열처리로 행하는 경우가 많기 때문에 고온으로 가열하여 성분원소의 확산을 통한 조직의 균일화를 도모하기 위한 것이다.

[표 1-11] 기계구조용 탄소강의 노멀라이징 온도 및 기계적 성질

| 기호 | 노멀라이징 온도 (℃) | 항복점 (kg/mm2) | 인장강도 (kg/mm2) | 연신율(%) | 경도(HB) |
|---|---|---|---|---|---|
| SM15C | 880-930 | 24 이상 | 38 이상 | 30 이상 | 109-167 |
| SM25C | 860-910 | 27 이상 | 45 이상 | 27 이상 | 123-183 |
| SM35C | 840-890 | 31 이상 | 52 이상 | 23 이상 | 149-207 |
| SM45C | 820-870 | 35 이상 | 58 이상 | 20 이상 | 167-229 |
| SM50C | 810-860 | 37 이상 | 62 이상 | 18 이상 | 179-235 |

다. 담금질

SM30C 이상의 중탄소강은 담금질, 뜨임 처리를 행하여 기계적 성질을 향상시켜서 사용하는 경우가 대부분이다. 담금질 온도는 Ac3 이상 30-50℃의 온도범위가 사용되고 있으며, 그 표준이 [표 1-12]에 나타나 있다.

[표 1-12]에 나타난 온도보다 낮은 온도에서 담금질하면 담금질 효과가 감소하고, 더 높은 온도에서 담금질하면 경화는 잘 되지만 결정립의 조대화를 초래하여 담금질 균열을 일으키기 쉽고, 뜨임 후의 인성이 저하된다.

[표 1-12] 기계구조용 탄소강의 담금질 온도

| 강의 종류 | SM 30C | SM 35C | SM 40C | SM 45C | SM 50C | SM 55C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 담금질 온도(℃) | 850-900 | 840-880 | 830-880 | 820-870 | 810-860 | 800-850 |

가열시간 및 유지시간을 [표 1-13]에 나타냈는데, 풀림이나 노멀라이징의 경우에 바하여 짧은 편이다. 그러나 장입품의 형상, 가열로의 구조 및 장입방법 등 을 고려하여 가열 및 유지시간을 적당히 조절하는 것이 좋다.

[표 1-13] 기계구조용 탄소강의 담금질 온도의 가열시간 및 유지시간

| 두께 (mm) | 가열시간 (℃) | 유지시간 (h) |
|---|---|---|
| 25 | 약 1.0 | 약 0.5 |
| 50 | 1.0-1.5 | 0.5 |
| 75 | 1.0-1.5 | 1.0 |

담금질 냉각제로는 물과 기름이 주로 사용되는데, 일반적으로 탄소강은 경화능이 작기 때문에 유냉(50-60℃) 보다는 수냉(20-30℃)하는 것이 널리 사용되고 있다.

한편 조립강(粗粒鋼)이 세립강(細粒鋼)보다 경화능이 우수하여 경화깊이가 크지만, 열처리 후의 강재의 성질은 세립강이 비교적 우수하다. 즉 세립강이 인성이 크고, 변형이 작으며, 내부응력도 작아서 담금질 균열도 일으키기 어렵다는 등의 우수한 성질을 갖고 있다. 탄소강은 합금강에 비해 담금질 조작의 근소한 차이가 담금질 변형, 담금질 균열의 발생 등에 민감하게 영향을 주기 때문에 담금질 부품의 형상을 고려해서 가장 적당한 방법을 적용해야 한다. 형상이 복잡한 부품이나 두께가 균일하지 않은 부품을 수냉하면 담금질 균열, 담금질 변형이 발생하기 쉬우므로 유냉을 행하는데, 이 때에는 다소 높은 탄소량을 갖는 강종을 사용한다.

라. 뜨임

담금질에 의하여 생긴 조직을 변태, 또는 석출을 진행시켜 안정한 조직으로 하고 동시에 잔류 응력을 감소시켜 필요로 하는 성질과 인성을 얻기 위하여 담금질한 강을 A1점 이하의 적당한 온도까지 가열, 냉각시키는 조작을 뜨임(tempering)이라 한다.

탄소강은 담금질 효과가 균일하지 않기 때문에 뜨임을 하는 경우 미리 담금질 경도를 측정하여 참고로 하는 것이 바람직하다. 그러나 적절한 담금질이 행해진 경우에는 뜨임을 550～650℃의 범위에서 행하는 것이 보통이다. 그러나 200~400℃의 온도 범위에서 뜨임을 하면 충격값이 감소하여 작은 충격에도 쉽게 파괴된다. 이러한 현상은 이 온도 구역을 서서히 냉각하여도 일어난다.

이와 같이, 담금질한 강을 어느 온도 구역에서 뜨임하면 충격값이 급격하게 저하되는 현상을 뜨임 취성(脆性)이라 한다. 뜨임에 따른 성질 변화와 특징은 다음과 같다.

① 경도 : 뜨임 온도가 높아짐에 따라 경도가 감소한다.
② 강도 : 담금질한 다음 200~300℃로 뜨임하면 가장 높은 값을 나타낸다.
③ 연성 : 100~200℃에서 뜨임하면 연신율, 단면 수축률이 생기고, 뜨임 온도가 높을수록 그 값이 증가한다.

# 제 6 장 합금강의 열처리

## 1. 기계구조용 합금강의 열처리[19][20]

구조용 합금강은 구조용 탄소강보다 큰 경도 및 우수한 기계적 성질이 요구될 때 사용된다. 탄소강에 Ni, Cr, Mo, Mn, Si 등을 첨가하면 일부분이 Fe와 고용체를 만들어 페라이트 중에 고용되므로, 구조용 합금강은 조직상으로는 탄소강과 큰 차이가 없으나 담금질성은 매우 우수하다. 구조용 합금강은 대개 담금질과 뜨임 처리하여 사용한다.

구조용 목적으로 사용되는 합금강은 기계적 성질과 가공성 및 내식성 등이 우수하여야 하며, Ni-Cr 강, Ni-Cr-Mo 강, Cr-Mo 강 및 Cr-Mn 강 등이 대표적인 강이다.

기계구조용 합금강의 담금질은 SMn계나 SCr계의 일부를 제외하고는 유냉이 원칙이므로, 충분히 교반할 필요가 있고, 기름의 온도는 60-80℃ 정도로 유지하는 것이 좋다. 기계구조용 합금강의 뜨임은 원칙적으로 550-650℃의 고온 뜨임, 즉 조질처리가 행해지고 있다. 그러나 SCr계와 같이 뜨임 연화 저항성이 작은 강동은 약간 낮은 온도에서 뜨임한다. 침탄용강은 역시 150-200℃의 저온 뜨임을 행한다.

일반적으로 저온 뜨임과 고온 뜨임의 중간 온도에서는 뜨임메짐이 나타나서 충격인성이 현저하게 감소하므로, 이 온도범위에서의 뜨임은 피하는 것이 좋다. 또한 고온 뜨임 후 서냉할 때에도 뜨임메짐이 나타나므로 KS규격에서도 뜨임 후에는 급랭하도록 규정하고 있다.

따라서 대형부품에서는 강제적인 냉각이 필요하게 되지만, 일반적인 경우에는 공랭정도면 충분히 뜨임메짐을 피할 수 있다. 물론 뜨임메짐의 방지 측면에서 볼 때에는 수냉이 가장 바람직하지만, 수냉하면 변형과 녹 발생 문제가 수반되므로 가능하면 수냉은 피하는 것이 좋다.

### 가. Cr 강

담금질성과 뜨임효과를 크게 하여 기계적 성질을 개선하기 위하여 0.14-0.48% C의 탄소강에 0.9-1.2%의 Cr을 첨가시킨 합금강을 Cr 강이라 하는데, 탄소강에 Cr이 첨가되면 경화능, 강도 및 내마멸성이 향상된다. Cr 강은 내마멸성이 좋아 내연기관의 실린더 라이너, 기어, 캠축, 밸브 및 강력 볼트 등의 재료로 사용된다.

열처리는 830-880℃에서 유냉하고, 550-650℃에서 뜨임한 후 뜨임메짐을 방지하기 위 해 수냉하는 것이 일반적이다. SCr 430 강을 830℃에서 담금질하면, 강도와 경도

19) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징열처리 (1601030315_17v5)
20) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

는 매우 높은 편이지만 연성이 비교적 낮다.

나. Cr-Mo 강

이 강은 Ni-Cr 강에서 Ni 대신 Mo을 소량 첨가하여 성질을 향상시킨 것으로서, 경화능이 크고 뜨임 연화 저항성도 크며 뜨임메짐의 경향도 비교적 적은 편이다. 기계적 성질 및 질량효과도 Ni-Cr 강에 비해 큰 차이가 없으며, 용접성 또한 우수하다.

Cr 외에 Mo을 함유하면 강의 경화능이 커지고, 뜨임 메짐성도 적어지므로 고온가공성이 좋고, 가공면이 깨끗하여 얇은 강판이나 관 제조에 많이 사용된다. 또한 각종 축, 기어, 강력 볼트, 암(arm) 및 레버(lever) 등에도 사용된다.

열처리는 830-880℃에서 유냉하고, 550-650℃에서 뜨임한다. 뜨임메짐의 경향은 크지 않으나, 뜨임 후에는 수냉하는 편이 좋다. Cr 강과 동일한 인장강도를 얻기 위해서는 뜨임 온도를 상승시켜도 되므로 인성이 우수해진다. Cr-Mo 강의 구체적인 열처리 방법을 설명하기 위해 SCM420강의 예는 아래와 같다.

1) 노멀라이징

870-925℃로 가열하여 단면두께에 따라 적당한 시간 동안 유지한 후 공랭한다. 노멀라이징 후 항복강도를 증가시키기 위해 480℃ 및 그 이상의 온도에서 뜨임을 한다.

2) 풀림

830-860℃로 가열하여 단면두께나 장입량에 따라 적당한 시간 유지한 후 노냉한다.

3) 담금질

45-970℃로 가열하여 유지한 후 수냉하거나, 860-885℃로 가열하고 유냉한다. 유지시간은 단면두께에 의존한다.

4) 뜨임

200-700℃에서 최소 30분 유지하고 공랭하거나 수냉하며, 뜨임시간과 온도는 주로 원하는 경도나 강도에 의존한다.

5) 구상화

760-775℃로 가열하고 4-12시간 유지한 후 서냉한다. 침탄강은 850-900℃에서 유냉하여 1차 담금질, 800-850℃에서 유냉하여 2차 담금질을 하고, 150-200℃에서 뜨임한 후 공랭한다.

다. Ni-Cr 강

이 강은 Ni에 의한 페라이트 기지의 강도 증가와 Cr의 탄화물에 의한 경화 등의 장점에 의해 연신율 및 단면감소율을 그리 감소시키지 않고 인장강도 및 항복점이 큰 특징을 갖고 있다.

Ni-Cr 강은 열처리효과가 크고 질량효과가 작으므로 큰 단면의 지름일지라도 중심부까지 균일하게 경화되고, 내마멸성, 내식성이 탄소강보다 우수하고, 고온에서 오랫동안 가열하여도 결정입자가 성장하지 않으므로 고온가공의 작업온도범위가 넓다.

열처리는 820-880℃ 범위에서 유냉하고, 550-650℃ 범위에서 뜨임한다. Ni이나 Cr양이 많은 강은 뜨임메짐이 나타나기 쉬우므로 뜨임 후에는 수냉하는 것이 좋다.

라. Ni-Cr-Mo 강

Ni-Cr-Mo 강은 구조용 Ni-Cr 강에 0.3% 정도의 Mo을 첨가하여 강인성을 증가시키고, 질량효과를 감소시킬 뿐만 아니라, 뜨임메짐성도 방지할 수 있다.

Mo은 고온에서도 점성이 좋으므로 단조 및 압연이 용이하며, 스케일(scale) 분리가 쉬우므로 표면이 매끈해진다. 이 강은 내연기관의 크랭크축, 강력 볼트, 기어 등의 중요 기계부품에 사용된다.

Ni-Cr-Mo 강의 열처리는 820-870℃에서 유냉하고, 550-680℃에서 뜨임한 후 수냉하는 것이 좋다. 그러나 침탄강인 SNCM26은 Ni, Cr, Mo 함량이 크므로 공랭하여도 경화된다.

Ni-Cr-Mo 강에 대한 구체적인 열처리방법을 SNCM 8강을 예로 들어 설명한다. SNCM 8강은 1400MPa 이상의 인장강도로 열처리할 때 수소메짐이 일어난다. 따라서 산세나 전기도금과 같이 수소에 노출된 부품은 185-195℃에서 최소한 8시간 동안 가열해야 한다.

1) 노멀라이징

845-900℃로 가열하여 단면두께에 따라 적당한 시간 동안 유지한 후 공랭한다.

2) 풀림

30-860℃로 가욜하고 단면두께나 장입량에 따라 적당한 시간 동안 유지한 후 노냉한다.

3) 담금질

800-845℃로 가열하여 두께 25mm 당 15분 유지한 후 65℃ 이하로 유냉 하거나, 200℃정도의 용융염에 담금질하고 10분 유지한 뒤 65℃ 이하로 공랭한다.

4) 뜨임

200-650℃에서 최소 30분 동안 유지하고 공랭하며, 온도와 시간은 원하는 강도와 경도에 따라 선택된다.

5) 구상화

690℃로 예열하여 2시간 유지한 후, 750℃로 온도를 상승시켜 2시간 유지하고 650℃로 냉각하여 6시간 유지한 다음, 약 600℃까지 노냉하고 최종적으로 상온까지 공랭한다. 또 다른 방법은 730-750℃로 가열하고 수 시간 유지한 뒤 상온으로 노냉한다.

6) 응력제거

성형가공이나 기계가공 후 650-675℃에서 응력제거 열처리를 한다.

## 2. 표면 경화강의 열처리[21)]

가. 침탄용강 (case hardening steel)

침탄용강으로는 저탄소강과 저합금강이 사용된다. 침탄용강은 연하고 가공하기 쉽지만, 침탄하여 열처리하면 표면이 단단하고 내마멸성을 갖게된다. 특히, 높은 강인성을 필요로 하는 기계부품에는 Ni, Cr, Mo, W 및 V 등을 함유한 합금강을 사용한다.

최근에는 침탄깊이를 크게하는 요구에 따라, 침탄시간을 단축하기 위해 침탄온도를 1000℃에서 1150℃의 고온으로 하는 경향이 있다.

나. 질화용강 (nitriding steel)

질화용강으로는 Al, Cr, Mo, V 및 Ti 등 두 가지 이상의 합금원소를 함유하는 중탄소의 저합금강을 사용하며, 암모니아 가스 분위기 중에서 500-550℃로 가열하면 질화를 일으켜 표면이 경화된다. Al은 질화를 촉진시켜주며, Cr과 Mo은 기계적 성질을 개선시켜 준다. 고주파 경화용강 고주파 담금질에는 재료의 질량효과가 거의 문제되지 않으므로, 고주파 경화용강으로는 합금강 대신에 0.3-0.5% C의 탄소강과 탄소강에 Cr, Mo 등의 원소가 첨가된 합금강이 사용되기도 한다.

탄소량이 많거나 열전도가 나쁜 합금강은 고주파에 의한 급열, 급랭에 따른 균열과 큰 잔류응력의 발생에 주의하여야 한다. 또한 고주파 경화용강의 선택에 있어서는 단순히 경도만을 높이고자 할 때에는 탄소강이 적당하나, 내부의 인성과 높은 강도가 요구될 때에는 저합금강을 사용한다.

21) NCS 분류번호 : 화학적 표면경화 열처리 (160103031_17v5)

## 3. 공구강의 열처리[22)23)]

### 가. 합금공구강(alloy tool steel)

합금공구강은 열처리성, 내마멸성 및 인성 등을 개선하기 위해 탄소공구강에 Ni, Cr, Mn, W, V 및 Mo 등을 하나 또는 둘 이상을 첨가 합금한 공구강으,로, 합금원소의 첨가 비율은 약 2-15%이다. 합금공구강은 고온경도가 우수하므로 절삭공구, 단조용 금형 등으로 사용된다. 합금공구강은 용도에 따라 절삭공구용, 내충격 공구용, 냉간 금형용 및 열간 금형용 등으로 분류한다. 합금공구강에 대해서는 KS D 3753애서 화학성분, 열처리조건 등이 규정되어 있다.

#### 1) 절삭공구용 합금공구강(cutting tool steel)

경도를 크게하고 절삭성을 향상시키기 위하여 탄소량을 많게 하고, Cr, W 및 V 등을 첨가한 강이다. 내마멸성을 증가시키기 위하여 W-Cr 강이 주로 사용되는데, 표준성분은 1.0-1.5% C, 0.5-1.0% Cr, 1.0-5.0% W 등이며, 800-880℃에서 물 도는 기름에 담금질한 다음 200℃ 이하에서 뜨임한다.

#### 2) 내충격 공구용 합금공구강(shock resisting tool steel)

정, 펀치, 스냅(snap), 끌 등과 같이 내충격성을 가져야 하는강은 인성이 요구되므로, 탄소량이 0.35-0.55%로 절삭용보다 비교적 낮고, 여기에 0.5-1.5% Cr, 0.5-3.5% W 및 0.1-0.2% V도 첨가되며, 담금질한 후 뜨임 하여 사용한다.

#### 3) 냉간 금형용 합금공구강(cold work tool steel)

냉간 금형용 합금공구강은 내마멸성이 크고, 열처리에 의한 변형 또는 경년경확가 적어야 한다. 따라서 전단기 날, 프레스형, 전조다이 등에 사용되며, 게이지 및 그 밖의 정밀측정용 공구재료로도 사용된다. 특히 게이지는 치수의 표준이 되는 것이므로, 내마멸성과 내식성이 좋아야 할 뿐 아니라, 가공이 용이하고 열팽창계수가 작아야 한다. 또한 담금질한 후에 변형을 일으키지 않아야 하며, 시간의 경과나 환경의 온도변화에 따른 수축이나 팽창이 작아야 한다.

#### 4) 열간 금형용 합금공구강(hot work tool steel)

열간 전단날, 열간 압출 공구, 단조용 공구, 다이캐스팅용 다이스 등 고온상태에서 사용되는 공구류는 고온강도가 높고 열변형에 강한 재료이어야 하므로, 일반적으로 탄소량을 적게 한 Cr, W, Mo 및 V 계가 사용된다.

---

22) NCS 분류번호 : 노멀라이징열처리 (1601030315_17v5)
23) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

나. 고속도강(high speed steel)

고속도강은 500-600℃까지 가열하여도 뜨임에 의하여 연화되지 않고, 고온에서도 경도의 감소가 적은 것이 특징이다. 주요 성분은 0.8-1.5% C, 18% W, 4% Cr, 1% V (18-4-1 형)으로서, 표준고속강이라 하며, 1250℃에서 담금질하고, 550-600℃에서 뜨임처리하는데, 이때 2차경화가 발생한다. W 계의 표준고속도강에 Co를 3% 이상 첨가하면 경도가 더욱 높아지며, 동시에 인성이 증가되므로 고급공구재료로 사용된다. 또한 20% Co까지는 경도가 더욱 증가되고 인성이 우수해진다. W의 일부를 Mo으로 대치한 Mo 계는 W 계보다 저렴하며, 인성이 높고 담금질 온도가 낮을 뿐만 아니라 열전도율이 양호하여 열처리가 잘 된다.

## 4. 특수강의 열처리[24)25)]

특수한 용도로 사용되는 특수한 용도로 사용되는 구조물이나 기계의 부품은 사용목적에 적합한 성질을 가진 재료로 만들어져야 한다. 이러한 특수목적에 사용되는 합금강을 특수강이라 한다.

가. 스프링강

스프링에는 냉간 성형 스프링과 열간 성형 스프링이 있는데, 전자는 고온가공에 의하여 성형하고, 저온 풀림처리를 하여야 하므로 가공성이 좋아야 하고, 후자는 담금질 및 뜨임 처리를 하므로 열처리성이 좋아야 한다. Fe 계 스프링 및 박판 스프링은 전자에 속하며, 중합 판 스프링 및 코일 스프링은 후자에 속한다. 스프링용 합금강은 스프링용 탄소강에 Si, Mn, Cr, V, Mo 등의 합금원소를 첨가하여 스프링의 특성을 한 단계 높인 스프링용 강으로서 고급용 또는 특수목적용 스프링으로 사용된다.

탄소강에 Si와 Mn을 동시에 첨가한 것을 적절히 열처리하면 탄성한계와 피로한계를 현저하애 높일 수 있으므로, Si-Mn 강은 스프링강으로 많이 사용되고 있다. 이 강은 열처리성이 좋으므로 주로 차량용 판 스프링 등 대형 스프링에 적합하다. 또한 Cr-Mn 강은 Si-Mn 강에 비해 더욱 우수한 스프링강으로서 차량용과 그 밖의 용도에 사용된다. 이 외에도 Cr 강에 소량의 V을 첨가하여 강의 강인성을 개선한 Cr-V 강 또는 Mn-Cr 강, 미량의 B를 첨가하여 대형 스프링의 담금질성을 높인 Mn-Cr-B 강 등도 있다.

24) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징열처리 (1601030315_17v5)
25) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

나. 베어링강

롤링 베어링용으로 적합한 재료로는 일반적으로 고탄소-Cr 강이 사용된다. 그 표준조성은 1.0% C, 1.0-1.5% Cr의 Cr 강을 열처리하여 사용하고 있다. 베어링강은 보통 850℃ 기름에서 담금질하여, 150-180℃에서 뜨임처리하며, 경도가 HRC 61-65 정도로 경화한 상태에서 사용한다.

일반적으로 고탄소-Cr 강은 탄화물이 구상화되기 쉬우나 베어링 재료로서의 내마멸성을 더욱 높이기 위해서는 탄화물의 완전한 구상화가 새롭게 필요하다. 이를 위해 770-780℃에서 장시간(3시간 이상) 가열한 다음 노냉한다.

이 밖에 베어링강으로서 특별하게 내충격성이 요구될 때에는 표면경화용 Cr 강을 침탄 후 담금질로 표면경도를 HRC 63 이상으로 하여 사용한다. 또한 내식성 이 요구될 때에는 0.65% C 이하의 13Cr 스테인리스강을 사용한다.

일반적으로 베어링강의 최고 사용온도는 120℃ 정도이나, 제트엔진이나 가스터빈과 같이 고온용 베어링은 300-400℃에서는 Mo 계 또는 W 계 고속도강이 사용되며, 그 이상의 고온에서는 Ni 또는 Co 계의 내열합금이 사용된다.

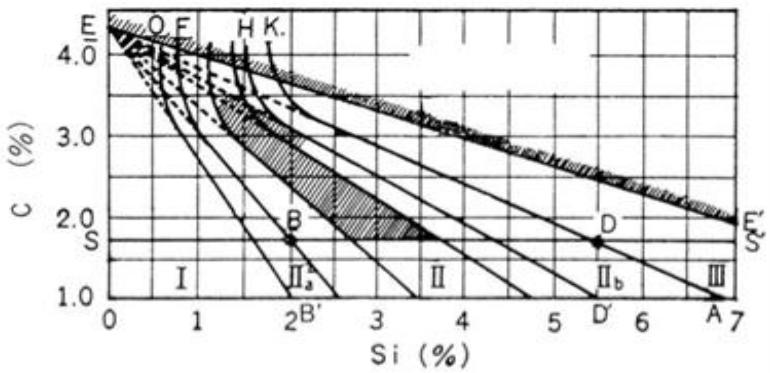
# 제 7 장 주철의 열처리

## 1. 보통 주철의 열처리[26][27]

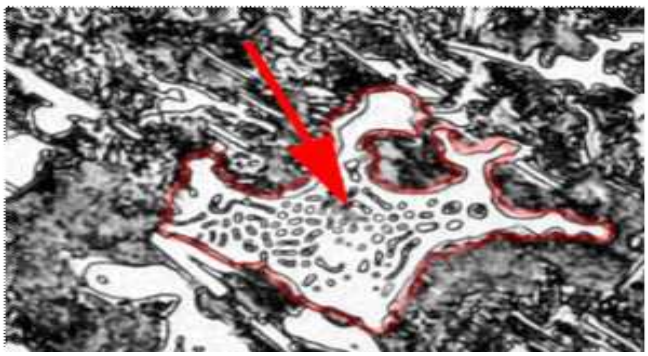
○ 주철 : 백선(백주철)과 회주철로 구분
- 백선 : 탄소가 시멘타이트로 존재
- 회주철 : 탄소가 흑연으로 존재
- 탄소의 형태가 다른 이유 : 냉각속도와 성분에 의한다.
- 응고시 냉각속도가 빠를 경우 : 시멘타이트가 많고
- 응고시 냉각속도가 느릴 경우 : 흑연이 많이 석출된다.
- 성분의 영향 : C와 Si가 가장 큰 영향 미침.

○마우러(Maurer) 조직도 : C 및 Si량과 석출하는 조직의 관계를 나타낸 것이다.

○ (그림20-1) : 시멘타이트와 오스테나이트의 공정조직인 레데뷰라이트 (Ledeburite)




[그림 1-73] 마우러(Maurer) 조직도



[그림 1-74] 레데뷰라이트(Ledeburite)

26) NCS 분류번호 : 어닐링·노멀라이징열처리(1601030315_17v5)
27) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리(1601030316_17v5)

○ (그림20-2) : 30mmΦ환봉을 사형에 주조
- 1.7%C 이상의 영역 :
- I영역 : 백선,
- IIa영역 : 반주철,
- II영역 : 페라이트와 흑연 존재하는 극연 주철

○ 기계 부품류에 사용되는 백선
- 일반적으로 칠(chill) 주물이라고 하며,
- 내마모성, 내압축성, 내충격성 등이 요구되는 부분을 칠(chill)화하여 사용
- 기계적 특성을 얻기 위하여 금형을 사용하여 급냉 응고 시킨다.

○ 칠(chill)에 의한 경화
- 유리 시멘타이트에 의한 것이므로 800℃부근까지 고온으로 서서히 가열하여도 연화는 거의 보이지 않는다.
- 열간 롤(roll)로서 강재의 열간 압연에 이용
- 칠 부분의 깊이 : 판용 롤(roll)에서는 20mm 정도이다.

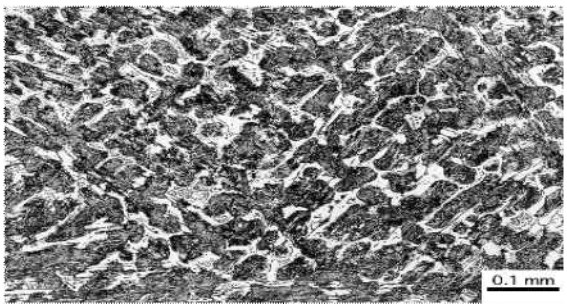
○ 회주철
- 기계구조용 재료로서 널리 이용
- 펄라이트 또는 펄라이트와 소량의 페라이트가 공존하는 바탕에 편상의 흑연을 석출시키면 파단면이 회색을 띠고 있으므로 회주철이라 부른다.

○ 회주철에 나타나는 흑연
- 크기, 형상, 분포상태, 석출량 : 주철의 성질에 현저한 영향 미치므로
- 흑연 : 주철의 성질을 지배하는 가장 큰 요소
- 회주철에 나타나는 흑연의 크기와 형태 : AFS 및 ASTM규격→ [그림21-1~2] 참조

○ 회주철 : 기계구조용 재료로서 사용되는 경우
- 주철이 가지는 우수한 피삭성을 이용하여 기계가공 후 켄칭, 템퍼링, 오스템퍼 등의 열처리 또는 고주파 켄칭, 질화계의 표면열처리를 실시하여 마모성이 우수한 상태.

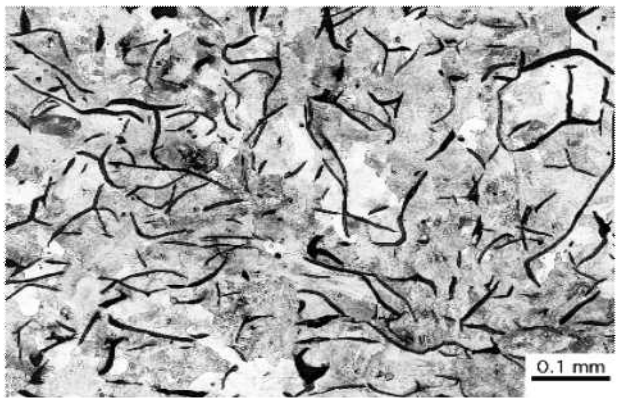
○ 내마모성 주철
- 페라이트의 석출을 강력하게 억제
- 비윤활 상태와 윤활상태의 마모 : 흑연은 전혀 상반되는 거동이 나타난다.
- 비윤활 상태의 마모 : 편상 흑연은 기계적인 파괴나 열충격 파괴를 수반하는 마모기구에서 그 선단에 응력이 집중되어 파단으로 발전, 마모가 심하게 일어난다.

- 윤활상태의 마모 : 흑연이 기름을 머금고 있는 역할, 마찰면의 유막을 보호하므로 흑연의 석출량이 많고 흑연의 간격이 작을수록 내마모성은 개선된다.




[그림 1-75] 백주철

조 직 : 흰 부분은 시멘타이트, 검은 부분은 오스테나이트에서 변화된 펄라이트, 벌집 모양의 부분은 시멘타이트와 오스테나이트의 공정조직인 레데뷰라이트(Ledeburite)
배 율 : 100배
부식액 : 3% Nital(8초)
조 성 : C(2.95%), Si(0.80%), Mn(0.36%), P(0.036%), S(0.150%)
처 리 : 주조상태 그대로
경 도 : Chilled Roll 표면의 백선부(白銑部)는 60~75 HS, Cr을 첨가한 합금주철은 90 HS 정도이다.




[그림 1-76] 편상 흑연 주철

조 직: 검은 줄기는 흑연, 바탕은 펄라이트, 흰부분은 철(Fe)-인(P)의 공정조직(Steadite)
배 율 : 100배
부식액 : 3% Nital(8초)
조 성 : C(3.43%), Si(2.06%), Mn(0.62%), P(0.049%), S(0.109%)
처 리 : 생사형에서 주조한 상태
경 도 : 약 30 kgf/mm2(294 N/mm2)

가. 풀림

회주철은 대개 다음의 3가지 풀림 처리 중 한 가지를 행한다.

1) 페라이트화 풀림

합금하지 않았거나 저합금 회주철에서 펄라이트 중의 탄화물을 페라이트와 흑연으로 바꾸어 기계가공성을 개선하는 것이 목적일 때에는, 변태온도 이상으로 가열할 필요가 없다. 595℃ 이상으로 가열하면 철탄화물(Fe3C)이 페라이트와 흑연으로 분해하는 속도가 현저하게 증가하여, 저온변태온도인 약 760℃에서 최대에 도달한다. 주물은 흑연화가 완료될 정도로 충분히 오랫동안 유지해야 한다. 유지시간은 화학조성에 따라 달라지는데, 합금하지 않은 회주철에서는 10분 정도로 짧다. 냉각속도 자체가 풀림과정에서 크게 중요하지는 않으나, 풀림하는 동안에 응력을 제거하기 위해서는 서냉하는 것이 유리하다. 복잡한 주물을 제외하고는 290℃ 이하로 110℃/h의 냉각속도로 냉각하는 것이 바람직하다.

2) 중간(완전) 풀림

대개 790-900℃에서 행하며, 합금량이 많아서 페라이트화 풀림이 효과적이지 않을 때에 사용한다. 유지시간은 페라이트화 풀림의 경우와 비슷하며, 높은 온도를 사용할 때 주물은 790-675℃의 변태영역을 지나 서냉되어야 한다.

3) 흑연화 풀림

흑연화풀림의 목적은 단순히 덩어리 상태의 탄화물을 펄라이트와 흑연으로 바꾸는 것이다. 적당한 속도로 탄화물을 분해하기 위해서 최소한 870℃의 온도가 요구된다. 유지온도가 55℃씩 증가할수록 분해속도는 2배가 되어 900-955℃의 유지온도가 일반적이다. 유지시간은 수 분에서 수 시간까지 변화한다. 냉각속도는 최종 용도에 따라 달라진다.

풀림처리의 주목적이 탄화물을 분해하거나 최대강도 및 마멸저항의 유지를 원할 때에는 풀림온도에서 약 540℃로 노냉하여 펄라이트조직의 형성을 촉진시켜야 한다. 최대의 기계가공성이 목적이면 540℃로 노냉하고 변태영역을 지나 서냉이 되도록 주의해야 한다. 이러한 두 경우에서 잔류응력을 최소화하기 위해 540℃에서 290℃까지 110℃/h의 속도로 냉각하는 것이 바람직하다.

나. 노멀라이징

회주절은 변태 영역 이상의 온도로 가열하여 최대 단면 두께 25mm 당 약 1시간 유지하고 상온으로 공랭하여 노멀라이징한다. 노멀라이징은 경도와 인장강도 등의 기계적 성질을 개선하고 흑연화 등의 다른 열처리에 의해 변화된 주조상태의 성질을 회복시키기 위해 행한다. 온도범위는 약 885-925℃이다.

가열온도는 경도와 인장강도 등의 기계적 성질 및 미세조직에 크게 영향을 미친다. 합금된 주철은 노멀라이징 온도가 높을수록 조직이 단단해지고 강해지며, 합금하지 않은 회주철은 모든 노멀라이징 온도에서 동일한 강도와 경도를 나타내어 모든 조직이 주조상태보다 연화된다.

노멀라이징하는 동안 주물을 노멀라이징 온도 이하로 노냉함으로써 약간의 경도 조절을 할 수 있다.

다. 담금질 및 뜨임

1) 담금질

냉각제로서 기름이 널리 사용되며, 물은 균열이나 변형이 발생할 가능성이 있다. 최근에 개발된 수용성 폴리머는 낮은 냉각속도와 더불어 수냉의 편리함을 제공하여 열적인 충격을 최소로 할 수 있다. 단면이 불균일한 주물은 두꺼운 단면이 담금질욕에 먼저 들어가도록 해야하며, 담금질하는 동안 저어주는 것이 바람직하다. 상온에서 담금질 상태의 주물은 균열에 매우 민감하기 때문에, 150℃ 정도로 온도가 내려갈 때 욕에서 꺼내 즉시 뜨임한다.

2) 뜨임

담금질 후 주물은 대개 변태영역 이하의 온도에서 25mm의 단면 두께마다 약 1시간 뜨임한다. 한 예로, 합금하지 않은 회주철 밸브 가이드는 조절된 분위기에서 885℃로 가열하여 1시간 유지하고, 60℃로 유지된 기름에 담금질한다. 담금질 상태의 경도가 HRC 45-50이고, 480℃에서 뜨임 후 경도는 HRC 30-34이다.

## 2. 고급 주철의 열처리

주물제품은 두께가 고르지 않기 때문에 응고 후에 냉각속도가 불균일하여 부분적으로 수축이 억제되며, 주물내부에 잔류응력이 남게되는데, 이것을 주조응력(casting stress)이라 한다.

이와 같은 주조응력을 가지고 이는 주물을 그대로 기계가공한 제품은 오랜 시간이 지나면 균열이나 변형이 발생한다. 주조응력을 제거하려면 주조 후 500-600℃에서 수시간 가열한 후 풀림을 한다.

또 절삭성을 좋게 하기 위해서는 750-800℃에서 2-3시간 정도 가열하면 멘타이트가 흑연화되어 재질이 연화된다. 그리고 주조 후 장기간 바깥에 방치하여두면 주조응력이 없어지는데, 이 현상을 자연시효(natural aging)라 한다.

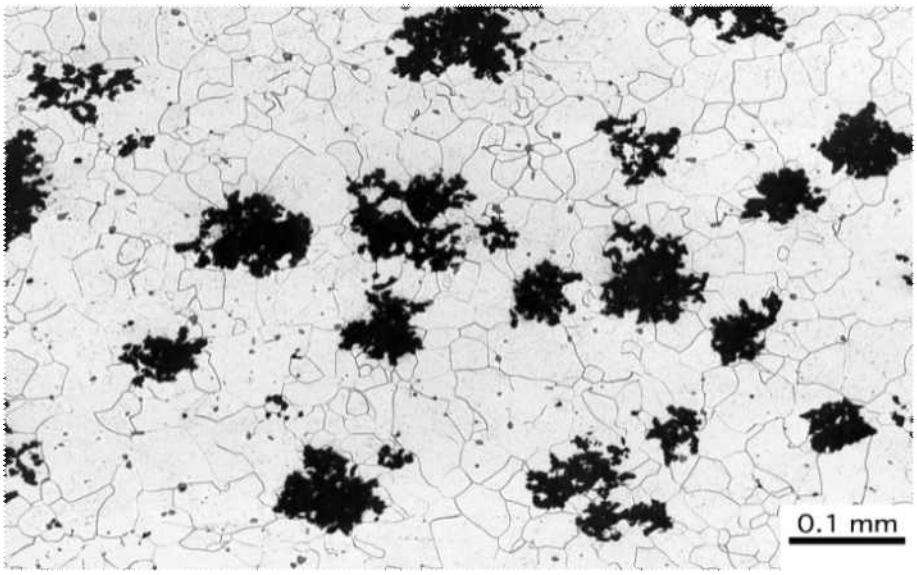
일반적으로 보통 주철에서는 담금질이나 뜨임을 하지 않으나, 고급주철에서는 강도와 내마멸성을 향상시키기 위해 담금질을 하는 경우가 있다.

## 3. 특수 주철의 열처리

### 가. 가단 주철(malleable cast iron)

#### 1) 흑심 가단 주철

저탄소, 저규소의 백주철을 풀림상자 속에서 열처리하여 시멘타이틀르 분해시켜 흑연을 입상으로 석출시킨 것을 흑심 가단주철이라 한다. 백주철을 850-950℃로 30-40 시간 가열하는 제 1단계의 흑연화로 A1 변태전에서 오스테나이트가 많은 양의 펄라이트로 변하고, 이 펄라이틀르 680-720℃에서 30-40 시간 유지하여 흑연으로 분해시키는 제2단계의 흑연화로 이루어진다. 이와 같은 2단계의 흑연화에 의해 응집상 또는 괴상의 뜨임 탄소가 혼합된 조직으로 된다.




[그림 1-77] 흑심가단주철

조 직 : 흰바탕은 페라이트, 괴상(塊狀) 또는 점상(点狀)의 검은 부분은 템퍼링된 흑연
배 율 : 100배
부식액 : 3% Nital(18초)
조 성 : C(2.67%), Si(1.07%), Mn(0.22%), P(0.068%), S(0.063%), Cr(0.021%)
열처리 : 백주철을 930℃에서 50시간 가열(제1단 흑연화), 계속하여 750℃에서 5시간 가열(제2단 흑연화) 후 서냉
경 도: 약 130 HB
안장강도: 약 38kgf/mm2(373 N/mm2)
연신율: 약 15%

2) 백심 가단 주철

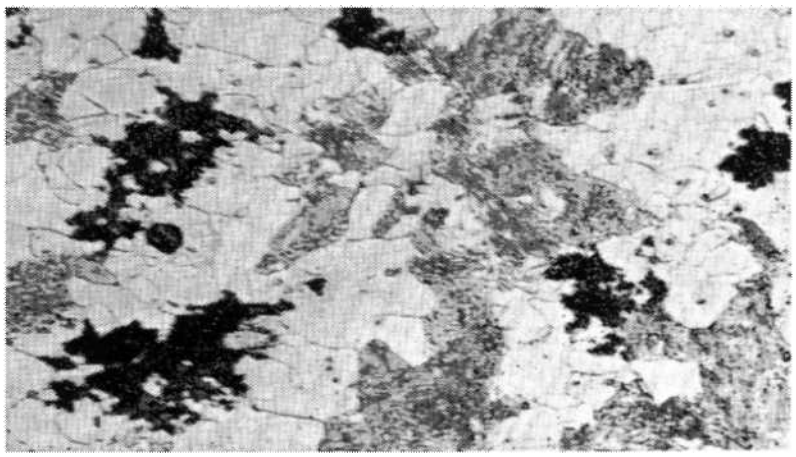
백주철을 적철광 및 산화철가루와 함께 풀림상자(pot)에 넣어 900-1000℃에서 40-100 시간 가열하여 시멘타이틀르 탈탄시켜 주철에 가단성을 부여한 것을 백심 가단주철이라 하며, 두꺼운 주물에는 적합하지 않고, 두께 4-8mm의 것에 적합하다. 이 주철의 표준조성은 2.5-2.8% C, 0.4-0.8% Si 및 0.2-0.4% Mn이다.

3) 펄라이트 가단 주철

펄라이트 가단주철은 흑심 가단주철 공장에서 제1단계의 흑연화 처리만 한다음, 955℃정도까지 가열하여 뜨임탄소를 구상화하고 시멘타이트가 오스테나이트 안에 용해되도록 7시간 정도 유지하며, 2시간 안에 900℃로 노냉시킨 후 급속히 공랭한다.

고탄소 오스테나이트는 급랭되는 동안 펄라이트로 변태한다. 펄라이틀르 구상화하여 요구되는 기계적 성질을 얻기 위하여 일정한 온도에서 뜨임하거나 공랭하여 870℃까지 재가열한 후 유냉 및 뜨임한다.

이 주철의 조직은 흑심 가단주철과 거의 같으며, 소형기관의 크랭크축, 캠축, 펌프부품 및 각종 기계의 기어 등에 이용된다.

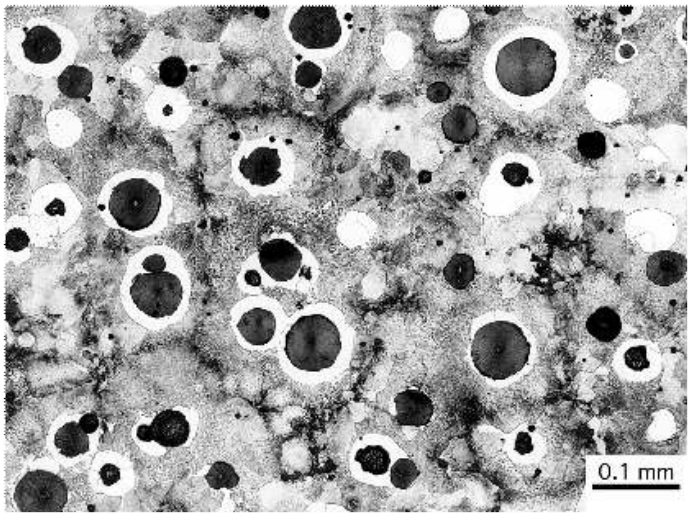


[그림 1-78] 펄라이트 가단주철(×100)

나. 구상 흑연 주철(spheroidal graphite cast iron)

- 1948년 미국 International Nickel사에서 개발한 주철
- 닥타일(Ductile) 주철이라고도 함.
- 주입 직전에 용탕에 Mg, Cu-Mg, Ni-Mg 등을 첨가하여 흑연 ⇨ 구상화
- 우수한 기계적 강도를 얻음.
- Ca-Si, Fe-Si을 첨가하여도 흑연은 구상화된다.
- 바탕조직에 의해 인장강도, 연신율 등의 기계적 강도에 영향이 나타난다.
- 페라이트 형 : 페라이트 바탕과 구상흑연에서 생성된 주철
- 펄라이트가 차지하는 면적이 높게됨에 따라 인장강도는 향상, 연신율은 감소한다.

- 이 경우 페라이트는 흑연의 주위에 고리모양(ring)으로 나타나는데, 이것을 bull’s eye조직
- 이 종류의 주철 : bull’s eye형이라 함.
- 내열, 내식, 내마모성 : 우수
- 구상흑연주철을 오스템퍼 처리 : 기계적 성질을 개선하여 강을 대체할 수 있는 부품으로 적용 ⇨ ADI(Austempered Ductile Iron)라고 함.




[그림 1-79] 구상흑연주철

조 직 : 검은 구상(球狀)은 흑연, 흑연 주위의 흰 부분은 페라이트, 바탕은 펄라이트
배 율 : 100배
부식액 : 3% Nital(8초)
조 성 : C(3.45%), Si(2.81%), Mn(0.33%), P(0.032%), S(0.008%), Mg(0.04%)
처 리 : 주조 상태, 주입 직전에 마그네슘(Mg) 모합금(母合金)을 첨가하여 흑연을 구상화시킴
경 도 : 약 70 kgf/mm2(686 N/mm2)
연신율 : 약 2%

1) 풀림

최대의 연성과 우수한 기계가공성이 요구되나 높은 강도는 필요하지 않을 때 구상흑연주철은 대개 완전 페라이트화 풀림을 하며, 이때 미세조직은 페라이트와 구상흑연으로 바뀐다. 구상흑연주철의 풀림은 다음의 두가지방법이 많이 채용되고 있다.

첫째는, 900-955℃에서 1시간 유지하며, 단면 두께가 25mm 증가할 때마다 유지시간을 1시간씩 증가시킨다. 얇은 단면의 주물은 955℃에서 1-3시간 유지하면 충분하다. 모서리에서 칠이 형성된 두꺼운 단면의 주물은 955℃에서 3-8시간 유지가 필요하다. 잔류응력을 피하려면 균일하게 690℃로 냉각하여 5시간 유지하며, 단면두께가

25mm 증가할 때마다 1시간씩 유지시간을 증가시킨다.

둘째는, 900-955℃에서 유지한 후 650℃로 노냉하는데, 790-650℃의 온도범위를 통과하는 냉각속도가 20℃/h를 초과하지 않도록 한다.

2) 노멀라이징

노멀라이징 온도는 대개 870-940℃이다. 노멀라이징 온도에서 표준시간은 단면두께 25mm 당 약 1시간이 만족스러우나 더 짧은 시간도 사용할 수 있다. 이러한 시간과 온도는 조성, 특히 Si와 Cr의 양에따라 달라진다. 합금원소는 구상 흑연주철 주물에 중요한 영향을 미친다. 적당한 첨가는 경화능을 충분히 증가시켜 노멀라이징 한 단면두께가 150mm까지의 주물에서 냉각속도가 적당하면 미세한 펄라이트 조직을 얻을 수 있다.

니켈, 구리는 합금원소로서 선호되는데, 이것은 모든 단면두께의 주철을 경화시키고 탄화물을 형성하지 않기 때문이다. 니켈과 함께 몰리브덴은 경도와 강도를 증가시키는데 효과적이다. 원하는 경도를 얻고, 공랭하는 동안 생긴 잔류응력을 제거하기 위해 노멀라이징 후 대개 드임을 한다. 인장강도와 경도에 미치는 뜨임의 영향은 주철의 조성에 따라 달라지며, 노멀라이징으로 얻은 경도수준에 의존한다.

일반적으로 노멀라이징으로 생기는 펄라이트 조직은 수냉으로 얻은 마르텐사이트보다 연하다. 또한 노멀라이징 후 뜨임은 높은 인장 성질과 함께 고인성과 충격저항을 얻기 위해 사용한다. 즉 425-650℃로 재가열하면 단면 25mm당 1시간 유지한다.

3) 담금질 및 뜨임

845-925℃에서 오스테나이트화하며 응력을 최소화하기 위해 기름이 바람직한 냉각제이나, 단순한 형태는 물이나 염수를 사용할 수 있다. 복잡한 주물은 균열을 피하기 위해 80-100℃의 기름에 담금질한다. 그리고 담금질 응력을 제거하기 위해 담금질 후 즉시 뜨임해야 한다. 뜨임한 경도는 담금질 상태의 경도, 합금 원소량, 뜨임 온도 및 시간에 의존한다. 유지시간은 단면두께 25mm당 1시간씩 추가하여 뜨임한다. 고합금 주철은 동일한 결과를 얻기위해 약간 높은 뜨임온도를 사용한다.

4) 응력제거

열처리하지 않을 때 복잡한 구상 흑연주철 주물은 510-675℃에서 응력제거 처리한다. 이러한 온도범위에서 낮은 온도가 주로 사용된다. 그리고 높은 온도에서는 모든 잔류응력을 제거할 수 있지만, 경도와 인장강도를 약간 감소시킬 수도 있다.

유지시간은 사용온도, 주물이 형상, 원하는 응력제거 정도에 의존한다. 응력이 다시 생기지 않도록 균일하게 냉각되어야 하고, 290℃로 노냉한 다음 공랭할 수 있다. 그러나 대부분의 경우 오스테나이트 주철은 균일하게 공랭할 수 있다.

# 제 8 장 분위기 열처리

## 1. 분위기 열처리란?[28)]

강은 각종 열처리를 거쳐서 제품이 되는데 이들 열처리를 대기중이나 산화성 분위기에서 가열하면 표면에서 탈탄이 일어나거나 산화하여 소모된다.

따라서 재료의 손실이 발생하며 산화물 제거하기 위한 작업이 필요할 뿐 아니라 제품의 질을 저하시킨다. 분위기 열처리는 강재를 열처리할 때 탈탄이나 산화가 일어나는 것을 방지하고 열처리 전후의 표면상태를 그대로 유지시켜주는 처리법을 말하며 공업적으로는 광휘열처리라 부르기도 한다. 광휘열처리가 쉬운지 어려운지는 금속이 산화하기 쉬운가 또는 어려운가에 따라 정해진다.

[그림 1-80]은 산업체에서 사용되는 이온 질화 처리 분위기 로를 나타낸다.

[그림 1-80] 이온 질화 처리 분위기로

### 가. 분위기 열처리 가열방법

열처리에 있어서 강재를 산화시키지 않고 가열하는 방법은 다음과 같다.

① 숯이나 주철칩 또는 침탄제등에 묻어서 가열하는 방법
② 산화나 탈탄방지제를 도포하여 가열하는 방법
③ 보호 가스 분위기 속에서 가열하는 방법
④ 중성염욕이나 연욕중에서 가열하는 방법
⑤ 진공중에서 가열하는 방법 등이 있다.

이중 공업적으로 가장 많이 행해지고 있는 것은 보호가스 분위기에서 가열하는 방법으로 다른 방법에 비해 비용이 적게 들고 후처리가 편리하다.

28) NCS 분류번호 : 화학적 표면경화 열처리(1601030317_17v5)

나. 분위기의 구분

분위기가스로는 불활성가스, 환원성가스, 산화성가스, 침탄성가스 등이 있으며 산화와 탈탄을 방지하여 광휘상태를 얻기 위해서는 노내연소를 제어하는 제어분위기와 자발적인 연소분위기로 구분할 수 있다.

연소분위기는 직접 노내에서 가열되는 연료와 공기의 혼합비를 바꾸어 조절하는 분위기인 반면 제어분위기는 노 외부의 가스발생로(또는 변성로)에서 변성시킨 일정한 조성의 분위기 가스를 이용하는 것으로 강의 광휘상태를 보다 쉽게 얻을 수 있는 진보된 열처리 분위기이다.

제어분위기에 의한 변성가스는 연소분위기에서 소요되는 비용에 비하여 적게 들기 때문에 공업적으로 주로 이용되고 있다.

## 2. 보호가스 분위기 종류 및 특성

보호가스 분위기는 강의 열처리시 산화 및 탈탄을 방지하여 광휘상태를 얻는 경우와 금속표면에 어떤 소요의 성질을 부여하기 위해 행하는 침탄 또는 질화처리와 같은 표면처리를 목적으로 하는 경우로 대별할 수 있으며 현재 이용되고 있는 보호가스는 [표 1-14]와 같은 여러 가지 종류가 있다.

[표 1-14] 보호가스의 종류

| 가스의 성질 | 가스종류 | 화학기호 | 비점(℃) | 비중<br>(공기에 대하여) |
|---|---|---|---|---|
| 중성가스 | 질소(Nitrogen)<br>아르곤(Argon)<br>헬륨(Helium)<br>건조수소(Dry Hydrogen) | N2(5nine)<br>Ar<br>He<br>H2 | -196<br>-186<br>-269 | 0.97<br>1.38<br>0.14 |
| 산화성가스 | 산소(Oxygen)<br>수증기(water vapor)<br>탄산가스(Carbon dioxide)<br>공기(Air) | O2<br>H2O<br>CO2 | -183<br>100<br>-78.5<br>-190 | 1.14<br>0.62<br>1.53<br>1.00 |
| 환원성가스 | 수소(Hydrogen)<br>암모니아(Ammonia)<br>암모니아분해가스<br>침탄성가스 | H2<br>NH3<br>3H2+N2 | -253<br>-33.4 | 0.07<br>0.60 |
| 침탄성가스 | 일산화가스(Carbon monoxide)<br>천연가스(Natural gas)<br>메탄(Methane)<br>프로판(Propane)<br>부탄(Butane)<br>도시가스(Town gas)<br>흡열형가스(enriched RX gas) | CO<br>CH4<br>CH4<br>C3H8<br>C4H10 | -192<br>-164<br>-164<br>-45<br>+1 | 0.97<br>0.55<br>0.55<br>1.56<br>2.05 |
| 탈탄성가스 | 산화성가스, DX가스, wet H2 | | | |
| 질화성가스 | 암모니아 | | | |

[표 1-14]는 보호가스 분위기 열처리에 사용되는 대표적인 변성가스의 종류와 조성 및 특징을 나타낸다. 여기서 변성가스의 원료가스로는 도시가스, 천연가스, 프로판가스, 부탄가스 등이 있으나 성분이 안정되고 비용이 싼 프로판 또는 부탄가스등이 가장 많이 사용된다. 공업적으로 사용되는 변성가스는 상기한 가스등에 적당한 비율의 공기를 첨가하여 열분해 또는 산화 분해시킨 가스를 말하며 변성방식에 따라서 흡열형과 발열형 변성가스로 구별한다.

가. 발열형 가스

발열형 가스는 원료가스인 메탄(CH4), 프로판(C3H8), 부탄(C4H10) 등에 공기를 가하여 부분연소 또는 완전 연소시켜서 얻어지는 연소열을 이용하여 변성시킨 것으로서 외부로부터 열을 가하지 않으므로 발열형이라 한다. 발열형 가스의 변성반응은 이상적인 완전연소(이상연소)시 다음과 같은 반응식에 의해 탄산가스, 질소 및 수증기로 된다.

① 메 탄 : $CH_4 + 2(CO_2 + 3.76N_2) = CO_2 + 2H_2O + 7.52N_2$

메탄 공기

② 프로판 : $C_3H_8 + 5(O_2 + 3.76N_2) = 3CO_2 + 4H_2O + 18.8N_2$

프로판 공기

③ 부 탄 : $C_4H_{10} + 6.5(O_2 + 3.76N_2) = 4CO_2 + 5H_2O + 24.34N_2$

부탄 공기

상기 식 ①, ②, ③에서 알 수 있는 것과 같이 이상 연소를 시키기 위해 메탄과 공기의 비율은 1:9.52이고, 프로판과 공기의 비율은 1:23.8이며 부탄과 공기의 비율은 1:30.84이다. 이때 공기의 비율이 이상연소에 요구되는 공기보다 과잉으로 되면 완전연소가 되며 O2가 잔류하고 반면 부족하면 CO와 H2가 잔류한다.

변성장치는 그림2-2와 같은 개략적인 발열형 가스변성장치로 나타낼 수 있으며 원료가스와 공기는 각각의 유량계를 통과하여 비례혼합기와 가스혼합기에서 목표하는 일정 비율로 혼합된다.

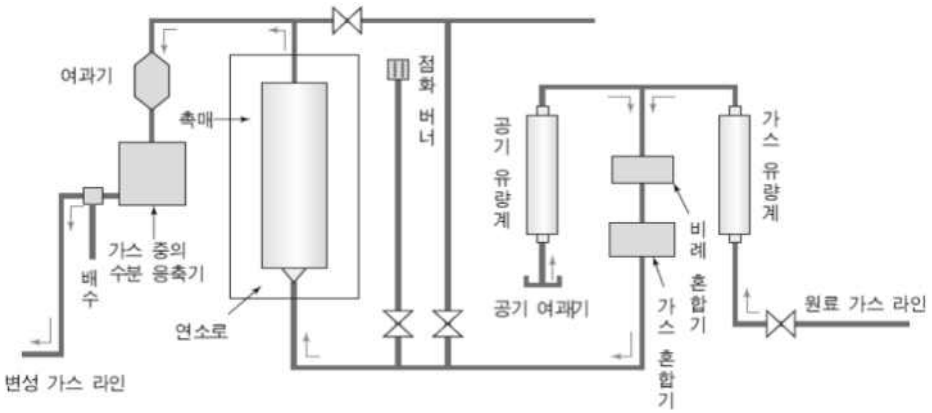
그 후 이 혼합가스는 연소로에 도달하여 대부분 연소되고 일부 연소되지 않는 가스는 촉매층을 통과하면서 완전히 연소된다. 생성된 연소가스는 여과기를 거쳐 수분응축기에서 요구되는 노정의 가스로 만들어져서 변성가스라인을 통해 열처리로에 들어간다.

일반적으로 연소온도는 1100~1200℃의 온도범위로 조절하는데 원료가스 유량이 많으면 온도는 상승하고 반면 유량이 부족하면 온도는 저하한다.

[표 1-15] 변성가스의 종류, 조성 및 특성

| 가스의 종류 | 공기-가스 비율 | 근사적 가스 조성(부피 %) | | | | | | 특성 | 주요 용도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | CO2 | CO | H2 | CH4 | N2 | 노점 (℃) | | |
| 암모니아 분해 가스 | - | - | - | 75 | - | 25 | -50 | 환원성이 크다. 공기와 접촉하면 폭발한다. | 스테인리스강, 고탄소강, 황동의 광휘풀림. |
| 암모니아 연소 가스 | 25:1 | - | - | 20 | - | 80 | | 환원성, 연소성 | 탄소강 및 비철금속의 광휘풀림, 단시간 가열의 광휘담금질 |
| 암모니아로부터 만든 질소 | 3.75:1 | - | - | - | - | 100 | | 불활성, 연소성 | 탄소강의 광휘풀림, 광휘담금질, 규소강의 풀림 |
| 흡열형 가스 | 도시가스 1.25:1 | 0.0 | 24.5 | 35.5 | 1.5 | 38.5 | -25 | 강한 환원성 | 중, 고탄소강의 광휘풀림. |
| | 천연가스 2.4:1 | 0.0 | 20.0 | 38.0 | 0.5 | 41.5 | -10 | 폭발성, 연소성, 침탄성 | 광휘풀림, 소결 |
| | 프로판가스 3.5:1 | 2.0 | 17.0 | 28.0 | 0.0 | 53.6 | 포화 | 〃 | 착색 |
| | 프로판가스 7.14:1 | 0.0 | 23.7 | 31.7 | 0.5 | 44.1 | -10 | 〃 | 〃 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 일부 연소시킨 가스 | | 2.1:1 | 4.5 | 9.8 | 15.0 | 0.2 | 70.5 | | 강한 환원성, 폭발성 | 연강의 광휘가열 |
| 발열형가스 | 완전연소 가스 | 4.5:1 | 10.0 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 89 | -50 | 약한 환원성, 폭발성 | 황동의 광휘풀림 |
| | 상기 가스에서 CO2, H2O를 제거 | 4.5:1 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 99 | -50 | 극히 약한 환원성, 불연성 | 탄소강, 저합금강의 광휘가열 |
| | 상기 가스를 가열 목탄층 통과 | 4.5:1 | 0.0 | 20.0 | 2.0 | 0.0 | 78.0 | -20 | 연소성, 폭발성 | 고탄소강의 광휘가열 |
| 천연가스의 연소 가스 | | 6:1<br>16.25:1 | 0.0<br>0.0 | 10.0<br>0.7 | 15.5<br>0.7 | 1.0<br>0.0 | 73.6<br>98.5 | -40<br>-40 | 연소성<br>불연성 | 저탄소강 및 동합금의 풀림, 중·탄소강의 풀림, 담금질 |
| 목탄 가스 (저온) | | | 20.0 | - | - | - | 80.0 | | 불연성 | 동의 광휘풀림 |
| 목탄 가스 (고온) | | - | - | 34.0 | - | - | 66.0 | <20 | 환원성, 연소성, 폭발성 | 강의 광휘풀림, 광휘담금질, 침탄성가스 |




[그림1-81] 발열형가스 변성 약도

나. 흡열형 가스

흡열형 가스는 제조법에 따라 여러 가지 조성의 것들이 있다. 이들 중 목탄가스, 수성가스, 반수성가스(발생로가스) 등은 철강의 광휘 열처리용 가스로서 이용되고 있으나 생성가스 량에 비해 목탄의 소비량이 많고 목탄의 저장이나 취급이 불편하므로 공업적이지 못하다.

반면 변성가스는 소형로로 대량 제조가 가능하므로 공업적으로 유용하게 사용되고 있다. 흡열형 변성가스는 레토르토(retort)내의 니켈 촉매를 통해 원료가스에 적당량의 공기를 가하여 열분해나 산화분해로 가스를 변성시키는데 이때 열을 흡수하므로 흡열형이라 한다. 실제 공업적으로 응용되고 있는 흡열형 가스 제조에는 조성이 일정한 천연가스나 프로판 가스 등이 주로 사용되고 있으며 우리 나라에서는 프로판

가스가 주로 사용되고 있다. 생성되는 변성가스의 주요조성은 CO, H2 및 N2이며 기타 CO2와 H2O가 발생한다. 그 주요조성이 생성되는 반응식은 다음 ①, ②와 같다.

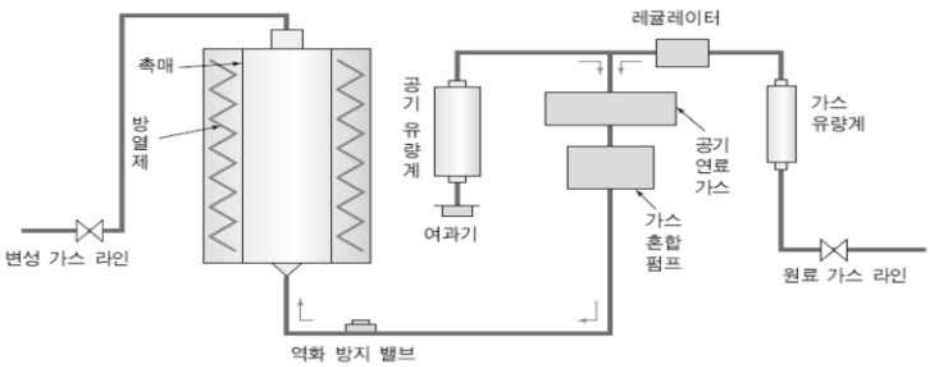
① 원료가스 + 공기 $\xrightarrow{\text{변성}}$ 변성노기

② $C_mH_n + 2(O_2+4N_2) \rightarrow mCO + n/2\ H_2 + 8N_2$

이러한 변성반응에 필요한 온도는 1000℃의 고온이고 공기가 너무 많으면 CO2(탄산가스)와 H2O(수증기)가 많아지고 부족하면 원료가스가 남아 분해하여 그을음을 만들어 Ni촉매의 작용을 방해한다. 그림 2-3는 흡열형가스의 개략적인 변성장치를 나타낸 것이다.

가스변성과정은 서로 다른 흡입구로부터 들어온 공기와 원료가스를 혼합기에서 혼합하여 펌프로 가압한 후 역화방지밸브를 통하여 변성로(retort로)에 보내진다. 이 혼합가스는 Ni촉매층을 통과하면서 환원연소반응에 의해 변성되고 냉각기에서 급냉되어 요구되는 노점의 가스로써 열처리로에 보내어진다.

가스의 노점(dew point)은 일정 기압하에서 수분(H2O)을 함유하고 있는 분위기 가스를 냉각시키면 어떤 온도에서 가스중의 수분은 물방울 또는 이슬이 만들어지는데 이 점의온도를 일컬으며 이 노점의 측정을 통하여 분위기 가스중의 수분을 알 수 있다. 노점이 내려갈수록 수분 함유량은 감소한다.




[그림 1-82] 흡열형 변성가스 약도

다. 암모니아 분해가스

암모니아(NH3)가스는 고온으로 가열하면 다음과 같이 분해한다.

① $2NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3H_2 + 10.9cal$

① 식과 같이 분해되어 생성되는 가스의 조성은 25%N2와 75%H2이다. 이 반응은 가역 반응으로 온도와 압력이 정해지면 각각의 비율이 정해진다. 이와 같은 암모니아

(NH3)가스는 공업적으로 515 ~ 540℃로 가열한 활성 촉매에 의해 분해한다. 이때 촉매로는 스폰지철 중에 휘유금속의 산화물을 침적한 것이 가장 많이 사용되고 있다.

라. 중성가스

아르곤(Ar), 네온(Ne), 헬륨(He) 등의 불활성가스는 철강과 반응하지 않으므로 광휘열처리의 분위기 가스로는 이상적이다. 그러나 이들 가스는 값이 너무 비싸므로 티탄(Ti)이나 지르코늄(Zr) 및 그 합금 등과 같이 반응성이 큰 금속의 보호분위기로 일부 이용되고 있으며 공업적으로 실용되는 가스는 아르곤(Ar) 가스 정도이다. 일반적으로 사용되는 중성가스로는 공기중에 79%나 포함되어 있고 비교적 쉽게 얻을 수 있는 질소(N2)가 광휘 열처리용 가스로 널리 이용되고 있다.

## 3. 보호가스 분위기 열처리

강의 광휘열처리에 사용되는 보호분위기 가스는 강의 종류에 따라 선별적으로 선택하여 사용된다. [표 1-16]은 열처리종류와 재료에 따른 노기의 적용에 대한 예를 나타낸다.

[표 1-16] 열처리 종류에 따른 노내 분위기 적용 사례

| 열처리 종류 | 열처리재료 | 필요조건 | | | 열처리온도 범위(℃) | 노기적용례 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 금속화학적 | 광휘 | 청정 | | |
| 풀림 | 저탄소강 | | ○ | | 650 ~ 730 | DX(R), NX, HNX |
| | 중~고 탄소강 | 무탈탄 | ○ | | 650 ~ 790 | HNX, NX+RX |
| | 합금강 | 무탈탄 | ○ | ○ | 700 ~ 870 | HNX, NX+RX |
| | 고속도강 | 무탈탄 | | ○ | 790 ~ 900 | HNX, NX+RX |
| | 스테인리스강 | | | ○ | 980 ~ 1150 | DX(R) |
| | 구상흑연주철 | | | ○ | 900 ~ 910 | DX, NX |
| | 가단주철 | | | ○ | 900 ~ 950 | DX, NX |
| 노멀라이징 | 저탄소강 | | ○ | ○ | 870 ~ 1100 | DX(R), HI, AX, SAX |
| | 합금강(중~고탄소) | 무탈탄 | ○ | ○ | 820 ~ 1100 | NX+RX, HNX, RX |
| 담금질 | 고탄소 또는 침탄강 | 무탈탄 | ○ | ○ | 760 ~ 950 | HNX, RX |
| | 합금강(중~고탄소) | 무탈탄 | ○ | ○ | 760 ~ 950 | HNX, RX |
| | 고속도강 | 무탈탄 | ○ | ○ | 980 ~ 1320 | HNX, RX |
| 침탄 | 저탄소강 | 침탄 | | ○ | 870 ~ 950 | RX |
| 목탄 | 중~고 탄소강 | 침탄 | | ○ | 820 ~ 900 | NX+RX, RX |
| | 합금강(중~고탄소) | | | ○ | | |
| 질화 | 질화강철 | 질화 | | ○ | 540 | NH3 |

# 제 9 장 진공열처리

## 1. 진공 열처리의 개요[29)]

각종 강은 대기중에서 가열하면 온도가 상승함에 따라 산화층이 형성되거나 표면탈탄이 일어날 뿐 아니라 가열유지시간이 증가함에 따라 산화층이나 탈탄층은 성장하여 깊어진다. 이러한 산화층이나 탈탄층은 Ac3 변태점 이상으로 가열하면 급격하게 증가하고 탈탄층이 형성된 부분에서는 결정립계의 산화도 동반하여 발생한다.

또한 이들 층은 열전도가 좋지 않아 강의 균일 가열을 저해하며 담금질 균열의 원인이 되기도 한다. 따라서 강을 산화시키지 않고 열처리하는 방법으로는 보호가스분위기, 진공분위기, 염욕 등에서 처리할 수 있다. 그러나 보호가스분위기 열처리시에는 피열처리재의 광휘도를 보존하기 위해서는 상당량의 가스소모가 요하며 대기오염을 유발시킬 수도 있다. 또한 염욕 열처리시에는 염에 의한 대기나 수질 환경오염 등 여러 가지 문제를 야기하고 있다.

반면 진공열처리는 이러한 환경오염을 일으키지 않는 무공해 열처리가 가능하다. 특히 복잡한 형상의 강 부품이나 후가공이 어려운 금형 및 정밀한 치수가 요구되는 공구등에 적합한 열처리로 우수한 광휘표면을 얻을 수 있으며 산세, 연마등의 후처리가 필요치 않을 수 있고 특별한 분위기 관리도 요하지 않는 장점이 있다.

그러나 가열이 전적으로 복사에 의해 이루어지므로 열처리시 가열속도가 느리고 장입량과 장입방법에 제한을 받는 단점이 있다.

냉각방법은 가스냉각법과 유냉법이 있는데 가스냉각은 냉각직전에 질소가스 등을 노내로 불어넣은 후 순환시키면서 냉각시키는 것으로 처리부품을 움직일 필요 없이 처리되므로 매우 간단하며 표면광휘도는 유냉법에 비하여 우수하여 다품종 소량생산 제품에 공업적으로 많이 사용되고 있다.

## 2. 진공 열처리의 원리와 특성

### 가. 진공 열처리의 원리

진공중에서 금속의 표면산화를 방지하기 위해서는 강재 표면의 금속이 안정하거나 금속산화물이 해리반응을 일으켜 분해될 수 있는 산소 해리압 이하의 소분압에 해당하는 진공도까지 감압하여야 한다.

금속 산화물의 산소해리압과 온도의 변화에서 감압에 의하여 공기의 조성변화가

29) NCS 분류번호 : 진공열처리·심랭처리 (1601030320_17v5)

없으면 진공도가 $10^{-4}$ torr 일 때 산소분압은 약 5분의 1이 된다.대기압의 공기 중에서 안정한 귀금속 Ag(은)을 제외하고, Fe, Cu, Ti 등과 같은 대부분의 비금속은 대기압 하에서 산화성을 나타내므로 산소압을 낮추어 진공상태로 하지 않으면 쉽게 산화한다.

진공중에서 물체를 가열하면 저온에서 노내의 수분과 질소 및 산소 등 표면에 부착된 유지 등의 불순물이 증발 휘산한다. 800℃ 이상이 되면 물체의 표면에서 수소와 질화물 및 염화물의 해리가스 등이 발생하여 탈가스 작용이 진행된다. 이 열분해에 의한 증발 휘산 현상으로 산화된 물체라도 금속광택이 재현될 수 있다.

이와 같은 물체 표면의 청정화는 미관상 뿐만 아니라 내마모성 향상, 피로한계 향상, 열변형 감소, 후처리 비용 절감 등에 효과가 있다.

## 나. 진공열처리의 특징

대기 열처리에서는 처리온도와 시간에 의존하며 분위기 열처리에서는 가스분위기 내의 습기와 수증기의 양 및 노점(dew point) 등과 같은 노의 조건에 따라 결정된다.

그러나 진공열처리에서는 대기압하의 열처리 과정에서 발생하는 가스반응을 고려할 필요가 없을 만큼 적은 양의 가스가 잔류하고 기압이 낮으므로 노의 온도와 처리시간 만이 광휘도에 미치는 결정인자가 된다. 진공열처리의 주요 특징으로는 다음과 같이 일곱가지로 요약할 수 있다.

(가) 피처리물의 표면반응(산화, 탈탄반응)을 방지하여 재료 본래의 화학성분을 갖는 깨끗한 표면을 유지할 수 있다.

(나) 산화막이나 제조과정중 생긴 윤활제의 잔재 등과 같은 표면의 불순물을 열분해나 환원반응을 통하여 제거할 수 있다.

(다) 피처리물(강재 등)이 함유하고 있는 함유가스의 제거 및 금속간 화합물 등을 분해하여 진공 확산펌프를 통해 제거가 가능하다.

(라) 진공 브레이징이나 진공중의 확산결합에 의해 금속부품을 불순물이 함유 되지 않은 상태에서 서로 접합시킬 수 있다.

(마) 고정밀의 균일한 제품의 열처리 설비로써 변형의 극소화 및 표면의 높은 광휘성을 보강할 수 있다.

(바) 다품종 소량생산 제품에 적합하며 후가공 공정의 단축으로 생산성 향상에 기여한다.

(사) 합금공구강, 고속도강, 스텐레스강, 다이스강, 세라믹, 티타늄 등의 고급제품 열처리에 적합하다.

따라서 상기의 특징을 고려해볼 때 표면에서의 비금속 불순물의 제거보다는 표면의 산화 및 탈탄반응의 억제가 가장 주요한 특징이라 할 수 있다.

다. 진공분위기

진공이라 함은 물질이 존재하지 않는 공간을 말하나 공학적으로는 압력이 대기압보다 낮은 압력공간이나 수 torr 이하의 극저압 상태를 뜻한다.

그리고 진공의 정도를 나타내는 단위로는 여러 가지가 있지만 한국표준공업규격(KS)에서는 torr(≒mmHg)와 Pa(Pascal) 단위를 사용하고 있다. [표 1-17]은 공업적으로 이용되는 압력범위에 따른 진공 구분을 나타낸다.

[표 1-17] 압력범위의 구분

| 구 분 | 압력 범위 | |
|---|---|---|
| 저진공 | 760 torr ~ 1 torr | 100kPa ~ 100Pa |
| 중진공 | 1 torr ~ $10^{-3}$ torr | 100Pa ~ 0.1Pa |
| 고진공 | $10^{-3}$ torr ~ $10^{-8}$ torr | 0.1Pa ~ 10μPa |
| 초고진공 | $10^{-8}$ torr ~ $10^{-10}$ torr | 10μPa이하 |
| 극고진공 | $10^{-10}$ torr 이하 | |

**산업체 적용사례**

**<Press용 Valve의 진공열처리>**

그림 1-83과 같이 KS의 STS431강으로 제작되는 Press용 Valve제품은 고정밀도가 요구되므로 풀림 후에 정밀 가공한 다음 진공담금질과 뜨임을 하여 이용되므로 열처리 전후의 광휘도가 거의 동일하여야 사용될 수 있다. 사진은 진공열처리 후 적용사례로써 광휘도가 우수함을 나타낸다.

[그림 1-83] 진공 열처리한 밸브

# 제 10 장 표면경화 열처리

표면 경화법은 표면은 경화시키고 심부는 강인성을 유지하는 열처리 방법이다. 이러한 표면 층의 경화로 인하여 마모와 피로에 견디고 크립성을 갖게되며 내부는 강인하므로 표며경화의 취성을 보강하여 내충격성을 높인다.
강(鋼)의 표면 경화법은 크게 화학적 방법과 물리적 방법으로 나누어진다. 화학적 방법으로는 침탄 경화, 질화 처리, 침류 처리, 금속 침투법, 화학 증착법(CVD) 등이 있으며, 물리적 방법으로는 고주파 경화, 화염 경화, 방전 경화, 물리 증착법(PVD) 등이 있다. 이들 각 처리법은 특징에 맞게 공업적으로 널리 사용되고 있다.

기어, 크랭크축, 클러치, 캠 스핀들 등과 같은 기계 또는 자동차 부품에서는 내마모성과 동시에 강인성이 동시에 요구된다. 일반적으로 조질처리 강재는 강도와 인성이 우수하지만 내마모성은 퀜칭처리한 강종에 비해 저하한다. 뿐만 아니라 주기적인 반복응력에 의한 피로파괴가 문제가 되는 부품에서는 피로균열이 표면근처에서 생기는 경우가 많기 때문에 표면에서의 강도가 대단히 중요하다. 마모와 높은 응력의 대부분은 부품의 표면부근에만 작용하는 경우가 많다. 그러므로 내마모성이 요구되는 제품이나 표면부근에서 피로강도가 요구되는 제품에서의 내피로성의 향상을 목적으로 표면경화처리가 실시된다.

한편 큰 부품을 경화처리할 때 수반될 수 있는 뒤틀림이나 균열의 생성을 줄일 수 있고 일정한 선택된 부위의 국부적인 경화처리에도 표면경화처리가 이용된다. 표면경화처리의 목적은 표면부(case)는 경화하여 내마모성과 내피로성을 향상하고, 중심부(core)는 강인성 및 충격에 대한 저항성을 개선하는데 있다. 한편 윤활성, 내식성, 내소착성, 내열성 등의 표면특성을 개선하는데 있다.

## 1. 고주파 및 화염 경화법[30]

### 가. 고주파 경화 열처리

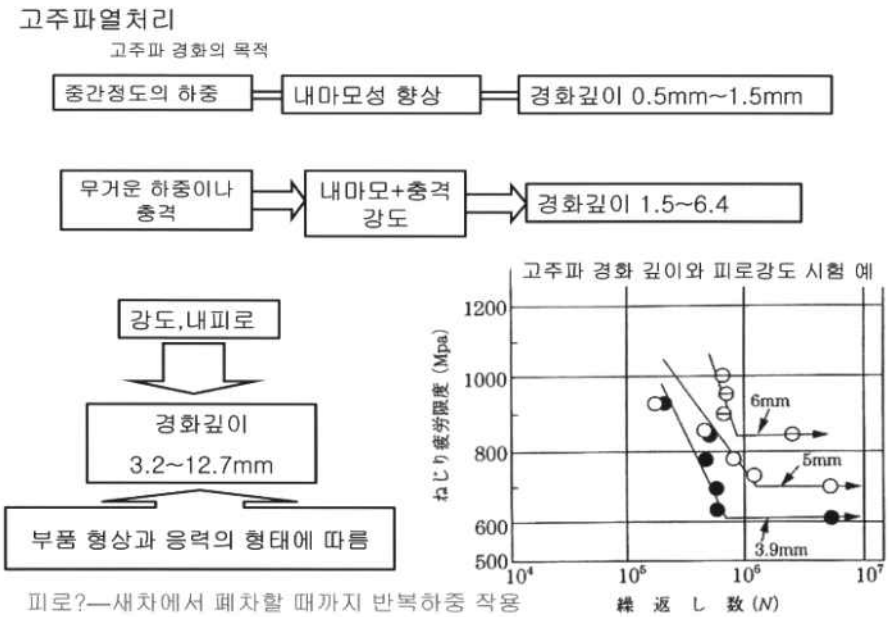
고주파 가열은 고주파 유도 전류에 의해서 강 부품의 표면층만을 급열한 후 급냉하여 경화시키는 방법이다. 고주파 담금질을 필요로 하는 주된 기계 부품에는 강인하고 내마모성이 요구되는 기어, 캠, 샤프트, 프랭크 샤프트, 핀, 부시(bush), 라이너 등이다.

공업용으로 쓰이는 고주파 발생 장치로서는 전동 발전기식과 진공관식 등 2종이 있다. 전동 발전기식은 1~10kHz의 비교적 낮은 주파수로써 출력 100kW 이상인 것이 많고 대형품이나 5mm이상의 깊은 표면 담금질 등에 알맞다. 진공관식은 10kHz 이상의 높은 주파수로 출력 150kW 이하가 많고 소형품의 열처리에 알맞다.

30) NCS 분류번호: 물리적 표면경화 열처리 (1601030318_17v5)

고주파 열처리에서 담금질할 강을 직접 가열하는 유도자(work coil)의 형상은 담금질 변형을 최소화하는데 가장 중요한 역할을 한다.

따라서 이 유도자는 담금질할 부품의 형상에 따라 다르게 적용하거나 부품에 맞게 유도자를 제작하여 사용한다.




[그림 1-84] 고주파 열처리의 개요도

1) 고주파 담금질의 경화층 깊이

고주파 담금질은 고주파 발생 장치에서 주파수의 선택 방법이 중요하다. 주파수의 선정은 소형품이나 얕은 담금질 층을 얻기 위해서는 높은 주파수를 이용하고 대형품이나 깊은 담금질층을 얻기 위해서는 낮은 주파수를 이용한다. [표 1-18]은 주파수의 선택의 일례를 보여 준 것이다.

[표 1-18] 주파수의 선택

| 주 파 수 | 물건의 직경 | 경 화 층 |
|---|---|---|
| 10khz | 100mmψ | 5mm |
| 400khz | 50mmψ | 1.5mm |
| 2,000khz | 2mmψ | 전 체 |

2) 고주파 담금질의 특징

고주파 담금질의 특징은 다음과 같다.

(가) 조작이 간단하며 열처리가공 시간이 단축될 수 있고 작업비가 싸다.

(나) 열처리 후의 연삭 과정을 생략 또는 단축할 수가 있다.
(다) 가열 시간이 매우 짧아서 경화면의 탈탄이나 산화가 극히 적다.
(라) 열처리 불량이 적고 변형 보정(補正)을 필요로 하지 않는다.
(마) 직접 가열에 의하므로 열 효율이 높다.
(바) 직접 부분 담금질이 가능하므로 필요한 깊이만큼 균일하게 경화한다.
(사) 표면은 초경도(超硬度)로 되고 내마모성이 향상된다.

## 나. 화염 경화 열처리

화염 담금질은 고주파 담금질과 거의 유사하며 재료의 조성에 변화가 일어나지 않고 요구되는 표면만을 경화하는 표면경화 법이다.

열원으로서는 산소-아세틸렌이 가장 많이 쓰이지만 프로판 가스, 천연 가스 등도 쓰이고 있다. 화염 담금질에 있어서 가장 중요한 점은 화구(火口)의 설계이다. 이것은 고주파 담금질의 유도자에 해당하는 것이다.

화염 담금질용 화구는 가열→냉각 작업이 연속적으로 될 수 있도록 화구의 용량인 화구구멍의 수와 크기는 연료가스의 종류, 제품의 경화층 면적, 크기, 형상, 담금질 깊이, 담금질의 목적 등에 따라 결정된다.

화염 담금질법은 [그림 1-85]에 보여 주듯이 가스 화염에 의하여 강 부품의 표면층을 Ac3점 이상까지 급속 가열하여 담금질 온도에 도달하면 그 열이 내부로 전해지기 전에 냉각액 중에 담그거나 외부로부터 물을 분사하여서 담금질한다. 화염 담금질은 0.4 ~ 0.7%C의 탄소강에 주로 적용되며 합금강에서는 Cr-Mo강, Ni-Cr-Mo강등에 적용되고 있다.

### 1) 화염 경화법의 특징

화염 경화법의 특징은 다음과 같다.

(가) 장점

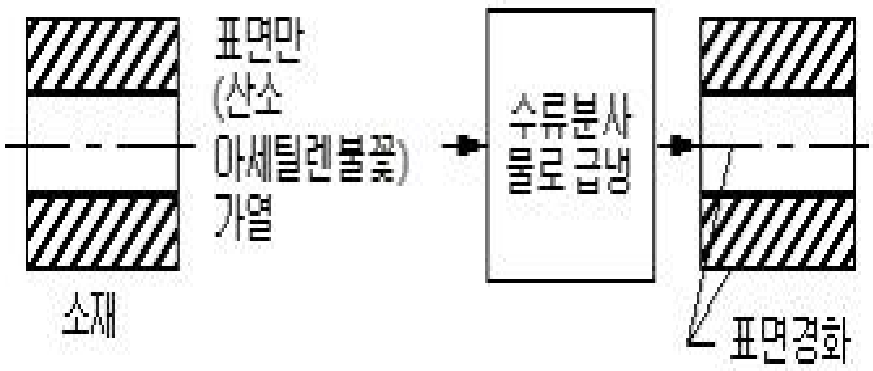
① 주철, 주강, 합금강, 탄소강 등 모든 재질에 담금질이 가능하며 기어의 톱니나 선반의 베드면 담금질에 사용한다.
② 노에 들어가지 못하는 대형 부품의 국부 담금질이 가능하다.
③ 전용담금질 장치를 제외하고 가열 장치의 이동이 가능하다.
④ 장치가 간단하며 설비비가 싸다.
⑤ 부분 담금질이나 담금질 깊이의 조절이 가능하다.
⑥ 담금질 변형을 일으키는 일이 작다.
⑦ 표면은 굳고 내마모성이 뛰어나며 기계적 성질이 향상된다.
⑧ 간단한 소형 부품은 용접형 토치로 담금질할 수 있다.

(나) 단점

① 가열 온도가 정확히 측정되지 못하므로 담금질에는 숙련을 요한다.

② 화구의 설계와 화염의 조절이 어렵다.

③ 급가열이므로 복잡한 것이나 요철이 있는 물건의 각(角)을 녹이기 쉽다.



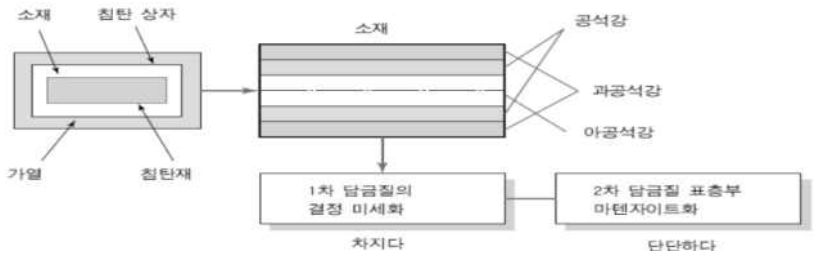

[그림 1-85] 산소·아세틸렌 가스 화염법

## 2. 침탄 및 질화 경화법

### 가. 침탄 경화 열처리

일반적으로 0.2%C정도의 탄소강을 기본으로 여기에 Ni, Cr, Mn, Mo등을 단독 또는 복합 첨가시킨 것을 침탄용 강재라 부르고 있다. 침탄은 침탄성 분위기의 탄소포텐셜과 금속중의 C%와의 농도차에 비례하여 탄소가 확산 침투한다, 따라서 강 중의 C%가 높으면 침탄이 깊어지게 된다. 침탄처리재의 특징중의 하나는 침탄하여 담금질한 표면에 잔류 압축응력은 적어진다. 이와 같은 이유로 침탄에 적합한 강의 탄소량은 보통 0.2% 전후이다. 침탄강의 함탄량을 보면 0.10%, 0.15%, 0.20%의 단계로 나눠지며, 함탄량이 많은 강종은 기계적 강도는 상승하지만 인성은 저하한다. 합금성분은 Cr 0.4~ 1.8%, Ni 0.4~ 4.5%, Mo 0.15~ 0.7%정도이며, 이것들의 일반적인 효과는 조질성을 개선해서 결정립의 성장을 저지하고 심부의 강도 및 인성을 높이는데 있다. 침탄용 강은 킬드 강괴로부터 단련성형비 4S이상 시 해당하는 압연 또는 단조를 실시해서 조도가 No.6~ 8로 된 세립강으로 하며, 편석 결함이 없는 것이 바람직하다. 침탄에 적용할 수 있는 재료는 KS의 구조용 강재 규정 중에 포함되어 있다. 특히 침탄용으로 구별하지 않는 것은 소재의 탄소량에 관계없이 침탄을 실시하여 사용할 수 있기 때문이다.

1) 침탄법




[그림 1-86] 침탄 표면 경화법

표면 경화를 필요로 하는 강 제품에 탄소를 확산 침투시켜 표면을 경화시킨 후 담금질 처리를 함으로써 강의 표면 층을 경화시킨다. 이와 같은 열처리법을 침탄법(cementation)이라 한다.

침탄층은 표면으로부터 순차적으로 과공석강, 공석강, 아공석강이 된다. 이 침탄법에는 ① 고체 침탄법, ② 액체 침탄법, ③ 가스 침탄법이 있으며 일반적으로 ①이 많이 이용되고 있다. 침탄된 제품은 침탄된 상태 그대로 사용하는 일은 적으며 침탄 후 재차 1~2회의 표면 담금질을 한 후 사용된다.

그림 2-6은 침탄·표면 경화법을 그림으로 나타낸 것이다.

(가) 고체 침탄법

탄소를 침투시키는데는 주로 목탄이 쓰이며 목탄을 부품과 함께 침탄 상자 속에 넣고 상자의 틈 사이를 점토로 밀봉하고 900 ~ 950℃의 온도범위로 가열로 속에서 가열 유지한다. 침탄제 중의 주제(主劑)인 목탄은 불완전 연소하여 일산화탄소(CO)가 되고 강의 표면에 이 CO가 작용하여서 철과 탄소의 화합물 층이 생긴다.

이 침탄 기구는 다음과 같이 화학식 ①로 나타낼 수 있다.

① C + O = CO → 2CO + 3Fe → Fe3C + CO2

침탄 작업에 있어서 침탄 온도는 침탄 시간에 크게 영향을 미치므로 침탄 온도가 높아지면 침탄 시간은 짧아지지만 강의 내부 조직이 거칠어지기 쉬우므로 피한다.

[그림 1-87]은 침탄 조직을 나타낸 것으로, 왼쪽이 표면의 침탄부이며, 오른쪽은 내부의 기지 조직이다. 표면은 침탄되어 탄소 함유량이 증가되고 공석층으로 되어 있어서 오른쪽 내부로 들어감에 따라서 흰색 페라이트가 나타나며, 그 양이 증가하고 있다.

[그림 1-87] 침탄 조직

침탄 후는 보통 1~2회의 담금질을 하며 이 담금질은 다음과 같다.

(1) 1차 담금질: 침탄 작업에서 조대화한 중심부의 결정립 미세화 때문에 Ac3점 이상 30℃ 이내로 가열하며 담금질한다.

(2) 2차 담금질: 표면 침탄층의 경화를 목적으로 하고 A1점 이상으로 가열하며 물 또는 기름에 담금질한다. 그러나 부품이 그다지 크지 않을 때는 850℃ 전후해서 1차 담금질만으로 끝내는 수도 있다.

(3) 뜨임: 담금질 후는 변형의 제거를 위하여 150 ~ 180℃로 1시간 이상 뜨임을 한다.

이와 같은 고체 침탄의 특징으로는 다음과 같은 것이 있다.

장점으로는 ① 고도의 기술을 필요로 하지 않는다.
② 설비비가 싸다.
③ 부품의 크고 작음에 관계가 없다.

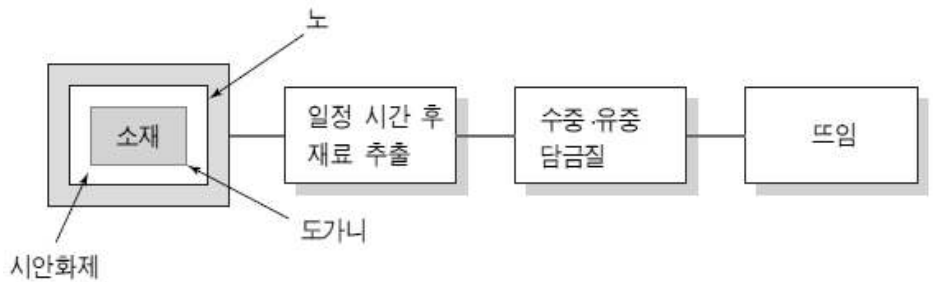
단점으로는 ① 가열에 균일성이 없으므로 침탄층도 균일성이 없다.
② 직접 담금질이 곤란하므로 방냉한다.
③ 표면에는 망상 탄화물이 생기기 쉽다.
④ 탄재 때문에 환경이 오염된다.
⑤ 대량 생산하기가 어렵다.

(나) 액체 침탄법

액체 침탄법은 청화법(cyaniding)이라고도 불리며 시안화소다(NaCN)를 주성분으로 하는 용융염욕을 900℃ 안팎으로 보존하며 여기에 부품을 넣어서 침탄시킨 후 담금질·뜨임을 행한다.

이때 탄소와 질소가 동시에 강의 표면에 침입하여 침탄과 질화가 동시에 행해지므로 침탄질화(carbonitriding)라고도 한다.

[그림 1-88]은 액체 침탄법을 나타낸 것이다.




[그림 1-88] 액체 침탄법

(다) 가스 침탄법

고체 및 액체 침탄과는 달리 가스 중에서 직접 침탄하는 방법으로 품질관리는 수월하지만 침탄 비용이 높으므로 고품질 부품의 다량 침탄에 알맞다.

가스 침탄은 침탄성 가스 중에서 강 부품을 900℃ 안팎으로 가열하고 침탄한 후

담금질 뜨임을 한다.

2) 침탄제

침탄제에는 고체, 액체 및 가스의 3종류가 있다.

(가) 고체 침탄제

고체 침탄제는 목탄이나 코크스와 같은 탄소를 주성분으로 하고 여기에 촉진제나 희석제를 섞은 것이다. 촉진제로서는 탄산바륨(BaCO3)이나 탄산소다(Na2CO3s) 등이 있으며 희석제는 코크스 등이다.

이들 침탄제의 선정에는 일반적으로 다음과 같은 점을 주의한다..

(1)침탄제로서 수명이 길고 침탄성이 오래 지속할 것

(2) 굳고 잘 부스러지지 않을 것

(나) 액체 침탄제

액체 침탄제는 시안화소다(NaCN)를 주성분으로 하고 여기에다 염화바륨(BaCl2), 탄산 소다(Na2Co3), 식염(NaCl) 등을 첨가한 것이다.

액체 침탄제의 선정 시 경화층을 엷게 하려면 시안화소다가 많은 침탄제를 사용하고 비교적 낮은 온도에서 침탄한다. 반면 두껍게 하려면 시안화소다가 적은 침탄제를 쓰고 높은 온도에서 침탄을 하면 좋다.

액체 침탄제의 침탄 성능 관리에는 (ㄱ) 액체 침탄욕의 농도관리, (ㄴ) 침탄제의 보충량의 관리, (ㄷ) 연강박 시험, (ㄹ) 침탄 능력의 관리 등이 있다.

3) 침탄 방지와 과잉 침탄 방지

(가) 침탄 방지

침탄법에 부분 침탄(부분 담금질)을 하려면 탄소량이 적은 강으로 형상을 만들어 침탄할 부분을 남기고 분위기로에 넣어 침탄 가스를 보내고 그 가운데서 가열하면 필요한 부분만 침탄된다.

(나) 과잉 침탄 방지

일반적으로 초공석 조직을 생성시키는 침탄을 과잉 침탄(super carburization)이라 한다. 과잉 침탄은 온도가 높을수록 현저히 일어난다. 과잉 침탄을 방지하려면 다음의 점에 주의한다.

(1) 가스 침탄을 행한다.

(2) A1점을 넘어서 되도록 이에 가까운 저온으로 침탄한다.

(다) 완화(緩和)침탄(mild carburization)

완화 침탄에서는 침탄 속도를 약화 시키기 위하여 낡은 침탄제 또는 석회, 인산석회, 알루미나, 규산염 등을 가한 것을 쓴다.

4) 침탄층의 측정 방법

① 적용 범위 : 강을 침탄했을 때의 경화층 깊이의 측정에 한정한다.

② 용어의 의미 : 유효 경화층 깊이와 전경화층 깊이는 침탄 후 담금질된 채 혹은 200℃ 이하인 저온 뜨임한 것에 대해서 측정한다.

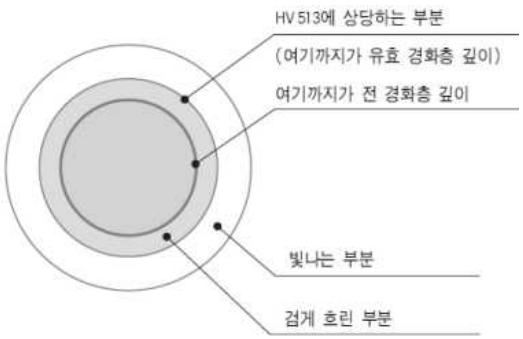
③ 시험 방법의 종류 : 경화층 깊이의 시험은 경도시험방법과 매크로 조직시험 등 2종류로 규정한다.

④ 시험 제품 : 침탄품을 사용한다.

⑤ 경도 시험 방법 : 피검사면에 대해서 비커스 경도시험기를 사용하며 시험 하중을 1kg 또는 300g으로 해서 측정한다. 단면 경도를 측정하는 방법에는 경사 측경법 및 직각 측경법이 쓰인다. 경사 측경법은 경화층 깊이가 작거나 중간인 경우이며 직각 측경법은 중간 및 큰 경우에 편리하다. 기타로는 테이퍼연삭법과 계단연삭법이 있다.

⑥ 매크로 조직 시험 방법 : 시험품을 경화층에 수직으로 절단하고 절단면을 연마 다듬질(표준조도1.5S)한 후 피검사면을 5% 질산알코올 용액 중에서 약1분간 부식시킨다. 이 부식면을 알코올 혹은 물로 씻은 후 확대경으로 착색 상황을 조사한다. [그림 1-89]는 시험 결과의 일례이다.

⑦ 표시 : 경화 깊이는 mm로 표시하고 소수점 이하 한자리까지로 한다. 경화층 깊이의 표시 기호를 표 2-12에 나타냈다. 예를 들면 CD-H-E1.1의 표시는 경도 측정방법에서 시험하중 1kg으로 측정하여 유효경화층 깊이가 1.1mm인 경우를 나타낸다.




[그림 1-89] 매크로 조직 시험의 일례

[표 1-19] 경화층 깊이의 표시 기호

| 시험방법 / 경화층 깊이 | 경도시험방법 | | 매크로 조직 시험 방법 |
|---|---|---|---|
| | 시험하중 1kg | 시험하중 300g | |
| 유효 경화층 깊이 | CD-H-E | CD-h-E | CD-M-E |
| 전경화층 깊이 | CD-H-T | CD-h-T | CD-M-T |

- CD : Case Depth(경화층의 깊이)
- M: Macrostructure(매크로 조직 시험 방법)
- H : Hardness(경도시험 방법, 시험하중 1kg)
- E: Effective 유효 깊이
- h : hardness(경도시험 방법, 시험하중 300g)
- T: Total 전체 깊이

5) 강철의 침탄경화층 깊이측정방법 <KS D 0215 , JIS G 0557>
(Method of Measuring Carburizing Depth for Steel)

침탄경화층 깊이 = 경화층 깊이

- 용어

* 유효경화층 깊이(Effective Hardness Depth) : 어떤 강재를 침탄하였을 때 퀜칭한 그대로 또는 200℃를 넘지 않는 온도에서 템퍼링한 재질을 경화층의 표면으로 부터 HRC50(HV513)인 점까지의 거리를 말한다.
* 전경화층 깊이(Total Hardness Depth) :
경화층 표면으로 부터 침탄층과 중심부와의 화학적또는 물리적 성질의 차이를 더 이상 구별할 수 없는 점까지의 거리를 말한다.
(화학적성질 = 마크로조직, 물리적성질 = 경도)

6) 시험방법

(가) 경도시험 방법

경화층 깊이의 측정에 주로 사용하며, 시험품 단면의 경도를 측정하여 경화층 깊이를 측정하는 방법이다.

(나) 마크로조직 시험방법

간이적인 방법으로서 시험편 단면을 저배율의 확대경으로 관찰하여 경화층 깊이를 측정하는 방법이다.

7) 시험품

침탄품을 원래 그대로 사용을 원칙으로 한다. 불가피한 경우 침탄품과 동일한 조건으로 처리된 동일 종류의 재질을 사용한다. 시험품은 침탄후 퀜칭처리시 탈탄이 일어나지 않도록 충분히 주의해야 한다.

(가) 경도 시험방법

시험품을 경화면에 수직으로 절단하고 그 면을 연마하여 검사면으로 한다. 절단하거나 연마할 때 검사면의 경도에 영향을 주지 않도록 충분히 주의해야 한다. 검사면에 대하여 시험하중 1Kg, 300g의 비커스경도시험기를 사용하여 유효경화층 깊이 또는 전경화층 깊이를 측정함 (경화능곡선을 만들어 두면 좋다)

(나) 마크로조직 시험방법

시험품을 경화면에 수직으로 절단하고 그 면을 연마하여 검사면으로 한다. 절단하거나 연마할 때 검사면의 조직에 영향을 주지 않도록 충분히 주의해야 한다.

검사면의 굴곡도(거칠기)는 1.5-S(1.5㎛이하)를 표준으로 하고, 검사면을 5% 질산 알코올 용액 중에서 약 1분간 부식시킨다. 이 부식면을 알코올 혹은 물로 씻은 후 20배 이하의 확대경으로 부식에 의한 착색상황을 조사한다.

*유효 경화층 깊이

표면으로부터 HV513에 상당하는 착색부분까지의 거리를 측정한다.

*전경화층 깊이

표면으로부터 중심부와 동일한 착색이 나타나는 부분까지의 거리를 측정한다.

*경화층깊이 : mm로 표시하고 소숫점 이하 첫째자리에서 끝맺음을 한다.

(다) 표시

[표 1-19] 경화층 깊이의 표시 기호

| 시험방법<br>경화층깊이(Case Depth) | 비커스경도시험방법 (Hv)<br>Vickers Hardness Test | | 마크로 조직시험<br>Macro Structure Test |
|---|---|---|---|
| | 시험하중 1 Kg<br>(Applied Load) | 시험하중 300g<br>(Applied Load) | |
| 유효경화층깊이<br>(Effective Hardening Depth) | CD - H - E | CD - h - E | CD - M - E |
| 전경화층깊이<br>(Total Hardening Depth) | CD - H - T | CD - h - T | CD - M - T |

<보기>

① CD - H - E - 2.5

경도시험방법에서 시험하중 1Kg으로 측정한 유효경화층 깊이 2.5mm의 경우

② CD - H - T - 1.1

경도시험방법에서 시험하중 300g으로 측정한 전 경화층 깊이 1.1mm의 경우

③ CD - M - E - 2.2

마크로조직시험방법으로 측정한 유효경화층깊이 2.2mm의 경우

[표 1-20] 경화깊이 별 시험기 활용요령

a. CLARK 사

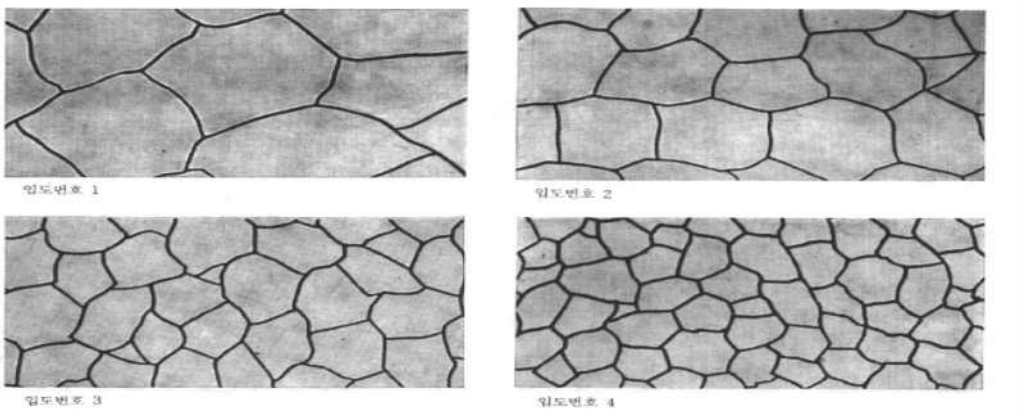
| | |
|---|---|
| 0.13m/m ↓ | file hard |
| 0.13~0.35 | HR15N |
| 0.36~0.61 | HRA |
| 0.62 ↑ | HRC |

b. SAE J 417 b(미국 자동차 규격협회)

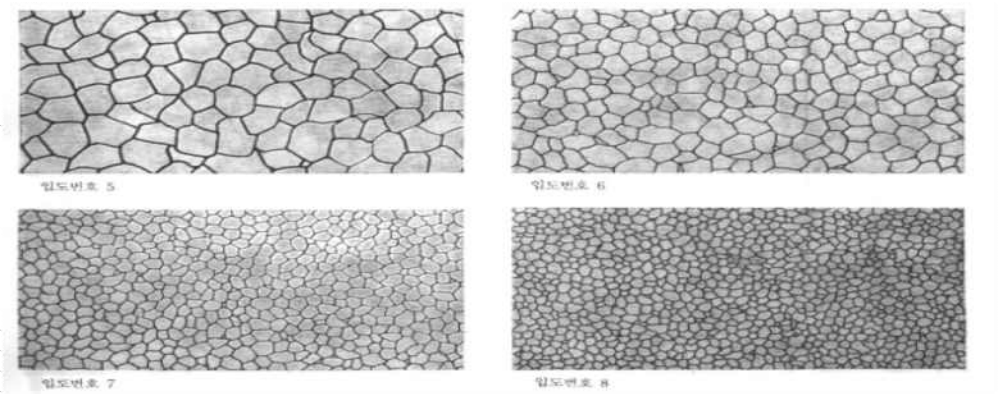
| | |
|---|---|
| 0.18 m/m | HR15N |
| 0.25 m/m | HR30N |
| 0.3 m/m | HR45N |
| 0.38 m/m | HRA |
| 0.46 m/m | HRD |
| 0.53 m/m | HRC |

c. 조직의 경도

| | |
|---|---|
| FERRITE | HB 90~100 |
| PEARUTE | 200~225 |
| SORBITE | 270~275 |
| TROOSTITE | 400 |
| MARTENSITE | 600~720 |
| CEMENTITE | 800~920 |
| AUSTENITE | 150~155 |



[그림 1-90] 입도번호(1～4)



[그림 1-91] 입도번호(1～4)

□ 침탄깊이 측정 실예

[그림 1-92] 표면조직(500배)

[그림 1-93] 표면조직(200배)

[그림 1-94] 표면조직(100배)

[표 1-21] 경화 깊이와 경도와의 관계

| 깊이 | 경도HV 300g |
|---|---|
| 0.1 | 764 |
| 0.2 | 784 |
| 0.3 | 758 |
| 0.4 | 732 |
| 0.5 | 570 |
| 0.6 | 471 |
| 0.7 | 421 |
| 0.8 | 400 |
| 0.9 | 419 |
| 1.0 | 357 |

8) 침탄용 강재의 구비조건

① 침탄법의 원리로부터 분명한 것처럼 담금질 경화 후 중심부의 인성을 유지하기 위해 저탄소강이어야 한다.

② 침탄처리 시 강열에 의해 결정립의 조대화를 일으키지 않아야 한다.

③ 경화층의 경도는 높고 내마모성, 내피로성이 우수해야 한다.

④ 유리탄화물을 만들기 쉬운 원소가 작고, 침탄 방해원소도 포함하지 않아야 한다.

⑤ 조질성, 가공성이 좋고 제조도 용이하며 가격도 저렴해야 한다.

9) 침탄강재에서 함금원소의 영향

① 탄소(C)

침탄은 강 표면에서 활성탄소가 내부로 확산해 진행하게 되므로 내부와 외부와의 탄소농도 차가 클수록 침탄 속도가 빨라진다. 실용상 강재의 심부는 강인성을 유지하고 표면의 경도를 높이는 내마모성을 증가시키는 것이 목적이므로 탄소량은 낮아

야 되고 약 0.08~ 0.2% 정도 요구된다.

② 크롬(Cr)

강중에 탄소의 확산속도를 지연시켜 크롬 4%일 때 침탄의 증가는 최대가 되고 표면 탄소량이 3%에 이를 때도 있다. 이와 같이 표면 탄소량이 현저하게 증가하는 것은 확산속도가 늦어져 표면에 탄소가 집적되어 탄화물을 만들기 때문이며, 침입 깊이는 크게 증가하지 않음에도 불구하고 침탄 중량은 크다.

③ 니켈 (Ni)

크롬과 달리 표면탄소농도, 침탄 깊이를 감소시키므로 니켈량 증가와 함께 감소량이 많아진다. 니켈은 탄화물을 만들지 않으며, 강에 니켈이 합금 되면, 용융상태에 있어서의 탄소의 용해량도 감소시키므로 침탄성을 저해한다. 표면 열처리 강에 0.4~ 4.5% 첨가되고 있는 것은 니켈의 질량효과 감소성질을 이용함으로써 열처리성을 좋게 하고, 결정립의 조대화를 억제하며 심부의 인성을 높이기 위한이다.

④ 몰리브덴 (Mo)

크롬과 같이 강중의 확산속도를 늦추고, 탄화물을 만들어 표면탄소량을 증가시킨다. 그러나 6%에서 최대치에 달하고, 그 이상이 되면 오히려 감소된다. 강에 주는 성질은 양호하며 자경성 및 심부 강도를 개선하므로 0.15~ 0.7%첨가된다.

⑤ 텅스텐 (W)

침탄성에는 그다지 영향이 없다. 강 중의 탄소의 확산을 늦추고 탄화물을 만들어 표면 탄소량을 증가하며, 침탄깊이를 감소시킨다. 강에 주는 성질로는 결정립을 미세화하는 동시에 그 성장을 저지하는 작용이 있다.

⑥ 바나듐 (V)

침탄성을 저해하는 경향이 강하고 1%정도 함유하면 침탄성을 거의 잃게 된다. 결정의 조대화 방지작용이 있다.

⑦ 티타늄 (Ti)

바나듐과 같이 탄소의 침입깊이를 감소시켜, 결정립의 조대화를 저지시킨다.

⑧ 망간 (Mn)

침탄성을 증진시킨다. 약 10%까지는 침탄성을 높이고, 그 이상은 망간의 증가와 더불어 감소한다. 망간은 최고경도에 영향을 주지 않고 심부의 결정립 성장을 조장하며, 심부와 특히 침탄성을 취화하는 경향이 있으므로 0.6%이하로 한다. 그러나 강의 변태점을 저하시키므로 담금질온도를 낮추고 변형을 감소시키는 이점이 있다. 쾌삭강의 망간은 유황과 화합 해서 MnS만들어 침탄에는 영향을 주지 않고 절삭성을 개선한다.

⑨ 실리콘 (Si)

현저하게 침탄성을 저해한다. 특히 실리콘 1%가 되면 침탄성을 거의 잃게 된다. 보통 0.35%이하로 규정되어 있다.

⑩ 알루미늄 (Al)

현저하게 침탄성을 저해한다. 표면탄소농도를 저하하는 동시에 침탄층의 깊이를

감소해서 흑연화를 조장하므로 합금원소로서는 사용되지 않는다. 단, 고온 침탄용 강의 결정립의 조대화 방지원소로서 첨가된다.

⑪ 인 (P)

침탄성을 현저하게 저해한다. 특히 인은 심부와의 침탄층을 함께 취약하게 한다. 보통 0.03%이하로 규정되어 있다.

⑫ 유황 (S)

침탄성을 현저하게 저해한다. 침탄층에 이상조직을 일으키기 쉽기 때문에 되도록 적은 것이 바람직하다. 약 0.03%이하로 규정되고 있다. 단지 쾌삭강에는 망간과 함께 첨가되어 있다.

10) 침탄용 강재의 규격

KS의 구조용 강재에는 담금질성을 보증한 것과 담금질성을 보증하지 않은 것이 있다. KS에 규정된 담금질성을 보증한 구조용 강 중에서 일반적으로 침탄에 사용되고 있는 것을 나타낸다. 표의 우측에 값을 표시했다. 이것은 화학성분의 각 원소가 각각의 최대 값과 최소 값으로 조성된 경우의 를 계산한 것이다.

H-강의 경우에는 H-band가 규정되어 있으며 화학조성은 오히려 그 H-band를 보증하기 위한 허용범위를 의미한다. 따라서 H-강의 화학조성 상 최대 값과 최소값으로 구성되어있으므로 구한 값이 변동하고 있는 의미가 없다.

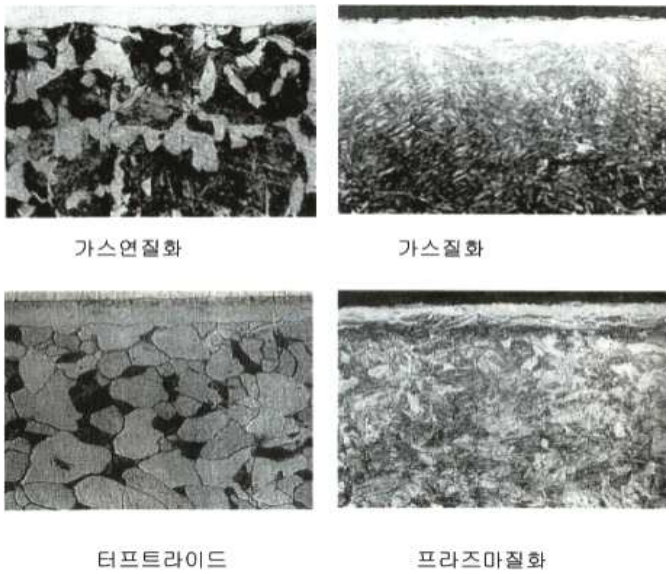
그러므로 H-강 이외의 것은 표에 표시된 값으로 변동하는 것으로 보아도 좋다. 침탄용강재는 절삭가공 전에 노말라이징처리를 실시하나 단조, 압연에 이어서 노멀라이징 및 퀜칭-템퍼링 등의 전처리를 실시한다. 이 때 적당한 온도관리를 위하여 소재의 변태점을 알고 있어야 한다.

나. 질화 표면 경화법

질화법은 1923년 A. Fray(독일)에 의해 개발되었으며 가스 침탄법보다 새로운 방법으로 질화 경화층은 침탄층보다 경하고(Hv 1000 ~ 1200 정도) 내마모성, 열적 안정성, 내식성 등이 우수하다.

질화처리 전에 예비처리는 피 처리제품의 요구 치수에 가깝게 다듬질 가공을 한 후 조질 처리하고 탈지한 뒤 질화로 내에 넣는다.약 500℃의 질화 온도에서 탈수한 암모니아 가스(NH3)를 보내면 암모니아 가스는 분해하여 질소가 노내에 확산하여 표면에 질화 경화층을 만든다.

질화제는 암모니아 가스가 주로 쓰이며 처리온도가 낮아서 열변형이 작지만 처리시간이 길고 가스의 소모량이 많다. 상기와 같은 단점을 보완하기 위하여 염욕질화법과 연질화법이 공업화되어 처리시간이 1/20이하로 단축되었다.




[그림 1-95] 질화

1) 염욕 질화법

염욕질화는 NaCNO, KCNO 등을 주 염으로 한 염욕에 첨가염을 가하여 염욕을 안정화시킨 상태에서 실시한다. 처리온도는 515 ~ 580℃이며 2 ~ 4시간정도 유지하면 Hv 1000～1200정도의 표면 경도를 얻는다.

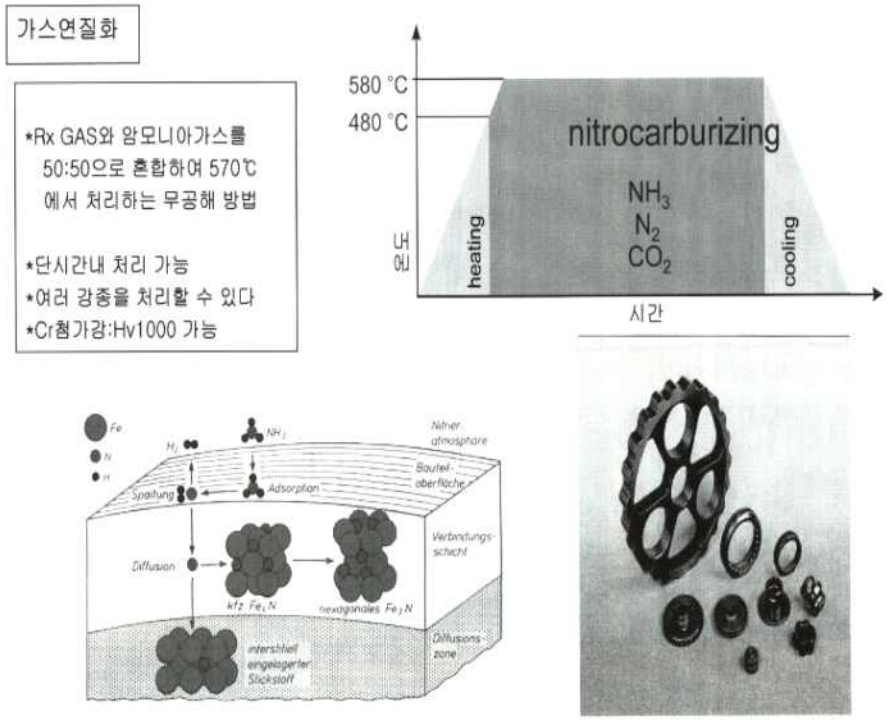
염욕 질화되는 강의 종류는 질화강, 고속도강, 스텐레스강, 다이스강 등에 이용되고있으며 가스 질화처리 비용의 1/2정도로 싸다.

2) 연질화법

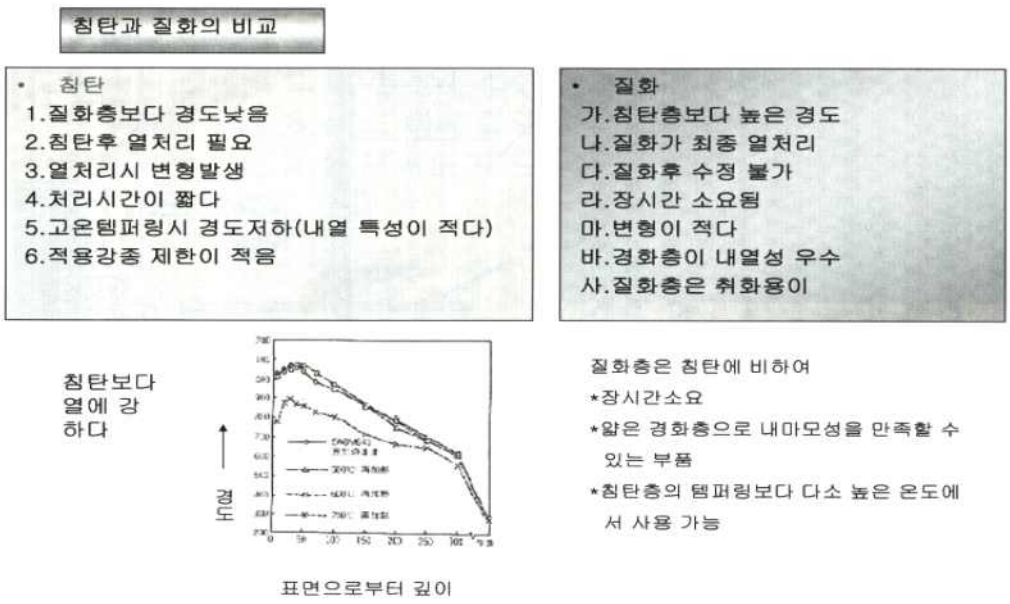
연질화법은 연소가스 또는 전기로 속에서 535 ~ 570℃ 범위의 온도로 1/5 ~ 2시간정도 유지하여 실시한다.

연질화 처리에 의한 특징은 다른 질화와 비해 취성이 없고, 인성이 있으며 내마모성이 있다. 특히 윤활제 없이 마찰되어도 표면의 박리가 일어나지 않으며 연질화 처리 후 질화재의 가공이 필요 없다. 연질화 처리에서 질화 경화층의 두께는 약 8 ~ 10 $\mu$m의 화합물 층(Hv1000 ~ 1200)과 150 $\mu$m의 확산층으로 구분할 수 있다.

산업현장에서 이용되는 재료로는 저탄소강, 합금강, 스테인레스강, 내열강, 회주철, 합금주철, 가단주철, 펄라이트주철 등이 있다.



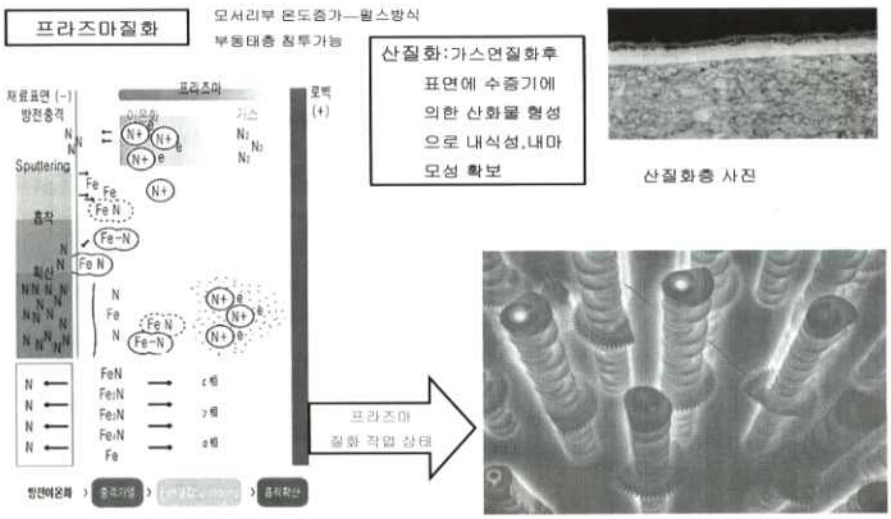

[그림 1-96] 가스 연질화 개요도




[그림 1-97] 침탄과 질화의 비교도

다. 기타 질화법

기타의 질화법에는 고주파 질화법(질화온도 조절이 어려움), 티타나이징 질화법, 고압 질화법, 초음파 질화법 및 플라즈마 질화 등이 있다.




[그림 1-98] 플라즈마 질화의 개요도

## 3. 기타 표면경화 열처리

### 가. 방전경화법

방전 현상을 이용한 금속의 표면 경화의 원리는 공중방전 또는 액중(물, 기름) 방전을 일으킨 장소는 수천도의 높은 온도까지 상승하여 매우 짧은 시간 내에 소멸되므로 표면에서 급열과 급냉 작용을 일으킨다.

음극인 금속면에서는 기체와의 화합, 양극 금속과의 합금화, 또는 산화 등으로 인한 작용이 표면의 경화를 촉진한다. 현재 절삭 공구 날의 경화, 기계 부품, 내연 기관 등의 내열, 내식, 내마모성이 요구되는 것 등에 이용되고 있다.

### 나. 금속 침투법

#### 1) 아연 침투법(Sheradizing)

철과 아연을 접촉시켜서 가열하면 양자의 친화력에 의하여 원자간의 상호확산 일어나서 합금화하므로 내식성이 좋은 표층을 형성한다. 이와 같이 고체 아연을 침투시키는 방법을 세라다이징이라 부른다.

#### 2) 칼로라이징(Calorizing)

칼로라이징법은 철·알루미늄 합금층이 형성될 수 있도록 철강 표면에 알루미늄을 확산 침투시키는 방법이다.

확산제로서는 알루미늄, 알루미나 분말 및 염화암모늄을 첨가한 것을 사용하며 800~1,000℃ 정도로 처리한다. 내열·내산화성, 방청·내해수성·부식성 등을 요구하는 부품에 적용되고 있다.

3) 크로마이징(Chromizing)

저탄소강의 표면에 크롬을 침투시키면 내부엔 인성이 있으며 표면은 고크롬강으로 되어서 스테인리스강의 성질을 갖추므로 스테인리스강의 장점을 지니는 값싼 기계부품을 만들 수가 있으며 이를 크로마이징이라 한다.

4) 실리코나이징

규소 및 페로실리콘은 산에 강한 성질을 지니므로 철강의 표면에 규소를 침투시켜서 방식성을 향상시키는 방법을 실리코나이징이라 한다.

**읽을 거리**

<적당히 멈추어라 침탄층>

침탄층은 너무 깊어도 안되고 너무 얕아도 안 된다. 일반적으로 1~2mm가 적당한 침탄 깊이라 말할 수 있다. 적당히 멈춘다는 것은 침탄깊이뿐 아니라 침탄층의 C%에도 적용된다.

0.9%C가 침탄층의 C%로서 적당하고 이보다 C%가 많아지면 과침탄이 되어 균열이나 박리와 같은 결함을 수반하기 쉽다. 반면 C%가 적으면 경화가 불충분하여 침탄경화의 목적을 이룰 수 없다. 무슨 일이든 열처리에 있어서는 적당한 것이 좋다고 말할 수 있다.

# 제 11 장 염욕 열처리

강의 열처리시 일반적인 공업용로(전기로, 가스로, 중유로 등)에 의한 대기 중 열처리는 피열처리물의 표면을 산화시키거나 탈탄시킨다. 그러나 표면의 산화나 탈탄을 피해야 하는 금형공구강, 정밀기계부품 등의 열처리에는 염욕로, 가스분위기로, 진공분위기로 등이 이용되고 있다.

염욕로를 이용하는 경우에는 무기염류의 성질이나 융점을 자유로이 조절하여 염욕을 만들 수 있으므로 광범위한 열처리 온도의 안정을 얻을 수 있고 강철 표면이 침식되지 않는다는 이점이 있다.

## 1. 염욕 열처리의 특성[31)]

### 가. 염욕의 성질

강의 열처리용 염욕의 주성분은 주기율표 상의 Ⅰ족 및 Ⅱ족의 염화물계이며 기타 첨가제로 구성된다.

일반적인 염욕이 구비하여야 할 조건은 다음과 같다.

① 염욕의 순도가 높고 유해 불순물을 포함하지 않는 것이 좋다.
② 가급적 흡습성 또는 조해성이 작아야 한다.
③ 열처리 온도에서 염욕의 점성이 작고 증발 휘발성이 적어야 한다.
④ 열처리 후 제품의 표면에 점착한 염의 세정성이 좋아야 한다.
⑤ 용해가 쉽고 유해 가스 발생이 적어야 한다.
⑥ 구입이 용이하고 경제적이어야 한다.

### 나. 염욕의 종류

#### 1) 저온용 염욕

보통 150 ~ 550℃의 온도범위에서 사용되는 염욕을 저온용이라 부르며 철강의 항온열처리(뜨임, 마퀜칭, 마템퍼링 등), 비철금속의 열처리, 시효처리, 착색처리 등에 이용된다. 주로 저온용 염욕은 질산염계로 NaNO3, NaNo2, KNO3 등이 사용되며 첨가제로서는 NaOH, KOH, SnCl2, CuCl 등을 혼합하여 사용한다.

#### 2) 중온용 염욕

중온용 염욕은 일반적으로 550 ~ 950℃의 온도범위에서 사용되며 강의 담금질, 고속

31) NCS 분류번호 : 항온 염욕 열처리 (1601030319_17v5)

도강의 마퀜칭, 예열, 뜨임 또는 오스템퍼 등에 이용된다.

중온용 염욕에는 염화물이 사용되며 염화나트륨(NaCl)이나 염화칼륨(KCl)과 같은 첨가제를 섞어 공정 조성으로 만들어 사용한다.

3) 고온용 염욕

고온용 염욕은 1,000 ~ 1,300℃의 온도범위에서 사용되며 주로 고속도강과 다이스강의 담금질, 오스테나이트계 스테인리스강의 수인 처리에 사용된다. 염욕은 염화바륨(BaCl2)의 단일 염이 많이 이용된다.

다. 염욕 열처리의 장단점

1) 염욕 열처리의 장점

① 다른 열처리와 비교하여 설비비가 싸고 조작 방법이 간단하다.
② 균일한 온도 분포를 유지할 수 있다.
③ 소량 다품종 부품의 열처리(금형 및 공구강류)에 적합하다.
④ 염욕의 전도도가 크고 가열속도가 빠르다.
⑤ 열처리품을 대기중에 꺼냈을 때 제품 표면에 부착된 염욕이 대기를 차단하여 표면 산화를 방지하므로 열처리 후 표면이 비교적 깨끗하다.
⑥ 냉각 속도가 빨라 급냉이 가능하다.
⑦ 항온 열처리(액체 침탄, 전해질화, 연질화, 침붕처리 등)에 적합하다.

2) 염욕 열처리의 단점

① 염욕의 관리가 어렵다.
② 염욕의 증발 손실이 크며 제진 장치가 필요하다.
③ 표면에서 방사열손실이 크고 가열용량이 큼으로 에너지 절약이 어렵다.
④ 폐가스와 노화된 염욕의 폐기로 인한 환경오염에 주의하여야 한다.

라. 염욕의 관리

염욕은 흡습이나 그에 따른 변질 및 열화로 인하여 탈탄을 촉진시키므로 사용하지 않는 염은 드럼통에 넣어 비닐로 밀폐하여 보관한다. 염욕은 열처리 작업 전에 정기적으로 작업량에 따라 하루 한번이나 두 번의 강박시험(steel foil test)을 실시한다.

강박은 1.0%C, 두께 0.05mm, 폭 30mm, 길이 100mm 정도로 만들어 철사에 매달아 염욕 중에 침지할 때 뜨지 않도록 한 다음 주어진 염욕의 온도에서 일정 시간 동안 유지한 후 재빨리 꺼내 수냉한다. 그리고 부착된 염을 잘 씻어내고 건조한다. 그 후 강박을 손으로 구부려 보아 미세하게 깨어지면 이 염욕은 탈탄 작용을 하지 않지만 구부려서 휘어지면 탈탄 작용을 하는 것으로 판단한다.

모든 염은 사용 중에 산화 및 불순물의 축적 등으로 점차 열화되어 그 효율이 저하되기 때문에 사용 도중 일정한 양을 보충하여 사용한다. 그러나 더 이상 염을 보충하여도 사용할 수 없을 경우에는 불순물을 걸러내어 선별적으로 사용하기도 하고 아주 효율이 나쁜 경우는 폐기한다.

## 2. 염욕의 침식과 열화

염욕 열처리는 중성 염욕이 계속적인 용융 중에 점차 변질하여 염기성으로 열화하기 때문에 피열처리 재가 산화하거나 탈탄이 발생한다.

또한 중성 염욕에는 미량 함유된 유해 불순물(황산염, 탄산염, 염화물 등)이 강을 침식시키며 열처리 온도가 높을수록 침식은 심해진다.

이와 같은 염욕의 열화는 다음과 같이 구분할 수 있다.

① 중성 염욕에 함유된 불순물(황산염, 탄산염)에 의한 열화

② 고온 용융 염욕이 대기중의 산소를 흡수할 때

③ 고온 용융염욕이 대기중의 산소와 반응하여 염기성으로 변질할 때

④ 중성염 자체의 흡습, 잔여 수분이 대기중의 수분과 작용할 때

이러한 염욕의 열화를 방지하기 위해 1,000℃ 이하의 염욕 열처리에서는 Mg-Al(50:50)의 것을 혼합하여 사용하며 1,000℃ 이상의 고온 염욕 열처리에서는 CaSi2를 첨가하여 사용한다.상기 ①의 열화 방지에는 구상흑연주철 조각을 넣어 황산기를 제거하며 ④에 의한 강 산성화된 염욕은 탈산제를 첨가하여 산소를 제거한다.

**읽을 거리**

<염욕에 의한 항온풀림 열처리>

강재에 따라 풀림을 하여도 연해지지 않는 경우에는 항온풀림 열처리를 한다. 항온풀림은 "천천히, 빨리"라는 풀림의 원칙을 극단적으로 실시하는 것으로 풀림온도에서 화색이 소실되는 온도인 550℃부근(S곡선의 코라고 불리는 온도부근)의 바로 위의 온도에서 염욕로에 넣어 1~2시간 유지한 다음 집어내어 공냉한다. 항온풀림 염욕 열처리는 베어링강, W공구강, 고속도강 등의 풀림 열처리에 유효하다.

# 제Ⅱ편 열처리 실무

# 제 1 장 열처리 변형 및 균열 발생의 원인

강을 열처리하면 변형하기도 하며, 지나친 경우에는 균열이 생긴다. 이 변형을 적게 하거나, 균열이 발생하지 않도록 하는데 열처리기술의 실제 당면문제로서 아주 중요한 사항이다.

## 1. 열처리 변형[32)]

열처리 변형이라고 한 마디로 말하고 있으나, 변형상태를 자세히 알아보면 다음 2가지로 분류 할 수 있다.

(1) 치수의 변화…담금질로 인한 길이의 신축(伸縮).

(2) 형상의 변화…가열・냉각으로 인한 굽힘, 비틀림.

### 가. 담금질로 인한 치수(寸數)의 변화

담금질이란 오스테나이트 상태로까지 가열한 강을 급 냉함에 따라 마텐자이트를 얻는 것이다. 이때의 가열・냉각으로 인하여 [표 2-1]과 같은 조직변화와 체적변화를 일으키는데 일반적으로는 팽창 하는 것이 보통이다. 또 이에 대한 실측치의 몇 가지 예를 나타내면 표 2와 같다. 이런 치수변화는 피할 수 없지만, 강의 종류와 열처리 후의 조직이나 경도를 앎으로써 어느 정도는 예측 할 수 있으므로 열처리 변형에 비하면 문제가 되는 일은 적은 것이다.

[표 2-1] 탄소강의 담금질-템퍼링으로 인한 체적변화

| 조 직 변 화 | 체적변화(%) |
|---|---|
| (페라이트=시멘타이트)→마르텐사이트 | 1.69(C%) |
| (페라이트=시멘타이트)→오스테나이트 | -4.64+2.21(C%) |
| 오스테나이트→마르텐사이트 | 4.75-0.53(C%) |
| 오스테나이트→베이나이트 | 4.75-1.47(C%) |

### 나. 열처리로 인한 형상의 변화

열처리를 할 때에 굽힘(밴딩)같은 형상변화를 일으키는 것은 대부분 냉각 중에 재료(소재) 내부에 생기는 응력이 원인으로 되고 있다. 이런 형상변화가 크게 일어날지

32) NCS 분류번호 : 열처리 부적합품 관리 (1601030308_17v5)

어떨지는 재료 내부에서 생기는 힘(응력)의 크기나 방향에 따라 결정된다.

응력의 크기를 나타내는 데는, 발생하는 힘을 면적당 크기(단위힘=응력)로 나타내며 단위는 kgf/㎟ 으로 표시한다. 이 응력은 압축되는 힘(압축응력) 과 인장시키는 힘(인장응력)의 2종류가 있으며, 양자(兩者)가 평형을 이루고 있으므로 재료의 한 단면에서 볼 때, 압축응력의 합력은 인장응력의 합력과 같게 된다. 급냉시에 큰 내부응력이 발생하더라도, 냉각 중에 소성변형이 일어나면 어느 정도 내부응력이 해소된다. 그리고 냉각후에 남아 있는 응력을 잔류응력(殘留応力)이라고 부른다.

[표 2-2] 담금질로 인한 체적 변화율의 계산치와 실측

| 조 성 (%) | | | | | | | 해당 규격 | 담금질온도 | 오스테나이트 | 미용해 탄화물 | 마트릭스 | 체적변화율 (%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Cr | W | Mo | V | Co | 기타 | KS | (℃) | (용적%) | (용적%) | 탄소량 (%) | 실측 | 계산 |
| 1.05 | - | - | - | - | - | Sil.0 | STC 3 | 800℃ WQ | 21.0 | 2.5 | - | 0.72 | 0.60 |
| 0.95 | 0.75 | 0.75 | - | - | - | | STS 3 | 825℃ OQ | 21.0 | 0. | - | 0.52 | 0.63 |
| 0.40 | 5.2 | - | 1.4 | 0.8 | - | | SKD 61 | 1050℃ AC | 5.0 | 0. | - | 0.24 | 0.45 |
| 0.30 | 2.5 | 9.5 | - | 0.4 | - | | SKD 5 | 1050℃ OQ | 1.0 | 0. | - | 0.38 | 0.50 |
| 1.50 | 1.2 | - | 1.0 | 0.35 | - | | SKD 11 | 1025℃ AC | 20.0 | 8.0 | 0.50 | 0.08 | -0.10 |
| 2.10 | 1.35 | - | - | - | - | | SKD 1 | 950℃ OQ | 15.0 | 10.0 | 0.60 | 0.16 | 0.26 |
| 0.80 | 4.2 | 18.0 | - | 1.0 | - | | SKH 2 | 1270℃ OQ | 25.0 | 10.0 | 0.50 | 0.07 | -0.42 |
| 0.85 | 4.2 | 6.5 | 5.3 | 2.0 | - | | SKH 9 | 1220℃ OQ | 15.0 | 9.0 | 0.50 | -0.03 | -0.07 |

열처리로 인하여 생기는 응력은 냉간가공, 쇼트피닝, 질화, 침탄 등으로 인해 생성되는 응력과 같이, 잔류 응력의 일종이지만 열처리 조건에 따라서는 대단히 큰 응력이 나타나서 변형을 일으키는 주요 영향으로 작용한다. 재료를 급냉할 때, 응력이 생기는 원인은 다음에 소개하는 열응력(熱応力)과 변태응력(變態応力)이 있다.

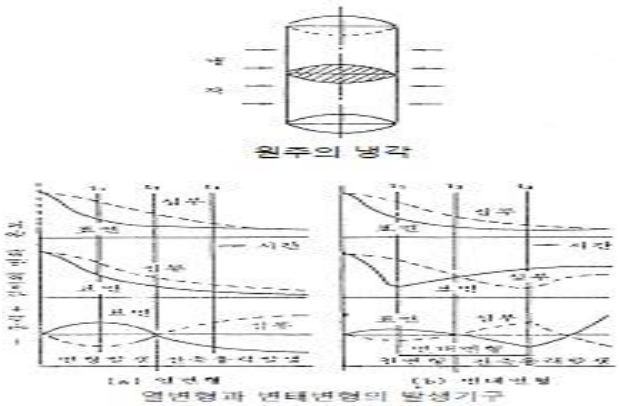
□ 열응력

재료를 급냉할 때, 생기는 내외부의 열수축 차이로 기인되는 응력을 말한다. [그림 1]과 같이 길다란 봉재(원주)를 냉각하여 시간이 경과함에 따라 횡단면(사선부분)의 응력을 보면 그림 2(a)와 같다.

먼저 고온에서는 당연히 내외부의 길이가 같으므로 응력은 없다. 냉각이 시작된 다음은, 외주부의 온도가 낮으므로 외부가 내부보다 많이 수축 하려고 한다. 중심부가 아직 고온상태로 있는 동안은 외부의 수축력 때문에 중심부가 간단히 소성변형되고 외주부로 갈수록 길이가 짧아지게 된다. 더욱 냉각되면 외주부는 거의 수축작용이 끝나고 중심부는 아직 냉각수축이 계속되어 중심부가 수축하므로 외주부는 압축응력이 나타난다.

□ 변태응력

온도가 저하됨에 따라 열수축 변화를 무시하고 마텐사이트 변태로 인한 변형이 내외부에서 시간적으로 차이지게 일어날 때 생기는 응력을 변태응력이라고 한다. 그림 2(b)에서, 표면이 먼저 온도가 저하되어 마텐사이트 변태가 개시되어 크게 팽창한다. 이때, 중심부가 아직 고온이면 외주부의 팽창에 대응하는 소성변형으로 늘어나고 다음에 중심부가 마텐사이트 변태로 팽창하면 외주부가 냉각되어 버렸기 때문에 소성변형을 할 수 없으므로 외주부가 인장응력을 받는다.




[그림 2-1] 열변형과 변태 변형의 발생 기구

그러나, 실제의 열처리작업에서 응력이 발생하는 상황은 열응력과 변태응력이 같이 일어나며, 그 크기(응력)는 강의 종류, 가열, 냉각조건에 따라 변화한다.

## 2. 열처리 균열

전항에서는 담금질에 수반되는 열응력과 반태응력의 발생원이에 대하여 설명했으나, 인장으력이 재료의 강도(파괴강도)를 상회하면 균열이 생기게 된다. 균열의 원인은 크게 나누어, ①변태응력이 주로 원인인 것, ②변태 팽창량의 부분적인 차이나 열응력에 의한 것, ③표면결함에 의한 것, ④조직불량으로 인한 강도의 저하 등 4가지가 된다.

1) 변태응력이 주요원인인 경우,

담금질함에 따라 표면이나 얇은 부분이 먼저 냉각하며 내부와 두꺼운 부분이 늦게 냉한다. 그러면, 표면이나 얇은 부분에 내부나 두꺼운 부분의 변태로 인한 인장응력이 발생하여 응력에 견디지 못하면 균열이 발생한다.

이런 균열은 다음과 같은 경우나 부분에 발생하는 일이 많다.

① 경화능이 좋은 재료를 급냉하는 경우에 발생하기 쉽다.

② 얇은 부분이 오목한 코너(구석)부분에 발생하기 쉽다.

③ 자연균열(담금질이나 템퍼링한 철강 소재가 방치된 중에 생기는 균열)이 발생하

는 경우가 종종 있다.

2) 변태 팽창량의 부분적인 차이나 열응력이 원인인 경우

[그림 2-1]에 나타난 바와 같이 질량효과에 따라 표면만이 경화하여 내부의 변태팽창이 작을 경우에는 중심부에 축 방향으로 큰 인장응력이 발생하여 횡방향의 균열이 생기기도 하고 또는 환상(環狀)의 균열이 생기기도 한다.

또 단면적의 크기가 급변하는 부품을 급냉 시키면 단면적이 작은 부분이 큰 부분보다 빨리 냉각되어 단면적이 급변하는 부분에 인장응력이 발생, 균열을 일으키는 일이 있다.

변태 팽창량의 부분적 차이나 열응력에 의한 균열이 발생하기 쉬운 경우를 알아보자.

① 두께가 두꺼워 재료의 경화능이 별로 좋지 않은 경우, 즉 질량효과가 나타나기 쉬운 경우에 발생한다.

② 두께가 두꺼운 곳이나 얇은 곳과 두꺼운 곳이 닿는 부분에 생기기 쉽다.

③ 냉각 종료 바로 직전에 발생하는 경우가 많다.

3) 표면결함으로 인한 경우

변태응력은 표면에 인장응력으로 나타나는데 표면에 흠이 있거나 가공면이 너무 거칠거나 또는 가공시에 표면의 미세균열이 있는 경우에는 응력집중현상이 생겨 균열이 발생하게 된다. 또 탈탄현상이 생기면 인장응력이 증대되어 균열이 발생하기 쉽게 된다.

4) 조직불량으로 인해 강도(强度)가 저하된 경우, 과열로 인해 결정립이 조대화(粗大化)되고 재료의 결정이 조대(粗大)해지며, 망상(網狀) 시멘타이트로 되어 강도가 저하하면 발생하는 응력이 작더라도 저하된 재료의 강도보다 응력이 크게 되면, 균열이 생기고 만다. 표 3은 과열로 인하여 균열이 발생하기 쉬운 정도를 나타낸 것이다. 또 편석(偏析)이 있거나 하면 응력이 증대되여 균열되기 쉽게 된다.

[표 2-3] 담금질 온도와 경도, 마텐사이트 침상(針狀)의 길이 균열수(數)의 관계

| 담금질온도(℃) | 경도(HRC) | 마텐사이트의 침의길이(mm) | 균열의 수 |
|---|---|---|---|
| 740 | 65 | 측 정 불 능 | 0 |
| 760 | 65 | 측 정 불 능 | 0 |
| 780 | 65 | 측 정 불 능 | 30 |
| 800 | 64 | 0.005 이하 | 50 |
| 820 | 63 | 0.005 ~ 0.01 | 80 |
| 840 | 62 | 0.01 ~ 0.02 | 100 |
| 860 | 62 | 0.01 ~ 0.02 | 100 |
| 880 | 61 | 0.03 ~ 0.04 | 100 |
| 900 | 60 | 0.04 ~ 0.06 | |

[1.2%C, 수냉인 경우]

# 제 2 장 담금질 열처리 작업의 요점

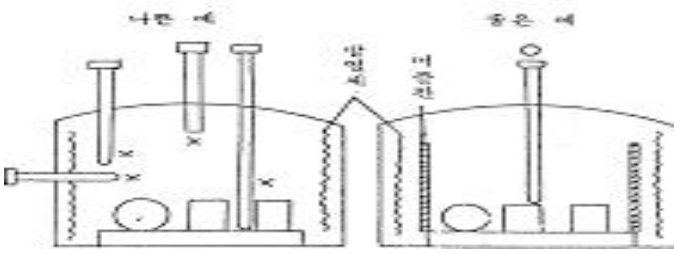
## 1. 정확한 담금질을 하기 위한 조건[33)]

재료(부품)를 담금질하여 충분히 경화(硬化)시킬 수 있는 정확한, 재대로의 담금질을 하기 위해서는, 원칙적인 사항이지만, 가열을 정확한 온도로, 정확한 시간동안 행하며 냉각제도 잘 관리하는 일들이 대단히 중요한 사항들 이다.

### 가. 온도의 계측

온도 계측은 가장 중요한 일이며, 온도계의 온도 검출단 제품(열처리 부품)과는 일반적으로 떨어져서 설치되어 있으나, 머플(muffle)같은 것을 사용하지 않는 직접 가열식 노에서는 검출단이 직접 열을 받으므로 제품과의 온도차가 클 경우도 생기므로 주의해야 한다.

열전대를 이용하여 계측할 경우에는 검출단을 노(爐) 속에 삽입하는 정도(깊이)를 충분히 고려해서, 적어도 보호관(保護管)의 직경의 10배 정도 깊이로 삽입해야 한다. [그림 2-2]는 열전대의 삽입·설치 실례를 나타낸 것이다. 또한, 온도계가 정확한 온도를 나타낼 수 있도록 정기적인 점검(點檢)을 해야 한다.



[그림 2-2] 열전대 삽입의 예

### 나. 냉각

냉각제는 정확한 온도가 유지되도록 관리해야 한다. 냉각제의 냉각능은 20호에서도 설명한 바와 같이 온도에 따라 다르며, 일반으로 물은 40° C이하, 기름(油)은 40~80° C로 유지하는 것이 좋다. 대량의 부품을 냉각하려고 할 경우에는 여기에 알맞은 충분한 냉각능력을 가진 냉각처리설비를 사용해야 한다. 또, 단위중량(單位重量)이 큰 부품을 항온(恒溫)처리할 경우에는 중량(重量)과 비열(比熱)을 고려하여 미리 냉각시킬 때, 변화하는

33) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

냉각제의 온도상승량(溫度上昇量)을 계산하여 그만큼 온도를 낮게 하는 것도 유효한 방법 중의 하나이다.

다. 냉각조(冷却槽)

냉각제는 주로 물이나 기름(油)을 이용하는데 냉각조(수조나 유조)를 다음과 같이 준비・관리해야 한다.

1) 수조(水槽)

① 열처리할 부품의 양에 대하여 온도상승이 없을 정도로 충분히 커야 할 것.
② 물의 유입구(流入口)와 유출구를 설치하여 물을 순환시킬 것.
③ 충분히 교반(攪拌)시킬 것.
④ 수조의 온도폭(溫度幅)을 10~25° C로 조정할 수 있도록, 외부에서 물을 보충하여 오버플로우(over flow)하도록 설치할 것.

2) 유조(油槽)

① 충분히 크게 할 것(1L / 1lb / 1hr).
② 기름을 순환시킬 것(특히 물을 이용하여 기름을 냉각시키도록 하면 좋다).
③ 충분히 교반할 것.
④ 가열장치를 설치하여 온도유지를 철저히 할 것.
⑤ 온도를 60~80℃로 유지 할 수 있도록 보온・냉각 장치를 설치할 것.

3) 냉각수의 관리

① 항상, 유입・유출시키며, 동시에 교반시킬 것.
② 온도를 가능한 낮게, 일정하게 유지 시킬 것.
③ 특별한 경우 외에는 비눗물을 섞지 말 것.
④ 공기・기포를 혼입되지 않게 할 것.
⑤ 새로운 물을 사용하지 말 것.

4) 냉각유의 관리

① 유온(油溫)을 조정할 것(60~80℃가 적당.)
② 혼수(混水)를 방지할 것(적열침(赤熱針)으로 검사한다).
③ 노화(老化)에 주의할 것(노화되면 인화점이 떨어지고 점도는 높게 되어 냉각능력이 저하한다).
④ 뚜껑을 달던가해서 먼지, 수분같은 것이 들어가지 않도록 하고 밑바닥의 스케일이나 슬러지를 수시로 제거하여 유조를 보호할 것.
⑤ 냉각능이나 노화도(老化度)를 정기 검사하여 성능관리(性能管理)를 철저히 한다.

## 2. 담금질을 균일하게 하기 위한 조건

### 가. 노내(爐內)의 온도분포의 준비

대기(大氣)나 가스분위기 중에서 가열하는 경우는 노내(爐內)의 온도분포가 큰 문제가 된다. 또 처리해야 할 부품이 큰 경우나 1회의 장입량(로트)이 많은 경우에는 승온(昇溫)속도가 불균일하게 되므로 주의를 기울여야 한다.

탄소강인 경우에는 담금질온도는 강재가 담적색을 띤 때가 가장 적당하며 이때의 온도는 대략 830~880℃가 된다.

[표 2-4]는 철(鐵)을 가열했을 때의 온도와 나타나는 색(色)을 나타낸 것이다.

[표 2-4] 철의 가열온도와 색

| 색 | 온 도(℃) |
|---|---|
| 암 갈 색 | 520 ~ 580 |
| 갈색을 띤 색 | 580 ~ 650 |
| 암 적 색 | 650 ~ 750 |
| 어두운살구색 | 750 ~ 780 |
| 밝은 살구색 | 780 ~ 800 |
| 붉 은 홍 색 | 800 ~ 830 |
| 담 적 색 | 830 ~ 880 |
| 황 색 | 880 ~ 1,050 |
| 암 황 색 | 1,050 ~ 1,150 |
| 담 황 색 | 1,150 ~ 1,250 |
| 백 색 | 1,250 ~ 1,350 |
| 눈부신 백색 | > 1,500 |

### 나. 냉각

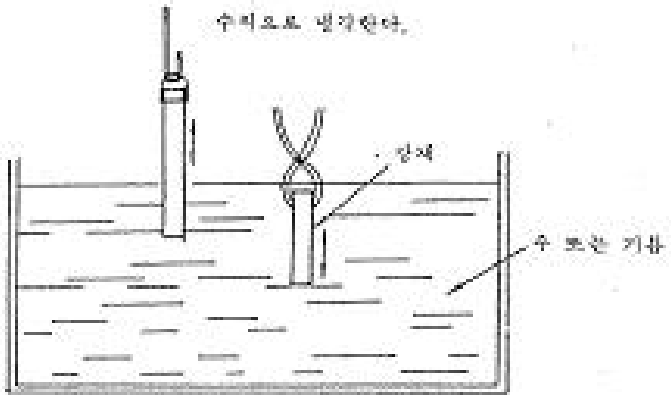
재료를 균일하게 냉각시키기 위해서는 냉각제를 적당히 교반한다. 조그마한 부품을 다량으로 트래이에 넣어 냉각할 때에는 트래이 속의 중심부분에 있는 부품은 느리게 냉각되어 불량(不良)으로 나타나는 수가 있다. 따라서 트레이를 쓸 경우는 몇 단(段)으로 나누어 층으로 담아 냉각시키도록 한다.

냉각, 즉 담금질 할 때의 냉각방식도 중요하며 굽힘 불량의 가장 큰 원인이 된다. 그림 2는 가느다란 부품을 담금질하는 예이며 긴 쪽을 수직으로 해서 상하로 넣었다 꺼낸다. 담금질은 강을 급냉시키는 것이지만, 부품의 전면이 균일한 속도로 냉각되도록 하는 냉각요령을 터득한다는 것이 가장 중요하다.

냉각의 5가지 원칙으로서, 일반적으로,
① 길다란 부품은 긴 방향이 액면(液面)에 수직되게 할 것.
② 얇은 판재상(板材狀)부품은 바로 세워 담금질할 것.
③ 두께가 불일정한 부품은 두꺼운 부분에서부터 먼저 담금질 할 것.
④ 막힌 구멍이나 흠이 있는 부품은 두꺼운 부분에서부터 먼저 담금질할 것.
⑤ 냉각제에 투입하고 나서는 투입한 방향으로 움직일 것 등을 들 수 있다.

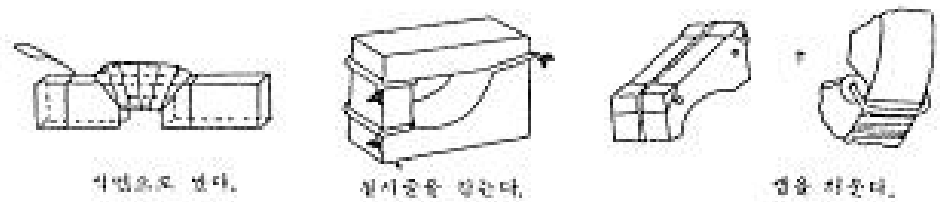
다. 변형·균열을 작게 하기 위하여는

열처리로 인한 변형이나 균열을 방지하는 방법은 다음 기회에 상술하겠으나 여기서 간단하게 그 요령을 소개하기로 하자.



[그림 2-3] 냉각 방식(요령)

열처리 균열을 방지하기 위하여 부품을 냉각시킬 때 가능한 한 냉각속도를 전체적으로 균일하게 하도록 해야한다. 이렇게 하기 위해서는 싸개나 댈판을 쓰면 좋을 때가 많다. [그림 2-4]는 국부적(局部的)으로 냉각속도를 조정하는 방법에 대한 몇 가지의 실례(實例)를 표시한 것이다.



[그림 2-4] 국부적인 냉각속도 조정 방식의 몇가지 실례

긴 부품을 가열할 경우, 자중(自重)으로 인하여 발생하는 굽힘 변형을 방지하기 위해서, 수직으로 매달아 가열하는 방법을 쓰는 수도 있다. 옆으로 뉘어서 가열시킬 때

는 적당한 간격으로 지지대(支持臺)를 설치해 둘 필요가 있다.

긴 부품이나 얇은 판재는 냉각제에 넣을 때, 수직으로 넣는다. 경사지게 하여 넣거나 뉘어서 옆으로 넣으면 굽어져 열변형(굽힘)이 발생한다. 두께가 있는 재료는 중심부까지 충분히 냉각한 후, 템퍼링한다. 중심부가 충분히 냉각되지 않은 상태에서 템퍼링하면, 담금질한 후, 중심부에 잔류 오스테나이트가 많이 남게되어 템퍼링한 후 냉각시킬 때, 마텐사이트 변태를 일으켜 균열이 발생되는 일이 있다.

라. 표면상태를 좋게 하기 위하여는

담금질한 후, 표면 상태를 좋지않게 만들지 않도록 하기 위하여는 가열할 때 온도를 높게 해서 과열되지 않도록 한다. 특히, 대기 중에서 너무 과열되면 재질을 열화(劣化)시키게 되고, 산화나 탈탄현상이 일어나기 쉽게 된다.

냉각시에, 열처리 부품에 스케일이나 페인트 같은 이물질(異物質)이 붙어 있으면 이것이 단열재(斷熱材)로 작용되어 얼룩을 생기게 하는 일이 있다.

# 제 3 장 너무 가열하면 강(鋼)을 버린다.[34)]

적정(適正) 열처리온도 이상으로 가열하는 것을 오버히트(과열 : overheat)라고 말한다. 『지나친 것은 미치지 못하는 것과 같다』는 말과 같이, 오버히트는 해서는 안된다. 열처리는 『달구어서 식히는』 조작이지만, 달구는 방법에서 제일 중요한 것은 뭐라 해도 온도(溫度)인 것이다. 따라서 규격을 보거나 교과서(책)을 보더라도 열처리 온도는 정확하게 규정되어 있는 것이다. 그런데, 가열시간에 대해서는 별도의 규정은 없다. 별로 중요성을 내포하고 있지 않기 때문인 것이다. 가열시간도 중요하지만, 그 이상으로 중요한 것이 가열온도(加熱溫度)이기 때문이다. 결국, 온도에 따라 규정을 지킨다면 시간을 어느 정도 여유 있게 잡더라도 상관없는 것이다.

그러나 가열온도가 일단 규정치를 벗어나면 가열시간이 문제가 된다. 즉, 과열되었을 때는 온도의 영향뿐 아니라 시간의 영향도 받는 것이며, 말하자면, 더블펀치(double punch)를 받는 결과와 같게 된다. 따라서 과열하면 안되는 것이다.

오버히트의 피해는 입자가 성장하여 결국, 조립화(粗粒化)하는데 있다. 오스테나이트가 조대화(粗大化)하면 담금질하여 얻어지는 마텐사이트 입자도 조대화(粗大化)되어 취성이 크게 된다. 더욱 나쁜 피해는 마텐사이트가 침상(針狀)으로 균열이 생겨, 이로 인해 결국, 부품이 균열되는 결과를 빚게 되는 것이다. 이것을 마텐사이트 균열(martensite crack)이라고 하는데, 이러한 균열이 발생하면 인상(引上)담금질이나 말퀜칭 같은 특수한 담금질 방법을 쓰더라도 부품의 균열을 방지할 수가 없게 된다. 한마디로, 오버히트는 치명적인 결함을 발생시키므로 『강(鋼)을 버린다』고 까지 말하고 있다.

오버히트로 버려진 강을 살리는 데는 어떻게 해야 할 것인가. 오버히트된 온도에서 일단, 공냉(空冷)하여 500° C까지(강재가 검게 되는 온도) 낮추고 난 다음, 규정된 담금질온도로 다시 가열하면 된다. 즉, 일단 변태점을 통과하여 변태로 인한 정립작용(整粒作用)을 활용하는 것이다. 일단 온도를 낮추고 다시 높인다고 하는 것이 키포인트이다.

열처리 균열의 발생원인은 여러 가지로 생각할 수 있다. 일반으로 실험실에서의 실험에서 균열이 좀처럼 발생되기 어려운 것이지만, 열처리 현장에서는 균열이 자주 발생한다. 이렇게 달리 나타나는 원인은 현장에서의 가열상태가 불균일한 점, 특히 국부적으로 오버히트되는 점이 주원인으로 된다. 실험실에서는 전기로(電氣炉)가열방식이 주로 사용되지만 현장에서는 가스연소로 가열방식이 많이 사용되기 때문이라고 생각한다. 가열로에 따르는 균열발생빈도는 진공로나 전기로가 일반적으로 제일 적으며, 중유로(中油炉)나 코크스로가 제일 많다. 이런 현상은 노내(炉內)온도의 균일성, 오버히트의 가능성 유무에 따른다고 보겠다. 따라서 열처리 균열에는 오버히트가 제일 문제시되므로 주의해야 한다.

34) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

# 제 4 장 열처리 온도와 변태점(變態點)[35]

열처리의 온도는 변태점과 깊은 관계가 있다. 담금질온도는 A3점 이나 A1점+50° C로 잡는 것이 일반적이다. 결국, 모두 오스테나이트化할 필요가 있기 때문이다. 오스테나이트化한 것을 재빨리 냉각시켜 마텐사이트化하는 것이 바로 담금질이며, 천천히 냉각시켜 펄라이트化하는 것이 바로 담금질이며, 천천히 냉각시켜 펄라이트化하는 것이 어닐링(풀림) 열처리가 되는 것이다. 그런데, 이러한 오스테나이트化에는 완전(完全)오스테나이트化와 부분(部分) 오스테나이트化 2종류가 있다. 열처리의 원칙면에서 말한다면 완전 오스테나이트化하는 것이 좋다는 사실은 두말할 필요도 없다.

따라서 아공석강(亜共析綱), 즉 S-C材는 모두 A3 변태점 이상으로 가열하게 되어 있다. 특히 담금질할 경우에는 이런 완전 오스테나이트化가 필요하며, 부품을 A1~A3점 사이의 온도로 가열하여 부분적으로 오스테나이트化하면 불완전한 담금질이 되어 좋지 않다. 또, 예를 들어, 완전 오스테나이트化된 것이라도 A3 변태점을 서서히 냉각해서 A1~A3점 사이의 온도에서 담금질을 한다면, 이것 역시 담금질이 불완전하게 되어 버리고 만다. 이는 모두 연질(軟質)의 페라이트가 마텐사이트에 혼재(混在)해 있어 완전히 경화(硬化) 되지 않기 때문이다. 이런 현상은 담금질 뿐만이 아니다. 어닐링(풀림)이나 노말라이징(불림)도 모두 완전오스테나이트化하는 것이 제1의 조건으로 되어 있다.

그런데 과공석강(過共析鋼)인 S-K재는 노말라이징(불림) 처리 만으로 완전 오스테나이트化(Acm 변태점 이상 가열할 때)되며, 담금질과 어닐링처리는 부분 오스테나이트化(Acm~A1 점의 온도범위에서) 만으로도 양호하게 된다.

이것은 왜 그럴까? 시멘타이트는 페라이트보다도 단단하며 마텐사이트와 같은 정도의 경도를 나타내므로 혹시 잘못되더라도 무방하기 때문에 A1~Acm의 중간온도에서, 즉, 부분오스테나이트化 온도에서 담금질하는 것이다. 어닐링 열처리인 경우도 시멘타이트가 구상화(球狀化)되어 있으므로 무방하다.

그러나 SCM이나 SNCM재는 어닐링온도가 600~650° C로 되어 있다. 이것은 분명히 변태점 바로 아래의 온도이다. 어닐링 열처리를 하면서 왜 오스테나이트化 온도로 가열하지 않는 것일까, 이 이유는 S-A재가 자경화(自硬化)하는 성질이 크기 때문에 불충분하게 오스테나이트化한 후 서냉(徐冷)하더라도 관계없이 경화(硬化)되기 때문인 것이다. 냉각할 때, 상당히 주의깊게 냉각하지 않으면 연화(軟化)하지 않는 이유도 이 때문이다. 따라서 변태점 바로 아래 온도로 가열하여 냉각시키는 것이다. 말하자면, 저온어닐링(Sub-critical annealing)의 형태가 되는 것이다. 이때, 미리 노말라이징을 하고 나서 저온어닐링을 하면, 효과적으로 연화(軟化)된다.

어닐링은 변태점 이상으로 가열한 후, 노냉(炉冷)하는 방식을 택한다는 사실이 무엇인가를 의미하는 것이다.

35) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

# 제 5 장 절제 담금질 작업의 기본요령

## 1. 일반통칙[36]

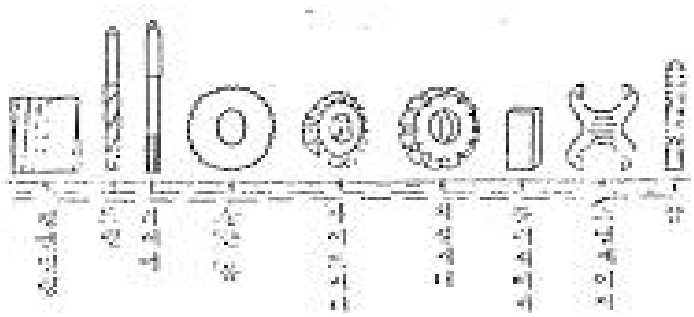
[그림 2-5]는 각종 공구의 냉각방법을 나타낸 예들이다. 즉 평면 밀링, 드릴, 리이머 같은 공구는 냉각액의 액면(液面)에 수직으로 담금질하고 둥근 톱날, 사이드 커터(cutter), 치절삭용 커터 같은 공구류는 절삭 공구축(軸)을 액면에 수평으로 담금질한다. 너트게이지(nut gauge), 링게이지(ring gauge), 다이스 같은 중공체(中孔倅)는 구멍의 축을 수직으로 하여 담금질한다.

## 2. 구멍내부 담금질

막힌 구멍부분은 그림3과 같이 특수한 분수관(噴水管)을 사용하거나 그림 4처럼 구멍을 위로 향하게 하여 담금질한다. 관통된 구멍부는 구멍의 형상에 따라, [그림 2-5]와 같이 화살표방향으로 담금질하거나 또는 유수(流水) 담금질인 경우에는 [그림 2-6]과 같이 언봉(堰捧)을 사용하여 균일하게 담금질이 되도록 한다.

## 3. 두께 불균일 부품(不均一 部品) 담금질

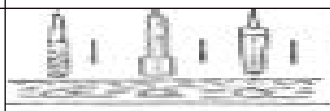
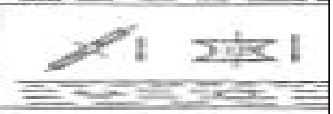
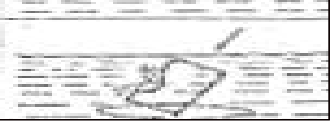
두께가 불균일한 공구나 부품에 있어서는 두꺼운 부분을 먼저 담금질하여 점차 두께가 얇은 부분으로 이행해 간다. 즉 얇은 부분은 자칫하면 과도하게 담금질 되기 쉬우므로 석면이나 점토같은 것으로 도포하든지 캡(cap)을 만들어 씌우는 것이 바람직하다. [그림 2-7]은 그러한 일례를 나타낸 것이다.

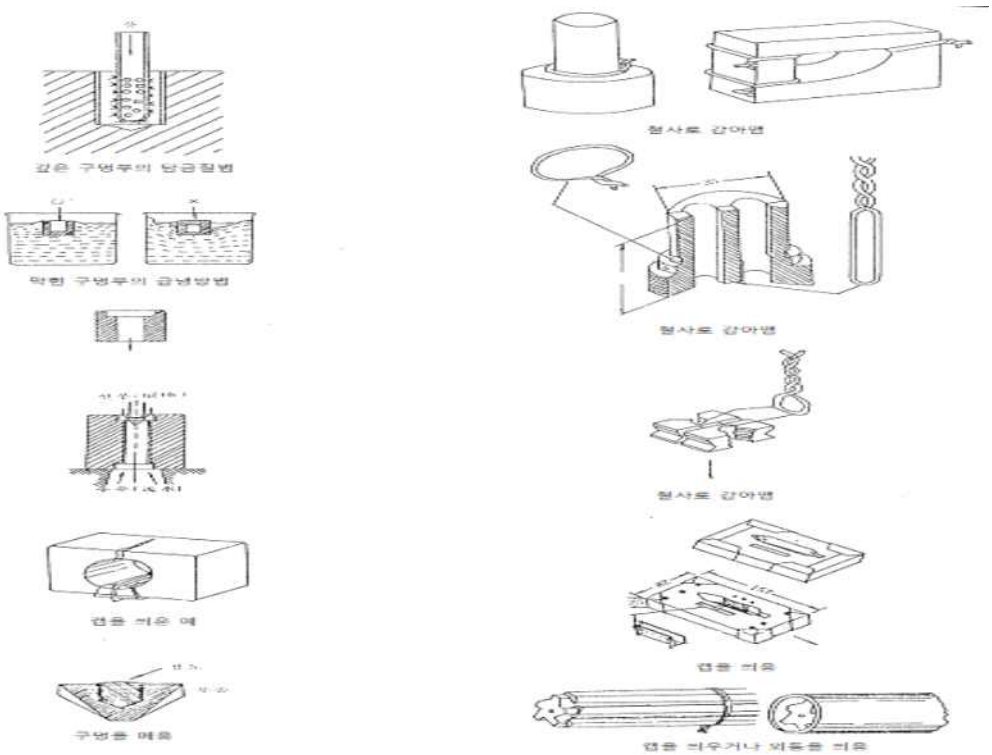


[그림 2-5] 각종 공구류의 급랭 방법

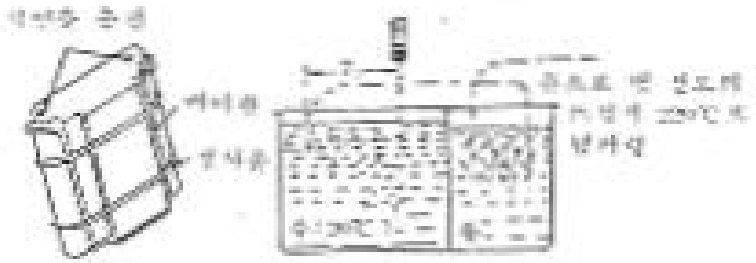
36) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

[표 2-5] 각종 공구류의 투입방법 및 젖는 방법 통칙

| 공구의 형상 | 양 | 불량 |
|---|---|---|
| 세장공구 |  | |
| 원통형 공구 | | |
| 원반형 공구 | |  |
| 도끼류 | | |
| 스냅형류 | | |
| 블랭킹 금형 | | |
| 프레스 금형 | |  |



[그림 2-6] 각종 담금질 방법 1



[그림 2-7] 각종 담금질 방법 2

## 4. 구멍이 있는 부품 담금질

구멍이 있는 부품이나 공구는 그 부분에서부터 균열이 생기기 쉬우므로 흑연, 점토 또는 석명같은 것을 이겨서 구멍을 메워 막는 것이 좋다. 그림 8은 이런 실례의 하나이다.

## 5. 심하게 각이 진 구석부(sharp corner)가 있는 부품 담금질

공구의 sharp corner부는 자칫하면 균열이 발생되기 쉬운 약점을 가지고 있기 때문에 철사줄을 감아 매이 담금질하면 효과가 있다. 또 캡을 씌워 담금질하는 방법도 있다. 또는 이러한 방법을 쓰지 않고 그대로, 담금질하려고 할 때는 구석부분에 비누 같은 것을 손쉽게 발라 붙여, 그 부분이 급냉되는 것을 막는 방법도 균열을 방지하는 방법으로서 유효하다.

# 제 6 장 세장(細長) 공구류 담금질 방법[37)]

드릴, 리머, 탭, 핀같은 가늘고 길다란 세장(細長(세장))공구류의 담금질작업에 대하여는 다음과 같은 방법이 채용되고 있다.

(1) 수직정지(垂直靜止(정지)) 담금질
(2) 수직상하이동 담금질
(3) 수직회전 담금질
(4) 수평회전 담금질
(5) 깁스(gips)담금질(강제형(型)담금질)

위와 같은 작업방법의 응용례를 실제 공구류를 중심으로 알아본다.

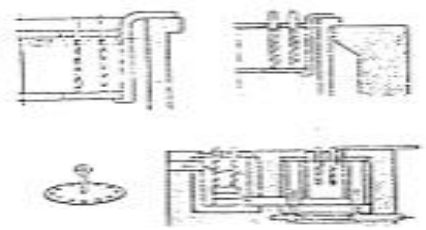
## 1. 드릴 공구 담금질

가. 가열

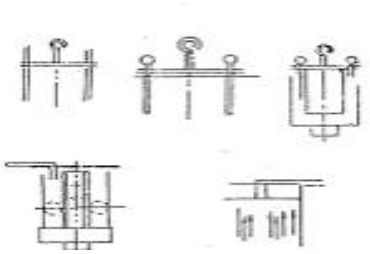
수형(수형) 가열로나 연욕(연욕), 염욕(염욕) 같은데서 수직상태로 놓고 가열한다([그림 2-8] 참조).

나. 담금질

일반으로 쇠젓가락으로 집어 수직정지담금질을 하든가, 아주 정확성을 요하는 정밀드릴은 수직회전담금질을 하기도 한다. 어느 경우나 급냉조의 중심부에 넣어 담금질을해야 되며 액을 교반해야 하는 경우도 있고 교반해서는 안되는 일도 있다. 담금질은 구부(溝部) : flute)만 되도록 하며, 셩크(자루)부나 목부분은 담금질이 안되도록 하는 것이 보통이다.([그림 2-9] 참조).

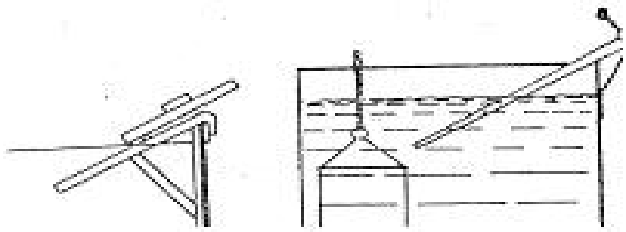


[그림 2-8] 드릴 공구의 가열 방법



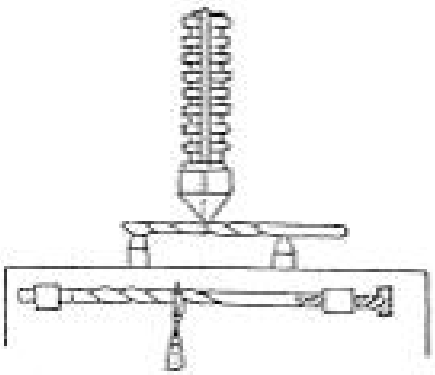
[그림 2-9] 드릴 공구의 담금질

37) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

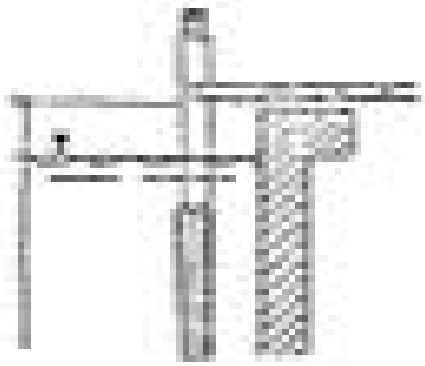


[그림 2-10] 드릴의 경사담금질 방법

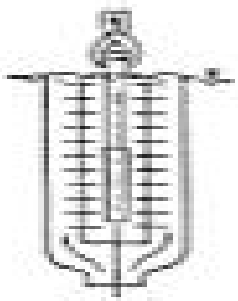
또, [그림 2-10]에서 보듯이 대상(垈上)에 담아 경사지게 넣어 담금질하는 일도 있으나 수직담금질방식보다도 굽힘변형이 많이 일어나는 경향이 있다. 직경이 작고 가느다란 드릴은 정반(定盤(정반))같이 두꺼운 철판 위에 올려 놓고, 역시 두꺼운 철판으로 눌러, 굴려가면서 담금질하는 방법을 사용한다.



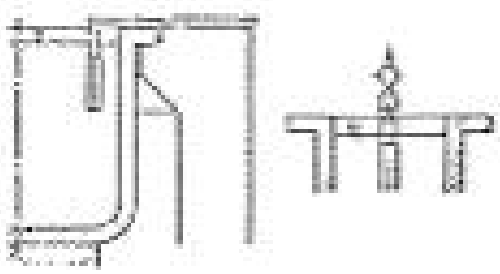
[그림 2-11] 드릴의 굽힘 변형 고정 방법



[그림 2-12] 리머의 가열 방법



[그림 2-13] 리머의 수랭 방법



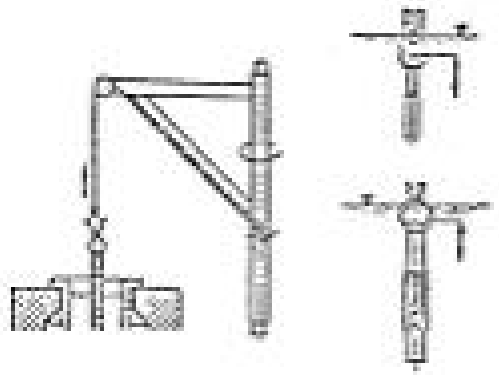
[그림 2-14] 탭의 가열 방법

바늘처럼 아주 가느다란 드릴을 담금질하려는 경우에는 한꺼번에 꾸러미로 만들어 가열하여 상자채로 담금질액조에 투입하던지, 대기 중에서 쏟아가지고 담금질액에 투입하던가, 혹은 액 속에 여러 번 넣었다 꺼냈다하여 담금질한다.

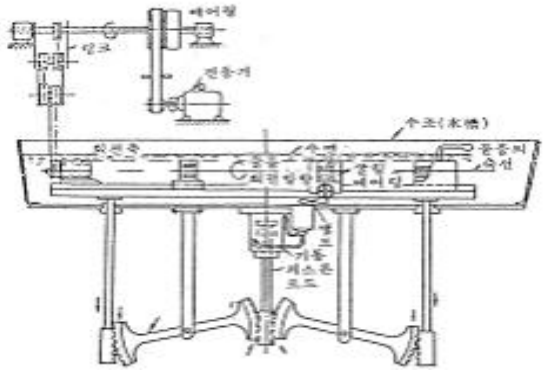
가열은 서서히 균일하게 하지않으면 굽힘변형이 발생하므로 주의해야 한다. 탄소공구강이나 특수공구강으로 만드는 드릴은 수냉하여 200° C 정도로 냉각되면 꺼내서(3mm마다 1초 수냉), 공기중에서 방냉(放冷)한다. 또는 염욕담금질을 해도 무방하다. 고속도강으로 만든 드릴은 유냉하거나 충풍(衝風)담금질한다.

3) 템퍼링

탄소공구강, 특수공구강 드릴은 150~200° C의 기름(油懍)에서 행하며, 고속도 강 드릴은 550~580° C의 연욕(鉛浴)이나 염욕(塩浴)에서 템퍼링한다.



[그림 2-15] 탭의 담금질



[그림 2-16] 탭, 리머의 수평회전담금질

4) 굽힘변형의 교정

템퍼링할 때, 프레스로 교정하거나 가스버너로 가열하면서 프레스를 사용하여 손교정한다.

## 2. 리머(reamer) 담금질

1) 가열

염욕이나 연욕(鉛浴) 중에서 그림 5와 같이 수직가열하거나 가열상자(tray)에 넣어 한다.

2) 담금질

수직으로 하여 상하이동하거나 수직정지 담금질을한다. 가느다란 리머는 유냉하며 굵은 리머는 수냉(직경 3mm마다 1초 수냉)하거나 열욕담금질을 한다. 그림 6은 수직정지담금질의 1예를 나타낸 것이다.

3) 템퍼링

탄소공구강, 특수공구강 리머는 200~250° C의 기름에 템퍼링하며, 고속도강리머는 550～600° C의 연욕이나 충풍에 템퍼링한다.

## 3. 탭(tap) 담금질

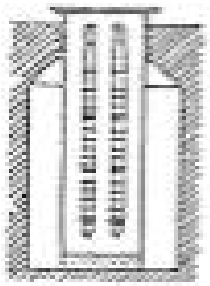
1) 가열

염욕이나 연욕에서 수직으로 놓고 서서히 가열한다.

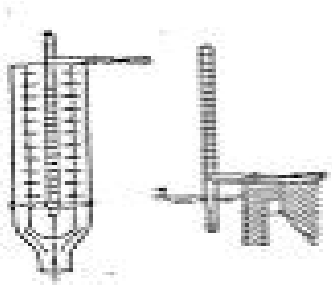
2) 담금질

수직상하 이동방식이나 수평 회전방식으로 담금질한다.

[그림 2-17] 탭의 수랭시 회전 방향



[그림 2-18] 브로치의 가열 방법



[그림 2-19] 앤드밀의 증풍 담금질

담금질액은 탄소공구강이나 특수공구강 탭일 때는 25~30° C의 물을 사용하고, 고속도강 탭일 경우에는 기름을 사용한다. 어느 경우나 200° C 정도로 식힌 후에 끄집어 내어 굽힘변형이 일어났는 지를 조사하여 수동식 프레스로 교정한다. 수냉할 때에는 직경 3mm 마다 1초 비율로 수냉하고 나서 공냉한다. 수평회전방식으로 담금질할 때에는 회전 방향은 [그림 2-17]과 같이 회전시킨다. 회전수는 매분 200회 정도가 좋으며 이것보다 빠 르거나 느려도 안되면, 반대방향으로 회전시키면 담금질경과가 좋지않게 된다.

3) 템퍼링

탄소공구강이나 특수공구강 탭은 150~200° C의 기름에 템퍼링하며 고속도강 탭은 500~600° C의 연욕이나 염욕으로 템퍼링한다.

4) 굽힘변형의 교정

담금질한 직후에 꺼내어 프레스로 교정하든지, 템퍼링하려고 가열하면서 핸드프레스로 교정한다.

## 4. 브로치(broach) 담금질

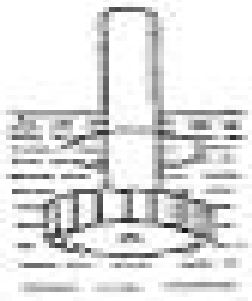
1) 가열

수직으로 서서히 가열한다. 브로치공구는 정밀성이 요구되므로 예열해야 한다. 가열은 염욕이나 연욕 혹은 수직으로 상자에 넣어 가열하는 팩히팅(pack heating)방식을 쓴다.

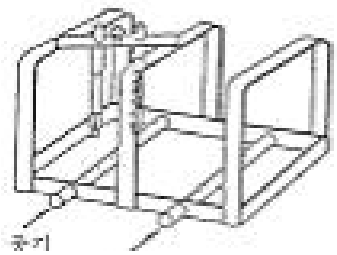
2) 담금질

수직으로 유냉하거나 충풍담금질을 하며, 굵은 브로치는 중심부를 비워 중공체로 만들어 담금질하는 것이 좋다.

[그림 2-20] 브로치 굽힘 변형 교정



[그림 2-21] 앤드밀의 담금질



[그림 2-22] 앤드밀의 증풍 담금질

3) 템퍼링
특수공구강 브로치는 200° C, 고속도강 브로치는 580° C로 템퍼링한다.

4) 굽힘변형의 교정
템퍼링 가열 도중에 프레스로 교정하든가, 템퍼링온도 이하로 가열하면서 프레스로 교정한다. 또 굽어 들어간 부분을 버너로 약간 가열하면 어느 정도는 바로 잡아진다.

## 5. 엔드밀 담금질

1) 가열
수직으로 하고 서서히 가열한다.

2) 담금질
수직상하이동 혹은 수직회전방식으로 한다.

3) 템퍼링
550~580° C에서 템퍼링한다.

## 6. 핀, 축류 담금질

1) 가열
수직으로 하고 서서히 가열한다.

2) 담금질
수직정지방식이나 상하이동방식으로 담금질하며 담금질액은 물을 사용하고 시간담금질(time quenching)하는 것이 좋다. 또, 담금질하려는 부품보다 훨씬 큰 파이프를 사용하여 파이프 속에 물을 흘려보내면서 담금질하는 깁스담금질방법도 좋다.

3) 템퍼링
템퍼링을 하지 않는 경우도 있으나 할 경우에는 +150~200° C에서 한다.

# 제 7 장 톱날, 커터류 담금질 방법[38)]

특히 톱날 같은 얇은 공구류는 수직정지담금질, 금형프레스담금질, 긴장(緊張)담금질, 생무우나 생감자즙을 이용한 담금질방법이 이용되고 있다.

## 1. 둥근톱 담금질

가. 가열

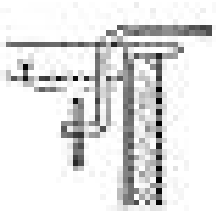
[그림 2-23]과 같이 축공(軸孔)을 수평으로 하여, 수직으로 놓고 서서히 가열한다.

나. 담금질

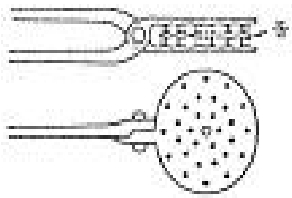
축의 구멍을 수평으로 하여 수직방향으로 담금질하거나 [그림 2-24]와 같이 특별한 집게를 사용하여 담금질한다. 또는 [그림 2-25]나 [그림 2-26]과 같이 주철로 만든 금형으로 눌러 고정하는 이른바 프레스담금질을 한다. 보통 금형에는 물을 유통시키고 눌린 면에는 그리스나 기름을 얇게 바른다.

다. 템퍼링

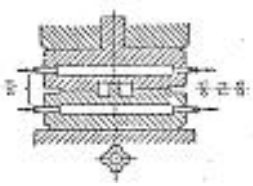
연욕(鉛浴)이나 염욕(塩浴)에서 하며, 일반적으로 고속도강으로 만든 것은 580° C 정도에서 템퍼링한다. 이때에도 프레스템퍼링을 하면 굽힘변형을 용이하게 교정할 수 있다.



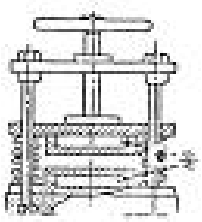
[그림 2-23] 둥근톱의 가열 방법



[그림 2-24] 둥근톱의 담금질 방법



[그림 2-25] 둥근톱의 프레스담금질(1)



[그림 2-26] 둥근톱의 프레스담금질(2)

38) NCS 분류번호 : 퀜칭·템퍼링열처리 (1601030316_17v5)

## 2. 쇠톱날 담금질

가. 가열

수직가열이나 연속수평가열을 하며, 가열용 염욕이나 연욕을 사용한다. 또 톱날을 여러 개로 묶어서 가열하기도 한다. 때로는 [그림 2-27] 처럼 전류를 통하여 직접 가열하여 담금질하는 방법도 있다.

나. 담금질

금형프레스 담금질방식이나 또는 긴장 담금질방식을 이용한다. 아래 그림에서 보듯이 12매의 톱날을 동시에 담금질할 수 있게 되어 있는 장치이다. 톱날을 전류를 통해 직접 가열하여 그대로 담금질하는 장치이다. 또 최근에는 톱날의 날부분과 등 부분만을 고주파 담금질방식으로 경화 시키는 방법이 사용되기도 한다.

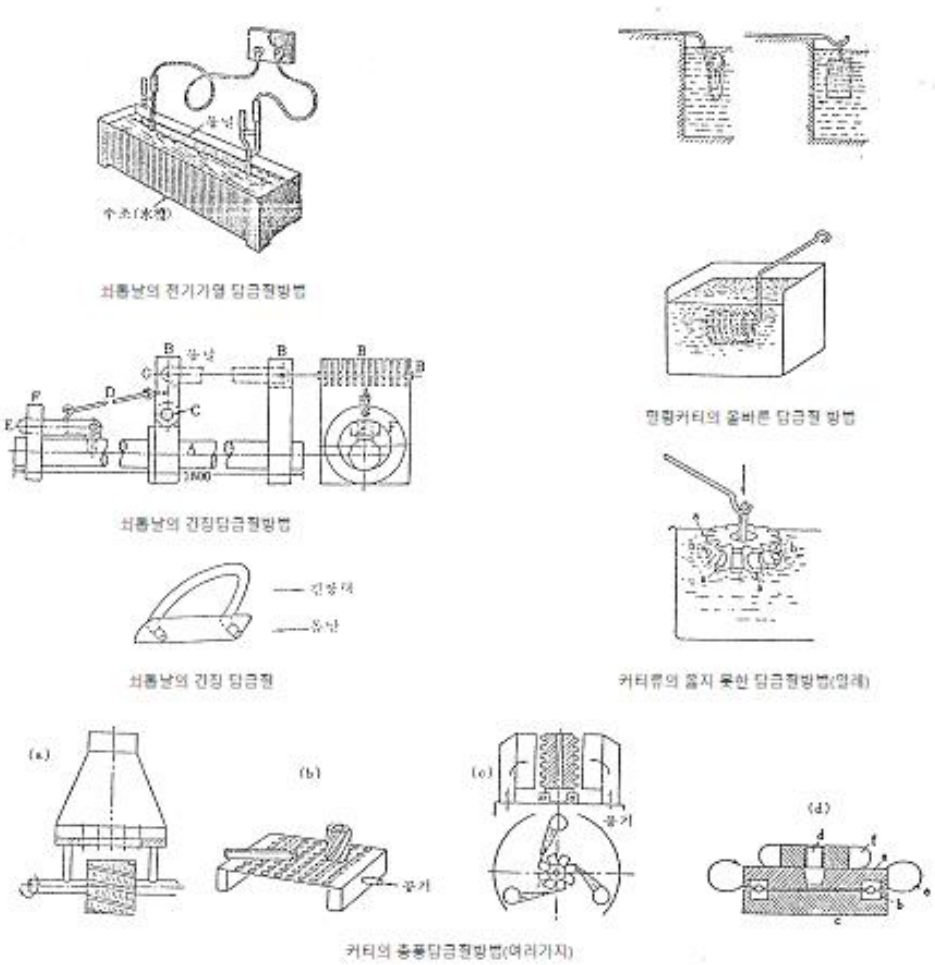


그림 2-27 긴장 담금질

다. 템퍼링

탄소공구강이나 특수공구강으로 만든 것은 200° C에서 템퍼링하고 고속도강으로 만든 것은 580° C에서 한다. 톱날의 양끝부분, 구멍부분, 또 등부분은 680° C정도에서 템퍼링하여 유연성(柔軟性(유연성))을 부여한다.

일반적으로 두께가 얇은 공구류는 염욕이나 연욕중에 수직가열하는 것이 좋고, 담금질은 수직정지 담금질방식이나 금형프레스담금질방식, 또는 생무우나 생감자를 잘라낼 때 그 수분으로 급냉시켜 담금질하는 방식을 쓰기도 한다. 또 템퍼링은 200~300° C에서 하는 것이 일반적이다.

## 3. 커터(Cutter)류 담금질

가. 가열

탄소공구강이나 특수공구강으로 만든 커터는 400° C로 예열, 800° C로 가열하며, 고속도강인 경우에는 900° C로 예열, 1250~1280° C로 가열한다. 특히 형상이 복잡한 고속도강 커터는 2단으로 나누어, 1차 예열을 400° C로, 2차예열을 900° C로 예열한다.

가열하는 것은 염욕이나 연욕을 사용하는 것이 산화나 탈탄을 방지한다는 입장에서 볼 때 바람직하다. 그림 8은 이러한 가열방식을 나타 낸 것이다.

전기로나 중유로(重油(중유)炉(로))를 사용할 경우에는 머플(muffle)형 로를 사용하며, 커터를 잘 구어진 코크스를 써서 가열하는 것이 좋다. 또 탄소공구강이나 특수공구강으로 만든 커터는 일단 700° C 정도로 가열했다가 자체의 발열색이 없어질 때까지 공냉시켰다가 다시 가열해서 소정의 담금질 온도까지 올려 담금질하면 굽힘변형이나 열처리균열을 줄일 수 있어 좋다. 가열 도중에 일단 공냉시키는 과정이 키포인트가 된다.

나. 담금질

탄소공구강이나 특수공구강 커터는 수냉시켜 250° C 정도까지 냉각시켜서 이때 끄집어 내어 공냉이나 유냉하는 시간담금질(time quenching)방법을 사용하거나 또는 200° C 정도의 열욕에 담금질한다.

고속도강 커터는 유냉, 충풍냉각 또는 400~600° C의 열욕에 담금질한다. [그림 2-27]은 커터의 올바른 급냉방법을 나타낸 일례이며 [그림 2-27]은 옳지 못한 방법을 나타낸 일례이다. 그림10처럼 담금질하면, a부분은 경화되지만 b부분은 충분히 경화되지 않기 때문이다. [그림 2-27]은의 (a)~(b)는 여러가지 방법의 충풍냉각(衝風冷却)

에 대한 예를 나타낸 것이다. (d)는 커터를 올려 놓은 고정대(固定臺)를 회전시켜 추풍냉각방식으로 담금질하는 장치로서 a는 회전대, b는 볼베어링, c는 회전축, e는 선회익, f는 담금질하려는 커터를 나타낸다.

다. 템퍼링

탄소공구강이나 특수공구강으로 만든 커터인 경우에는 200~250° C로 3C~60분간 끓는 기름에 템퍼링하고 고속도강으로 된 커터인 경우에는 550~580° C로 30~60분간 템퍼링하여 서냉(徐(서)冷(냉))한다. 가열시에는 염욕이나 연욕으로 가열하는 것이 적당하다.

## 4. 퀜칭 온도

고온으로 가열된 강을 서냉하면 철-탄소계 평형상태도에 따라 변태가 일어나지만 급히 가열하거나 급히 냉각시키게 되면 평형상태도와 전혀 관계가 없이 변화되어 단단한 조직을 얻을 수 있다. KS규격에 탄소공구강으로 규정된 STC 5강(0.8%C)을 퀜칭하고자 할 때에는 760~820℃의 온도범위로 가열 후 수냉하고, 기계구조용 강인 SM45C(0.45%C)는 820~870℃의 온도범위로 가열한 후에 수냉하는 것으로 되어 있다. 이들 온도는 평형상태도에 기초하여 A1 또는 A3 변태점 이상 30~50℃ 범위이다.

퀜칭 온도가 너무 낮으면 균일한 오스테나이트 조직을 얻기 힘들고 퀜칭한 다음에도 잘 경화되지 않으며, 반대로 퀜칭온도가 너무 높으면 강이 과열되어 결정입자가 커져서 퀜칭 다음의 조직이 조대화되고 잔류 오스테나이트가 많이 남아 퀜칭 효과가 작게 된다.

재료가 큰 것은 작은 것보다 약간 고온에서 가열해야 하며, 합금강의 경우에는 열전도율이 작기 때문에 급히 가열하면 깨어지므로 예열로에서 천천히 예열한 다음 퀜칭하기 위한 노에서 퀜칭 온도까지 가열하여야 하고 유냉할 경우에는 수냉할 때보다 약간 높은 온도에서 퀜칭한다.

재료에 포함된 합금성분을 알고 있을 때 강의 AC3점은 다음 식으로 구할 수도 있다.

AC3점(℃) = 908-2.237C+0.4385P+0.3049Si+0.3792V-0.3443Mn-0.32Ni+2(C-54+0.06Ni)

여기서, 908은 순철의 AC3점이며, 2(C-54+0.06Ni)의 괄호 안이 마이너스(-)로 될 경우에는 이 항을 생략한다. 또 식 중의 각 원소는 그 원소의 함유량(%)의 100배를 나타낸 것이며, P만은 1000배로 나타낸 것이다.

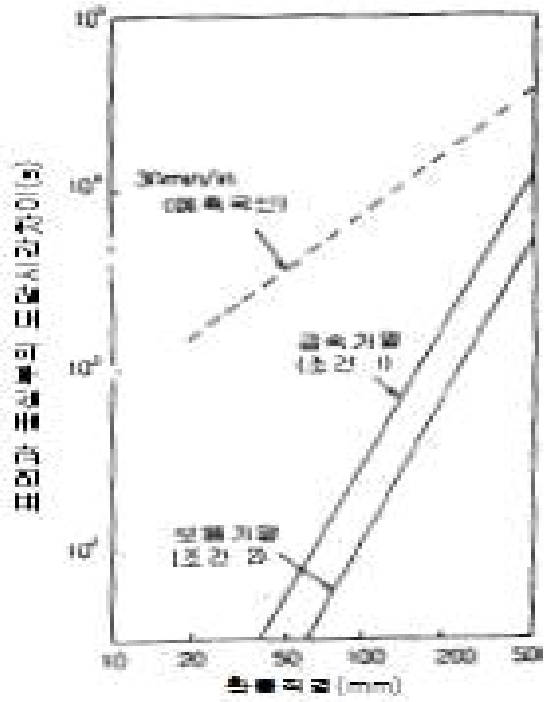
AC1점은 공석강이나 과공석강에 적용되며, 다음 식으로 구한다.

AC1점(℃) = 723-14Mn+22Si-14.4Ni+23.3Cr

## 5. 퀜칭 가열시간

퀜칭할 때의 가열시간은 부품의 표면이 소정의 오스테나이트화 온도로 도달하는데 필요한 승온시간과 재료의 내부까지 균질화 시키는 균열시간 및 유지시간을 말한다.

승온시 간은 부품의 크기에 따라 달라지지만 유지시간은 부품의 크기에는 별 영향이 없고 강종에 따라서만 달라진다. 즉, 아공석강이나 공석강에서는 A3변태온도 이상 50℃ 정도로 가열되는 동안에 거의 완전히 오스테나이트로 변태되므로 유지시간이 필요 없으나 과공석의 탄소공구강이나 합금공구강 또는 고속도강 등과 같은 고탄소, 고합금강에서는 요스테나이트중에 어느 정도의 탄화물을 고용시킬 필요가 있으므로 10~30분 정도의 유지시간이 필요하다. [그림 2-28]은 환봉의 지름에 따른 균열시간을 보여준다.



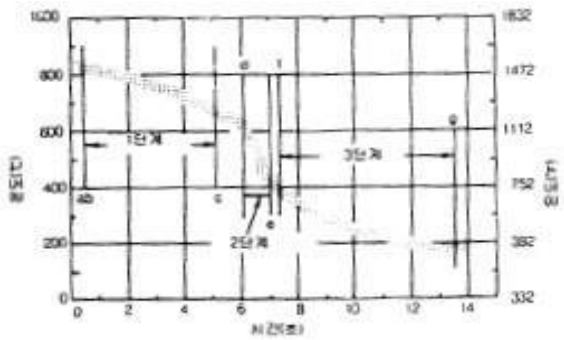
[그림 2-28] 강재의 표면온도 도달 후 중심부에 도달하기까지의 시간

가열속도가 느릴수록 가열 도중의 균질화가 많이 이루어지므로 균질화에 소요되는 시간을 짧게해도 되며 재료의 조직이 미세하고 고른 조직일수록 균질화 시간을 짧게 해도 된다. 가열속도를 너무 빠르게 하면 온도차에 의한 변형 및 균열이 일어나므로 이를 방지하기 위하여 600℃까지는 천천히 가열하여 온도 분포를 균일하게 한 다음 급속히 가열하여주는 것이 좋다.

## 6. 냉각과정

강을 퀜칭경화할 때의 냉각은 급냉에 의해서 A1변태를 완전히 저지하고 Ms점 이하의 냉각은 오히려 완만하게 하는 일이 중요하다. 퀜칭온도까지 가열된 재료를 퀜칭용 냉각제 중에서 급냉시킬 때 냉각되는 과정은 다음의 3단계로 나누어 생각할 수 있으며, [그림 2-29]와 같다.

제1단계(증기막단계) : 퀜칭온도로 가열된 재료를 퀜칭용 냉각제 속에 신속히 넣으면 재료를 둘러싸고 있는 냉각제는 재료로부터 열을 흡수함과 동시에 그보다 멀리 있는 냉각제로 열을 방출하게 되는데 이 때 흡수하는 열치 방출하는 열보다 많으므로 끓는 현상이 일어나며, 얇은 증기막으로 둘러싸이게 된다. 냉각속도는 비교적 느린 단계이며 재료의 표면온도가 600℃ 정도 될 때까지 진행된다.




[그림 2-29] 수냉시의 냉각단계

제2단계(비등단계) : 재료의 표면에서 심한 비등이 일어나고 증기막은 곳곳에서 파괴되어 기포로 되어 없어지므로 재료의 표면이 직접 물과 범촉되어 전도와 대류 현상에 의하여 급속히 냉각되는 단계로 대략 400℃ 정도까지 일어난다.

제3단계(대류단계) : 재료의 표면온도가 더욱 내려가면 수증기의 발생은 없고 재료의 표면과 물의 온도차는 적어져서 대류에 의한 열전달만 이루어지며 냉각속도는 다시 느려지게 된다.

## 7. 퀜칭용 냉각제

퀜칭용 냉각제의 냉각능력은 끓는 점이 높은 것일수록, 비열이 클수록 증발잠열이 클수록, 증기의 비열이 클수록, 열전도율이 클수록, 점도는 낮을수록 좋다. 여러 가지 퀜칭용 냉각제는 각각의 특성이 있으며 주로 사용되는 퀜칭용 냉각제의 특성은 다음과 같다.

(1) 물 : 물은 오스테나이트가 불안정한 550~600℃ 범위에서 냉각속도가 매우 빨라 경

화 능력은 좋으나 마르텐사이트가 생성되는 200~300℃ 범위에서도 냉각속도가 빠르므로 퀜칭에 의한 변형 및 균열이 생기기 쉬운 결점이 있다.

(2) 수용액 : 수산화나트륨, 탄산나트륨, 염화나트륨 등과 같은 비휘발성 퀜칭용 냉각제는 증기막이 형성되는 시간을 단축시키므로 오스테나이트의 불안정한 온도 범위 및 마르텐사이트가 생성되는 온도 범위에서 냉각속도를 빠르게 하며, 수용액 자체의 온도가 높아 물보다 냉각속도가 뒤지지 않는다.

(3) 기름 : 광물유를 사용하며 오스테나이트의 불안정한 범위에서 냉각속도가 느리므로 불완전한 퀜칭이 되기 쉬우나 마르텐사이트가 생성되는 온도 범위에서는 천천히 냉각된다. 기름의 온도를 약간 높여주면 점도가 낮아지므로 고온에서의 냉각속도가 약간 빨라진다. 그러므로 기름온도는 60~80℃ 범위에서 사용한다.

# 제 8 장 Al합금 열처리

## 1. Al합금의 질별 기호(temper designation)

- F(제조한 그대로의 상태)
  열간 가공 상태, 주조한 상태
- O(어닐링 상태)
  가장 낮은 템퍼링 강도를 얻기 위해 어닐링한 가공용 제품에 적용되고, 연성 및 치구 안정성을 개선시키기 위해 어닐링한 주조 제품에 적용.
- H(냉간 가공 상태)
  H1x - 냉간 가공만 한 상태
  H12 - O 상태와 H14 질별의 ½의 인장 강도를 갖도록 냉간 가공한 상태.
  H14 - O 상태와 H18 질별의 ½의 인장 강도를 갖도록 냉간 가공한 상태.
  H16 - H14와 H18 질별의 ½의 인장 강도를 갖도록 냉간 가공한 상태.
  H18 - 약 75% 냉간 가공한 상태
  H19 - H18 질별의 인장 강도보다 더 큰 인장 강도를 갖도록 냉간 가공한 상태.
  H2x - 냉간 가공 후 부분적으로 어닐링한 상태.
  H3x - 냉간 가공 후 저온에서 안정화 처리한 것. ej 이상의 시효 강화는 일어나지 않는다.

- W(용체화 처리 상태)
  용체화 처리 후 자연 시효되는 합금에 적용되는 불안정한 질별이다.

- T(시효 강화 상태)
  ① T1 : 높은 온도에서 가공한 다음 냉각하고, 자연 시효 처리하여 안정화시킨 상태.
  ② T2 : 높은 온도에서 가공한 후 냉각하고, 다시 냉간 가공한 후 자연 시효 처리 하여 안정화시킨 상태.
  ③ T3 : 용체화 처리 후 냉간 가공하고 자연 시효한 상태.
  ④ T4 : 용체화 처리 한 후 자연 시효 처리하여 안정화시킨 상태.
  ⑤ T5 : 높은 온도에서 가공하고 냉각한 다음 인공 시효한 상태.
  ⑥ T6 : 용체화 처리 한 후 인공 시효한 상태.
  ⑦ T7 : 용체화 처리 한 후 과시효에 의해서 안정화시킨 상태.
  ⑧ T8 : 용체화 처리 한 후 냉간 가공하고 인공 시효한 상태.
  ⑨ T9 : 용체화 처리 한 후 인공 시효하고 냉간 가공한 상태.
  ⑩ T10 : 고온 가공 온도에서 냉각하고 냉간 가공한 다음, 인공 시효한 상태.

## 2. 열처리 실제

### 가. 용체화 처리

석출 경화 반응을 이용하기 위해서는 먼저 고용체를 만드는 것이 필요하다. 이 과정을 용체화 처리라 부르고, 목적은 고용될 수 있는 용질 원소를 최대로 고용체 내에 잡아 두는 것이다. 과정은 거의 균일한 고용체를 얻기 위해 충분히 높은 온도에서 충분히 긴 시간동안 합금을 유지시키는 것이다.

일반적인 용체화 처리 온도에서 미분해 고용상 및 석출된 고용상의 만족스러운 용해와 고용체의 양호한 균일성을 얻기 위해 필요한 시간은 열처리 전 미세 조직에 따라 달라진다. 이러한 시간은 얇은 판에서는 1분 이하, 근 사형 및 플라스틱 금형 주물에 대해서는 20시간까지 변할 수 있다.

### 나. 급랭

대부분의 경우 기계적 성질이나 부식 저항에 해로운 영향을 미치는 석출물을 피하기 위해, 용체화 처리하는 동안 형성된 고용체는 상온에서 과포화된 고용체를 만들기 위해 충분히 빠르게 퀜칭해야 한다.

대개 부품은 찬물에 퀜칭하지만, 얇고 두꺼운 단면이 있는 복잡한 형상의 제품은 약간 서냉시킬 수 있는 냉각제에서 냉각한다. 만일 냉각하는 동안 석출을 피하려면 재료를 노에서 냉각제로 옮기는데 필요한 시간을 가능한 한 짧게 하여야 한다.

용체화 처리하지 않고 생산된 압출 제품은 공기 중에서 퀜칭할 수 있으나 두꺼운 단면은 물에 퀜칭해야 한다. 표면과 내부의 온도가 불균일하여 생긴 잔류 응력의 크기 및 변형이나 휘는 것을 최소화하기 위해 단조품, 주물, 복잡한 형상에 대해서는 더 느린 퀜칭 속도를 사용한다.

### 다. 주조용 합금의 경화

일반적으로 열처리형 가공용 합금과 열처리형 주조용 합금에 대한 열처리 원리와 과정은 유사하다. 용체화 처리 조건에서 중요한 차이점은 유지 시간과 냉각제이다.

열처리형 Al합금의 주조 제품은 T6 처리할 때 가장 높은 강도, 연성 및 인성의 조합을 갖는다. 열처리 과정은 가공 제품의 경우와 마찬가지로 용체화 처리, 금랭 및 석출 열처리로 이루어진다.

석출 처리 중에서 주물에 유일한 것은 T5, T7이다. T5 처리는 용체화 처리하지 않고 주조 상태의 주물에 단지 석출 열처리만 적용하는 것으로, 재료가 휘지 않고 적당한 강도 증가가 생긴다.

## 3. 가공용 알루미늄 합금

가공용 합금은 주괴를 압연, 압출, 인발 및 단조 드으이 소성 가공을 행하여 사용하는 합금을 말한다.

가공용Al합금을 크게 나누면 두랄루민(duralumin)계의 Al-Cu-Mg계, Al-Zn-Mg계를 주체로 하는 고강도 합금계와 Al-Mn계, Al-Mg계, Al-Mg-Si계를 주체로 하는 내식성 합금계로 나눌 수 있다. 가공용Al합금을 나타내는 데에는 일반적으로 미국 알루미늄 협회(American Aluminium Association : AA)에 등록된 합금 번호를 사용하고 있다. 이 합금 번호는 네 자리 숫자로 되어 있으며, 각각의 숫자는 합금계, 합금 개량 번호, 합금 번호 등을 나타낸다 왼편에서 첫 자리 숫자는 다음과 같은 합금계를 나타낸다.

1000계열 : 99.00% 이상의 순Al
2000계열 : Al-Cu계 합금
3000계열 : Al-Mn계 합금
4000계열 : Al-Si계 합금
5000계열 : Al-Mg계 합금
6000계열 : Al-Mg-Si계 합금
7000계열 : Al-Zn계 합금
8000계열 : 기타
9000계열 : 예비 번호

[표 2-6] 대표적인 가공용 Al합금의 화학 조성

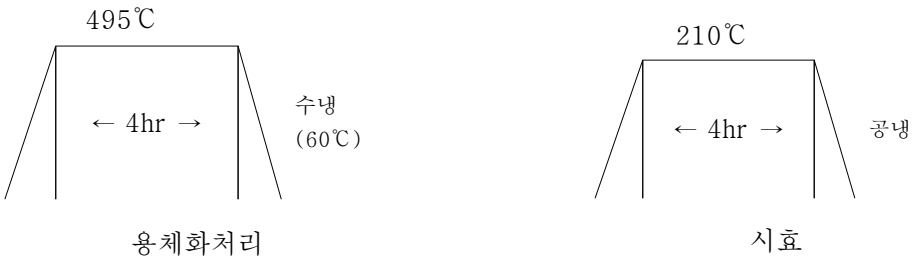
| 분류 | 합금 기호 | 화학조성(wt%) |
|---|---|---|
| 1000계<br>Al | 1080<br>1060<br>1050<br>1100<br>1200 | Al>99.80%<br>Al>99.60%<br>Al>99.60%<br>Al>99.00%, 0.1%Cu<br>Al>99.80%, 0.5%Cu |
| 2000계<br>Al-Cu-Mg 합금 | 2014<br>2017<br>2024 | 4.4%Cu, 0.5%Mg, 0.8%Mn, 0.8%Si<br>4.0%Cu, 0.6%Mg, 0.7%Mn, 0.5%Si<br>4.4%Cu, 1.5%Mg, 0.6%Mn |
| 3000계<br>Al-Mn 합금 | 3003<br>3004 | 1.2%Mn, 0.1%Cu<br>1.2%Mn, 1.0%Mg |
| 4000계<br>Al-Si 합금 | 4032<br>4043 | 12.0%Si, 0.9Cu, 1.0%Mg, 0.9%Ni<br>5.0%Si |
| 5000계<br>Al-Mg 합금 | 5005<br>5052<br>5083<br>5086 | 0.8%Mg<br>2.5%Mg, 0.25%Cr<br>4.5%Mg, 0.7%Mn, 0.1%Cr<br>4.0%Mg, 0.5%Mn, 0.1%Cr |
| 6000계<br>Al-Mg-Si 합금 | 6061<br>6063 | 1.0%Mg, 0.6%Si, 0.25%Cu, 0.25%Cr<br>0.7%Mg, 0.4%Si |
| 7000계<br>Al-Zn-Mg 합금 | 7075<br>7N01 | 5.6%Zn, 2.5%Mg, 1.6%Cu, 0.25%Cr<br>4.5%Zn, 1.5%Mg, 0.5%Mn |

이외에도 가공재는 냉간가공이나 열처리 방법 등에 의하여 기계적 성질이 변화하므로, 합금 분류 번호에 질별 번호를 붙이는데, 이때의 질별 기호는 미국 규격(ASTM)에 규정되어 있는 것을 사용하고 있다. [표 2-6]은 대표적인 가공용 Al합금의 화학조성을 나타낸 것이다.

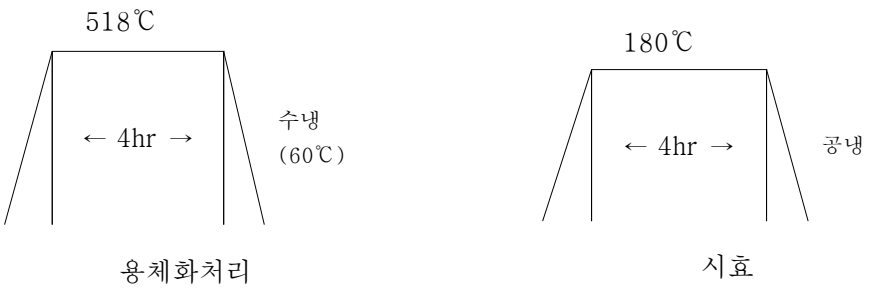
## 4. Al 합금의 강도 증가를 위한 열처리 3단계

- 용체화처리 : 고용상의 분해
- 금랭(물 60℃) : 과포화 고용체형성
- 시효 : 자연시효 또는 인공시효하여 석출.

## 5. 알루미늄 합금 A2024와 A7075 열처리




[그림 2-30] A2024의 열처리 작업선도




[그림 2-31] A7075의 열처리 작업선도

[표 2-7] 용체화 처리 후 시효처리한 결과

| 구분 | 원자재 | 실측치 |
|---|---|---|
| 경도(HB) | 90 ~ 92 | 125 ~ 135 |

※ 용체화처리 후 인공시효한 결과 실험치가 거의 동일하게 경도가 25~30% 상승되었다.

# 제 9 장 가스 질화 열처리[39)]

## 1. 가스 질화 자동화 시스템

가. KN 콘트롤러 사용시 장점

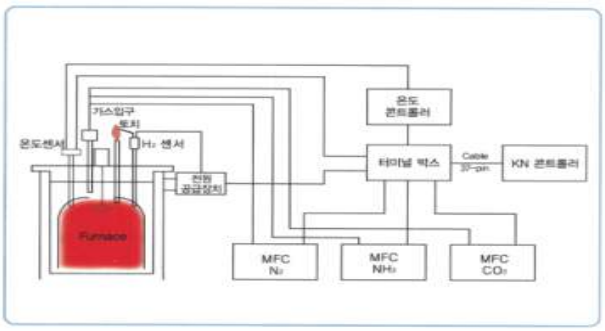
1) 기존 가스 질화, 이온 질화, 염욕 질화의 모든 특성 재현 가능
2) 화합물 층(백층)의 두께 및 질소 등을 제어 가능
3) 표면 경도, 질화 경화 깊이 조절 가능
4) 질화 경화 층의 높은 질소 농도
5) 최소한의 치수 변형 조절로 인한 질화 망상 조직 제거가능
6) 처리시간 단축
7) 처리비용 절감 (암모니아 사용량 최대 70%절감)

나. 기존 가스 질화 열처리의 단점

1) 화합물 층 (백층) 제어 불가능
2) KN값 (암모니아 분해도) 수동 측정
3) 과도한 다공층 발생 ⇒ 깨짐, 박리현상 발생 가능
4) 두터운 다공층 ⇒ 후처리 비용 발생
5) 과도한 암모니아 손실 발생
6) 일정한 품질 유지가 힘들다

## 2. 질화 열처리 제어 시스템 계통도

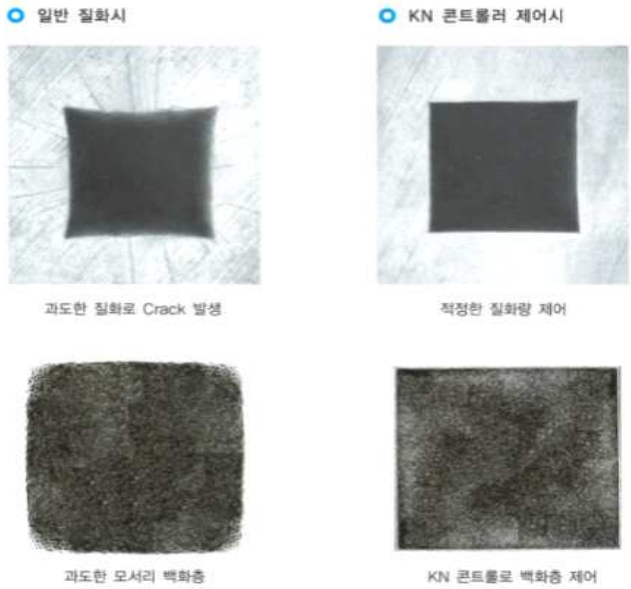
Contorolling system for Nitrocarburizing




[그림 2-32] 질화 열처리 제어 시스템 계통도

39) NCS 분류번호 : 화학적 표면경화열처리(1601030317_17v5)

## 3. KN 콘트롤러 적용 사례




[그림 2-33] KN 콘트롤러 적용 사례

## 4. H2 센서

가. 성능

- 로내의 수소 측정.
- 간단한 샘플링 방식.
- 신뢰성이 높다.
- 온도에 예민하지 않다.
- 진동에 예민하지 않다.
- 쉽게 교체가 가능하다.
- 삽입 길이 변경이 가능하다.
- 피팅을 고객의 요구에 따라 변경이 가능하다.

[그림 2-34] H2 센서

# 5. KN 콘트롤러 (Mcon Nitro)

[그림 2-35] KN 콘트롤러

가. 개요

질화 특성 계수 $KN = \frac{P(NH_3)}{P(H_2)^{\frac{2}{3}}}$

- 질화 열처리는 암모니아 분해 정도와 로 내의 수소량으로 계산될 수 있다.
- 로내 $H_2$값은 $H_2$센서에 의하여 측정된다.
- Mcon Nitro는 $H_2$ 센서 시그날을 이용하여 질화 특성 계수 KN을 계산하고 설정값과 비교한다.
- 편차가 있으며 적절한 신호를 질량 유량계에 보내 암모니아 량을 증가하거나 감소 시킨다.
- 설정된 KN값에 도달할 때까지 유량은 자동 조절된다.
- 질량 유량계에서 측정된 유랴에 대한 전류는 4 ~ 20 mA 로 나타낸다.
- 입력값 조절이 용이하여 MCon Nitro는 다양한 유량계 사용이 가능하다.
- $NH_3$ 유량은 다른 크기의 2개의 질량 유량계로 제어된다.
- 선택사항으로 프로세스 제어를 질량 유량계 없이 제어가 가능하도록 할 수 있다.

# 제Ⅲ편 열처리 설비

# 제 1 장 열처리로 종류[40)]

## 1. 열처리로 종류

[표 3-1] 열처리로의 종류

| 분 류 | 형 식 |
|---|---|
| 장입방식 | ①배치로(batch furnace), ②연속로 |
| 열원 | ①연소로(가스, 기름 등), ②전기로 |
| 노의 형상 | ①상자형, ②관상형, ③원통형, ④벨형, ⑤도가니형 |
| 연속조업방법 | ①푸셔(pusher)형, ②컨베이어(conveyor)형,<br>③스트랜드(strand)형 |
| 가열 분위기 | ①가스분위기로, ②진공로, ③염욕로 |
| 가열 방식 | ①유도로, ②화염가열로 |
| 처리 목적 | ①담금질로, ②뜨임로, ③풀림로, ④침탄로, ⑤소결로,<br>⑥납땜(brazing)로 |

가. 전기로

전기로는 열처리 작업에서 가장 일반적으로 이용되는 가열 방식으로서, 발열체가 전기 저항에 의해 발열되는기본적인 원리를 이용한 것이다. 따라서, 사용되는 발열체는 전기 저항, 고온강도및 고온에서의 산화 저항성이 크고, 용융점이 높으며, 또한 가공이 용이하다는 조건을 갖추어야만 한다.

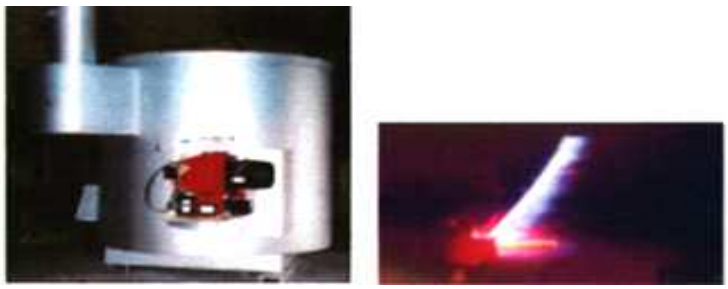
나. 연소로

연소로에는 천연가스, 프로판가스, 부탄가스 및 도시가스 등의 가스를 연료로 하는 가스로와 기름을 연료로 하는 중류로와 경유로가 있다. 그런데 저급 중유 등은 환경오염의 원인이 되기 때문에 중유의 사용량은 점차 감소하고 있다. 최근에는 열처리로의 승온 특성, 균열 특성 및 분위기 안정성 등이 우수한 가스 연료가 많이 이용되고 있다.

중유로나 경유로의 구조와 가열원리는 가스로와 그다지 다른 점이 없고, 단지 연소 장치인 버너만이 다를 뿐이다.

40) NCS 분류번호 : 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)

[그림 3-1] 전기로 외관



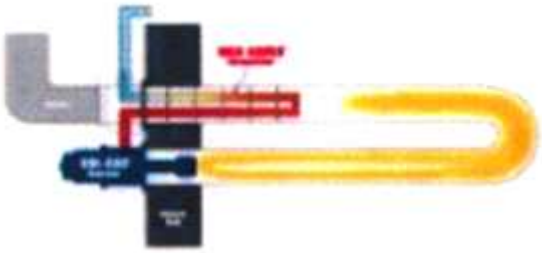
[그림 3-2] 연소로(중유로와가스로)

다. 가스로

가스로는 용액탱크, 노즐, 내화벽돌 등으로 이루어져 있으며 노의 크기는 일반적으로 일감용적(최대 길이×최대 폭×최대 높이)의 8배 이상이 필요로 하며 노의 크기에 따라 노즐을 준비 설치한다.

가스로의 전원을 넣고 가스 밸브와 공기 밸브를 연후 송풍기를 작동시켜 로의 내부를 승온시키는 방식이다.

- 연소방법 : 발생로가스, 석탄가스, 천연가스를 열원으로 한다.
- 특징 : 온도조절이 용이하며 균일한 온도지속과점화간단, 복사열 작용을 한다.
- 용도 : 대형 열처리로나 연속 가열로에 쓰인다.



[그림 3-3] 가스 라디안트튜브 구조

[그림 3-4] 가스 풀림로구조

라. 분위기로(광휘로)

표면 산화 및 탈탄을 방지하고, 깨끗한 표면 상태를 유지하기 위해서 일산화탄소, 수소 등의 환원성가스 또는 질소, 아르곤등의 불활성 가스 분위기 중에서 열처리한다. 원래의 표면 상태 또는 그 이상의 광택을 가지는 광휘 표면을 얻을 뿐 아니라 표면에 필요로 하는 성질인 침탄, 탈탄, 질화, 산화방지 등의 표면처리를 하기 위하여 분위기로를 사용하게 되었다.

제어분위기의 발생원료로는 도시가스, 프로판가스, 천연가스, 부탄 등이나 성분이 안정되고 값이 싼 프로판과 부탄이 가장 많이 이용된다. 무산화분위기로 산화 탈탄 방지가 용이하면 광휘열처리가 가능하며 스테인레스강, 고속도공구강의 공구류및 각종 부품류, 정밀 금형류 등의 열처리용으로 사용된다.

[그림 3-5] 무산화 광휘 열처리 제품

[그림 3-6] 무산화 광휘로 구조

마. 배치로

1) 조업방식
- 작업자의 수작업에 의해서 처리품을 장입하여 소정의 온도로 가열한 후, 노내에서 장입된 상태로 냉각시키거나 노 밖으로 꺼내어 냉각시킨다.

2) 특징
- 다품종 소량 열처리에 적합하다
- 처리온도와 시간, 생산량 처리제의 재질 향상, 치수, 중량 등의 변화에 대하여 사용범위가 넓다.
- 노내온도의분포가 균일하다
- 가열 용량이 작은 경우에 건설비가 싸고, 건설기간이 짧고, 로의 이동이 용이하다.

3) 종류
- 상자형로 : 기계부품 중에서 소형에서 중형 크기의 부품 열처리용
- 피트로 : 길이가 긴 부품의 열처리,
- 대차로 : 대차상의지지 철구조물, 또는 벽돌위에적제하여열처리
- ALL CASE로(다목적로) : 침탄, 탈탄, 무산화열처리전세정장치, 침탄 퀜칭로, 변성로, 후세정장치, 뜨임로.

[그림 3-7] ALL CASE로(다목적로)

[그림 3-8] 피트로

마. 연속로

1) 조업방식
- 처리품이소정의 이송 장치에 의해서 연속적으로 노내에 장입되어 이송되면서 가열, 유지 및 냉각이 이루어지는 방식이다

2) 특징
- 소품종 다량생산에 적합하고 작업능률이 좋다.

- 균일한 처리품의 성질을 얻을 수 있다.
- 인건비 절감에 효과적이다.
- 열처리 공정의 자동화에 용이하게 적용할 수 있다.

3) 종류

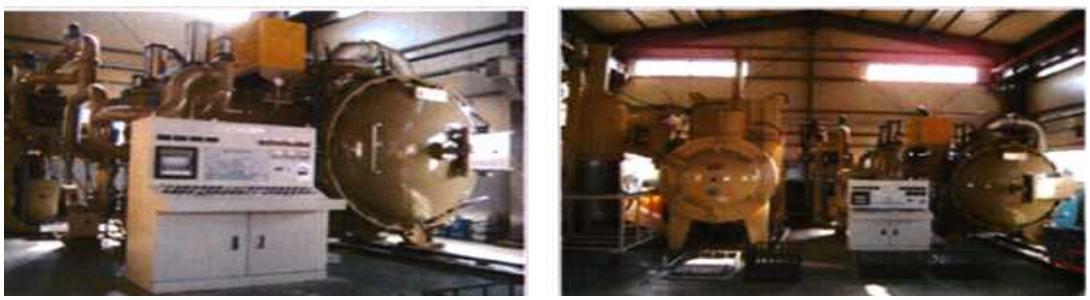
- 푸셔형로 : 일반적으로 트레이를 사용하여 처리품을 적재하거나 또는 치구나 바스켓을 써서 적재한다.
- 컨베이어형로: 콘베어를 사용하므로 작업 사이클 시간이 푸셔형로에 비하여 짧고 노 온도차가 작아서 노상 부하가 적다.
- 스트랜드형로: 띠 또는 선을 연속적으로 열처리하기 위하여 사용되는 로로써 재료의 균질성과 표면상태에 있어서 매우 우수한 결과를 얻을 수 있다.

[그림 3-9] 연속로

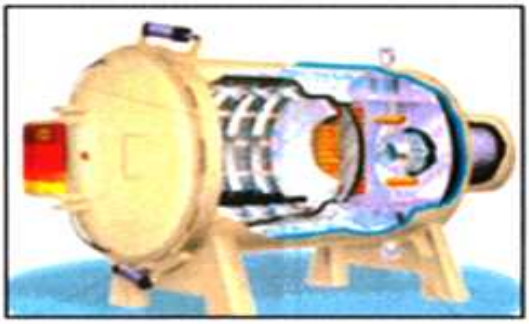
바. 진공로

진공로도 역시 열처리품의 광휘 표면을 위하여 진공 중에서 가열하면 광휘 상태를 유지하므로 이상적인 로 이다. 종래에는 특수 용도로만 진공로가 사용되어 왔는데, 최근에는 각종 열처리에 이용되고 있다.

진공로는 용도에 따라 10-1~10-4mmHg 정도의 진공도에서 조업하는 것이 일반적이다. 가열방식은 내부 가열식과 외부 가열식이 있으며 냉각방식에 따라 가스 냉각 진공로와 유냉 진공로가 있다.



[그림 3-10] 진공열처리로



[그림 3-11] 진공열처리로의 구조

1) 진공열처리 장점
- 산화와 탈탄이없다.
- 표면에 이물질 흡착이 없어 미려한 광휘성이보장된다.
- 변형이 적다.
- 고온열처리및 시간제어가가능하다.
- 고급열처리가 가능하다.
- 후 공정 생략으로 원가 절감된다.
- 최고 사용온도가1400℃로써 담금질, 풀림, 브레이징및 소결등에 이용되고 있다.

2) 진공로의 응용
- 공구 및 합금강의 무산화담금질 및 풀림 처리
-내열강 및 스테인리스의 용체화처리와 석출 경화 처리
- 뜨임
- 진공 브레이징
- 진공 침탄
- 진공 소결
- 진공 탈가스처리

[그림 3-12] 진공 열처리품 외관

사. 고주파 유도가열로

1) 개요

고주파 유도 가열은 표면 경화법중 가장 편리한 방법으로 고주파 유도 전류에 의하여 소요 깊이까지 급가열하여 급랭 경화하는 표면 경화법이다.

2) 특징 및 장점

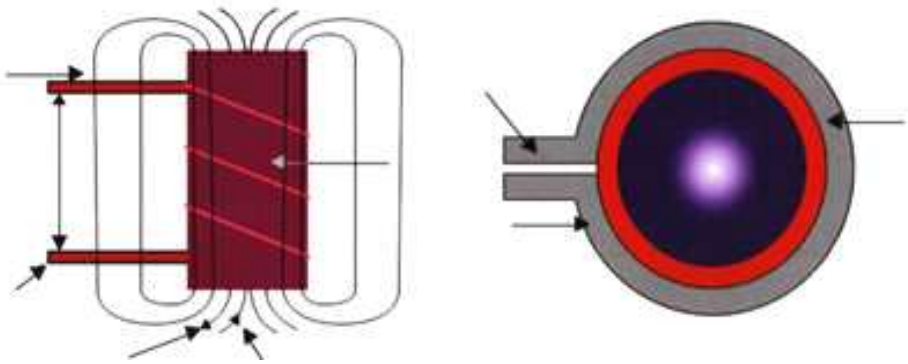
- 직접 발열로 열효율이 높고, 급속 가열가능, 산화, 탈탄이적다.
- 연소가열에서 얻을 수 없는 고온 가열 가능
- 부분적 또는 선택적 가열 가능
- 무공해로 쾌적한 작업환경 유지
- 우수한 제어성과품질 향상
- 자동화가 용이하며, 생산성 향상 기여
- 표면 열처리이므로 변형의 우려가 적다.
- 내마모성, 내피로성을향상시킨다.
- 저렴한 가격으로 신속 정확한 열처리가 가능하다.

[그림 3-13] 고주파 유도 열처리

3) 고주파 유도 가열원리

- 코일에 고주파 전류가 흐르면 중간에 위치한 유도체가 전자유도작용으로 일어나는 과전류 및 일부의 Hystersis의 열 손실에 의해서 급속히 가열되는 현상을 말한다.
- 주파수가 높은 고주파전류를 사용하기 때문에 전류의 표피작용(물체의 표면에만 전류가 흐르는 현상)및 근접효과(코일에 흐르는 1차전류가피 가열물에유도되어 Coil에 가까운 표면층에 흐르는 현상)에 의해서 피 가열물의 표면층에 자속 및 과전류가 집중하여 이때 발생하는 열손실(과전류, Hyoersys손)이 피 가열물의 표면층을 가열하게 된다

- 고주파 열처리는 발진기출력을 일정하게 하고 주파수를 높일수록 전류가 표피층에 집중되어 급속가열이 이루어진다.
  - 낮은 주파수 : 대전력밀도에서 단시간 가열
  - 높은 주파수 : 소전력밀도에서 장시간 가열



[그림 3-14] 고주파 유도 가열 원리

# 제 2 장 흡열형 변성로(Endothermic Gemeator)[41]

흡열형 변성로(endothermic gemeator)는 공기(air)와 원료가스(LPG, LNG)혼합하여 고온에서 Ni 촉매를 통하여 변성가스를 제조한다. 이 가스는 열처리로에 송입하므로서 가열시 제품의 무산화를 하기 위하여 일반적으로 널리 사용하는 가스이다.

[그림 3-15] Endothermic(RX) Gas Generators

가. 승온준비

승온 전에는 원료가스의 압력이 정상 압력인지 확인하고 blower 작동상태 및 각 valve들이 정상적으로 되어있는지 체크하며 냉각수가 잘 흐르고 있는지 점검한다.

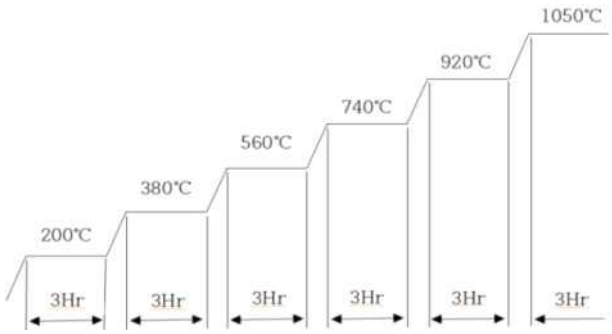
나. 승온

승온시에는 전압계 및 전류계를 확인하고 온도기록계의 기록상태도 점검한다. 또한 너무 급격히 승온하면 열 충격(heat shock)에 의하여 내화물이 파손 될 수 있으므로 주의 하여야 하며 일반 승온과 초기 도입시 건조승온으로 구분하여 기술하였다.

1) 초기승온(건조)

번성로를 처음 도입시에는 로 내의 내화물 및 촉매(catalyst)에 수분을 함유하고 있어 건조를 하여야 한다. 건조 완료후에는 혼합가스(air + gas)를 주입하여 seasoning (순화작업)을 실시한다. 이때 1차 쿨러의 코크(cock)를 열어두고 수분제거를 한다.

41) NCS 분류번호 : 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)




[그림 3-16] 변성로 seasoning 곡선

*주 : 상기와 같이 승온하고 3Hr후에 seasoning을 실시

2) 변성반응

변성가스(흡혈형)를 제조하기 위하여 공기와 원료가스(LPG, LNG)를 일전비율로 혼합하여 고온에서 Ni 촉매에 의하여 변성가스가 만들어지며 이 가스를 흡열형 변성가스라고 한다.

(1) 변성온도 : 1050℃

(2) 변성 반응식 (LPG 경우)

$2C_3H_8 + 3O_2 + 11.4N_2 \rightarrow 6CO + 8H_2 + 11.4\ N_2$

(변성전 16.4mols) (변성후 25.4mols)

㉠ 변성후의 용적비는 25.4 ÷ 16.4 = 1.55배

㉡ 혼합비는 변성전 공기의 mol 수에 C3H8의 mol수를 나눈다.

14.4 ÷ 2 = 7.2 (혼합비)

㉢ 이론적 혼합비는 7.2 : 1 이나 일반적으로 변성로내의 관리를 위하여 7.8 : 1 이나 8.0 : 1 로 혼합비를 설정하여 사용한다.

3) 변성가스 성분

$6CO + 8H_2 + 11.4N_2$

(변성후 25.4mols)

$CO \quad \frac{6}{25.4} \times 100 = 23.6\%$

$H_2 \quad \frac{8}{25.4} \times 100 = 31.5\%$

$N_2 \quad \frac{11.4}{25.4} \times 100 = 44.9\%$

4) 변성가스 내에는 미량의 하기와 같은 가스가 있다.

$CO_2$ : 0.2 ~ 0.5%

$H_2O$ : 0.1%

$C_3H_8$ : 0.1%

5) 변성로의 로기는 주로 C02로 관리하며 관리점은 CO2% 0.3 ~ 0.4 이내로 관리한다.

6) 변성 반응식 (LNG 경우)

2CH4 + 02 + 3.8N2 → 2C0 + 4H2 + 3.8N2

(변성전 6.8 mols) (변성후 9.8 mols)

㉠ 변성후의 용적비는 9.8 ÷ 6.8 = 1.44

㉡ 혼합비는 변성전 공기의 mol수에 CH4의 mol수로 나눈다.

4.8 ÷ 2 = 2.4(혼합비)

㉢ 이론적 혼합비는 2.4 : 1 이나 일반적으로 변성로내의 관리를 위하여 2.8 : 1 이나 3.0 : 1 로 혼합비를 설정하여 사용한다.

7) 변성가스 성분

2CO + 4H2 + 3.8N2

(변성후 9.8 mols)

$CO \quad \frac{2}{9.8} \times 100 = 20.4\%$

$H2 \quad \frac{4}{9.8} \times 100 = 40.8\%$

$N2 \quad \frac{3.8}{9.8} \times 100 = 28.8\%$

변성가스 내에는 미량의 하기와 같은 가스가 있다.

CO2 0.2 ~ 0.5%

H20 0.1%

CH4 0.1%

변성로의 로기는 주로 CO2로 관리하며 관리점은 CO2% 0.3 ~ 0.4 이내로 관리한다.

다. 기 타

1) 촉매(catalyst)는 다공성 정사각형의 내화물을 Ni 용액에 담궈서 Ni을 표면에 입히는 것으로 탄소의 끝부분을 흡수하고 혼합가스의 화학 반응을 돕는 역할을 한다.

[그림 3-17] 각종 촉매

2) 변성로 리톨트(retort)내의 온도는 1050℃ 이며 이 열은 공기와 가스의 혼합물에 흡수하여 에너지(energy)를 제공하며 화학적 반응을 위해 필요하다(흡열형). 혼합가스(공기 + 가스)는 로 내에서 발열하여 불타지 않으며 열을 생성하지 않는다.
3) 변성된 가스는 1차 쿨러 및 2차 쿨러를 통하여 급속 냉각된다. 만약 냉각수가 흐르지 않으면 1차 쿨러는 복사열에 의해 균열(crack)이 생겨 물이 리톨트 내의 촉매로 들어갈 수 있으며 승온전에 냉각수의 흐름을 반드시 확인하고 승온한다. 냉각수가 흐르지 않는 경우나 냉각수 온도가 높으면 그을음(sooting)이 로 내에 들어갈 수 있다. 급냉하여 역반응을 방지하고 유리탄소의 생성을 방지하기 위하여 급냉이 필요하다. 이것을 동결(freezing)이라고 한다.
4) 흡열형 변성가스를 여러명칭으로 부르고 있으나 같은 의미이다.
<명칭>
㉠ 흡열형 가스
㉡ 엔도 가스
㉢ 번성 가스
㉣ 환원성 가스 (가역반응가능)
㉤ RX 가스
㉥ HYEN 가스 (LINDBERG)
5) 흡열형 변성로의 형태 (혼합가스 flow)
㉠ 관통형
혼합가스가 밑으로 투입되여 위로 나오는 형식
㉡ 리턴형(return)
혼합가스가 위로 투입되여 심관(control tube)을 통하여 위로 나오는 형식

라. 촉매(catalyst)교환 방법

촉매 교환시나 충전시에 촉매의 레벨(level)을 적정선에 잘 맞추어 교환하여야 하며 위, 아래 부분이 가열로 내에 촉매가 있도록 교환한다( 관통형, 리턴형 공통).
㉠ 촉매(catalyst)의 위치 윗부분이나 아래부분은 촉매가 히터(heater) 있는 선 밖으로 벗어나지 않게 한다.
㉡ 촉매가 1050℃ 가 아닌 낮은 온도에서 변성되면 그을음(sooting)이 생겨 촉매가 손상되며 그을음이 점점 쌓이게 된다.
㉢ 변성로 본체의 그림과 같이 촉매 교환이나 충진시는 촉매가 히터를 벗어나지 않게 한다(관통형, 리턴형 공통).
㉣ 그을음(sooting)이 촉매에 많이 쌓이게 되면 1차 압력이 상승하며 혼합가스가 투입되지 않는다. 이때는 촉매를 교환하여야 한다.

마. 그을음 태우기(burn - out)

변성로를 연속 가동시에는 레토트내의 촉매에 그을음(sooting)이 생기게 된다. 이 그을음은 주기적으로 burn - out을 실시하여 촉매를 깨끗이 하며 원할한 화학반응을 위하여 필요하다.

<Burn - out 방법>
㉠ 혼합가스 주입을 정지하고 변성로의 온도를 조업온도보다 150℃ 내린다.
(1050℃ → 900℃)
이는 그을음이 탈 때 발열하므로 온도를 내려야한다.
㉡ Air 유량계에서 air미량 넣어준다. 변성로 용량별 air 입량은 하기와 같다.

변성로 용량 (burn- out)

| | <AIR량> |
|---|---|
| 750CFH | 35CFH |
| 1000CFH | 50CFH |
| 1500CFH | 75CFH |

<$1m^3$ /H → 35CFH 이므로 환산가능>

㉢ 이때 온도계의 온도를 관찰하며 그을음이 타면서 온도가 상승한다.
㉣ 상승온도가 어느 온도에서 정지하면서 서서히 온도가 내려간다.
㉤ 온도가 내려와 900℃에 머물면 그을음 태우기(burn - out)가 끝난 시점이다.

바. 변성로 점검 주기

㉠ 일일 점검
온도계기의 작동상태
1, 2차 압력(혼합, 변성가스)
열 교환기의 냉각수 온도
전압, 전류계
㉡ 주간 점검
흡입 air 필터
Sample gas 필터
㉢ 월간 점검
공기 - 가스 혼합기
열전대 외관 확인(상부, 하부, 과열)
burn - out

㉣ 반년 점검

온도점검(온도조절계, 열전대)

열 교환기(1차쿨러)의 분해청소

㉤ 년간 점검

레토트내의 촉매 확인(보충, 이상시 교환)

열 교환기(2차 쿨러)의 분해청소

블로워(blower)분해청소

변성가스 배관청소(변성로 배관 및 가열로 까지의 변성배관)

# 제 3 장 냉각 장치[42)]

## 1. 공랭장치

공기는 냉각능력이 가장 작은 냉각제이며 팬 등으로 냉각속도를 크게 한다. 가장 완만한 담금질이라든가 풀림을 할 경우에 쓰인다.

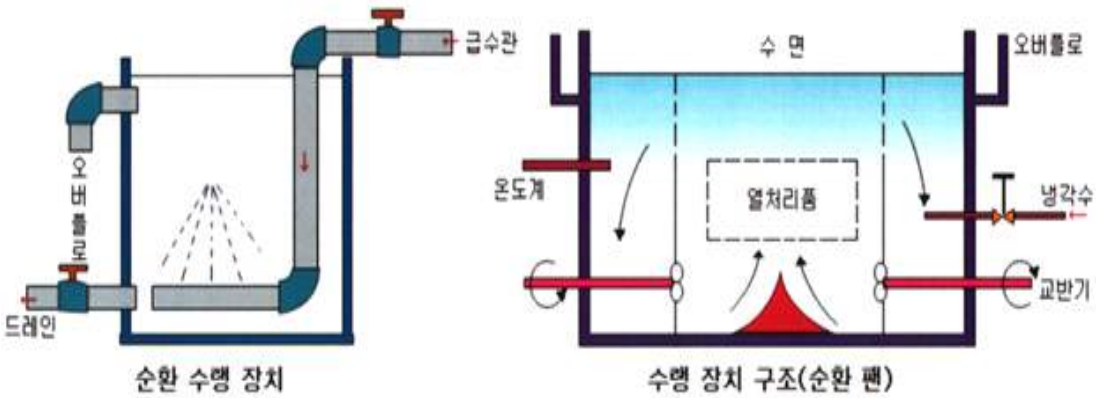
- 공랭은 공기중에서 냉각시키는 것이므로 가열된 처리물을그대로 공기중에 방치하는 것도 하나의 방법인데 공중 방랭보다 다소 급격한 냉각으로는 선풍기 등으로 강제 공랭시키는 수도 있다.

공랭장치는 풀림, 노멀라이징에 쓰이는데, 공랭에 의해 담금질되는 금형용 강, 뜨임 후에 공랭하는 강종인 고속도 공구강의 담금질 경화 등에 이용한다.

## 2. 수랭장치

수온이 30° C를 넘지 않도록 물을 냉각탱크, 냉각 탑, 냉동 냉수기 등을 이용해 통상 10~25° C로하여 순환 사용한다. 교반에는 프로펠러와 펌프가 이용된다. 담금질을 할 때 수랭탱크에 투입하는 방법이 쓰이고, 수랭할 때 신속하고도 균일하게 냉각시키기 위해서는 물을 교반하거나 용기에 넣어서 물건을 흔들어 줄 필요가 있다.

수랭탱크의 물은 가열된 물체를 투입함 으로서온도가 상승하므로 일정하게 유지하도록 하여야 한다. 순환 수랭장치로 물은 하부 여러 구멍으로부터 방출된다. 수조에 있어서 온도 상승한 물과 여분의 물은 상부로부터 넘쳐 흘러나온다.




[그림 3-18] 수랭 장치의 구조

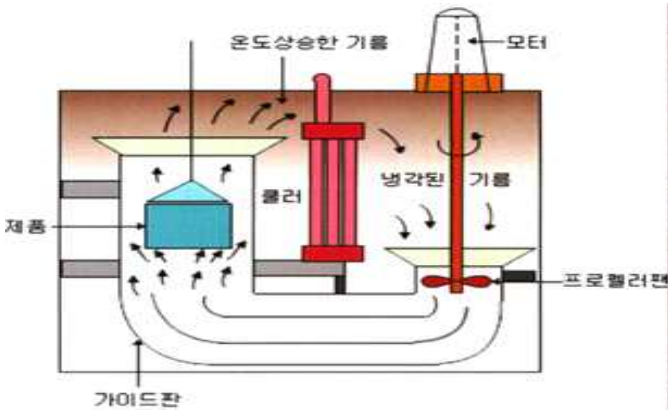
42) NCS 분류번호: 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)

## 3. 기름냉각장치

가열장치와 냉각장치가 부착되어 기름의 온도를 40~80° C로 관리하며 보통60° C 부근에서 사용한다. 교반은 프로펠러에 의한 대류 방식과 펌프에 의한 분사방식이있다.

담금질유에는 광유가 널리 이용되고 있으며 유량은 처리품중량의 10~15배가 필요하다. 담금질 탱크의 구조상 주의점은,

- 스케일 제거 : 배출장치를 갖추거나 정기적으로 청소하는 데 용이한 구조로 한다.
- 기름의 비산 방지 : 비산방지커버를 부착한다.
- 화재방지 : 소화기를 갖추거나 공기 차단용 커버 부착, 기름 중에 긴급 낙하장치 설치
- 점검 보수 : 수시로 점검할 수 있는 공간과 구조가 필요하다.

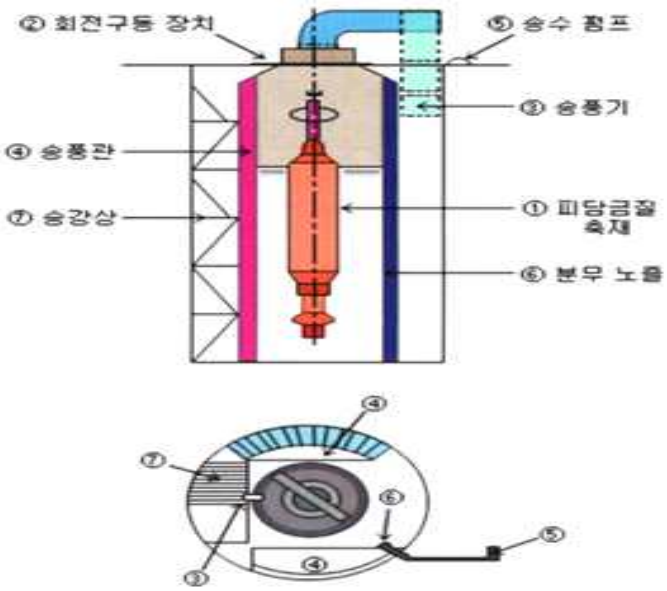



[그림 3-19] 쿨러 내장의 담금질 탱크(프러펠러식)

## 4. 분사냉각장치

냉각제를 담금질품에 분사하여 급랭하는 장치로 제품을 회전시킴에 따라 표면의 수증기나 기포가 제거되어, 냉각속도를 증가시키며, 또한 담금질품의 변형과 굴곡을 방지할 수 있다. 고주파경화담금질에 많이 이용되며 롤러(Roller), 샤프트(Shaft)등과 같이 지름이 큰 것에 효과가 있다. 물건의 형상에 맞추어 효과적으로 분사장치 만들어 사용하며 담금질성이 나쁜 재료를 완전 담금질하는 방법으로 주목할 만하다.

[그림 3-20] 고주파경화담금질에서 분사냉각




[그림 3-21] 분사 냉각 장치

## 5. 염욕(연욕) 냉각장치

오스템퍼링, 마템퍼링등의 항온 열처리에 주로 이용된다. 염욕냉각 장치의 냉각탱크는항온 유지가 가능하도록 열용량이 크고 온도 변화가 적은 것이 필요하다. 오스템퍼링 시 오스테나이트화 온도로 가열된 열처리품이 냉각 탱크로 침지된 후의 온도 상승은 5℃ 이내로 하는 것이 이상적이다.

염욕 냉각 탱크의 용량은 열처리품의 20~25배 정도로 중량을 가지는 것이 필요하다. 질산칼륨과 아질산칼륨을 1:1로 혼합하여, 가열 용융한 것으로 충분히 교반하여 냉각효과를 준 것은 냉각능이 기름을 교반했을 때와 같다.

가. 염욕

- 열용량이 크고, 증기막을 만들지 않으므로 냉각능이 크다.

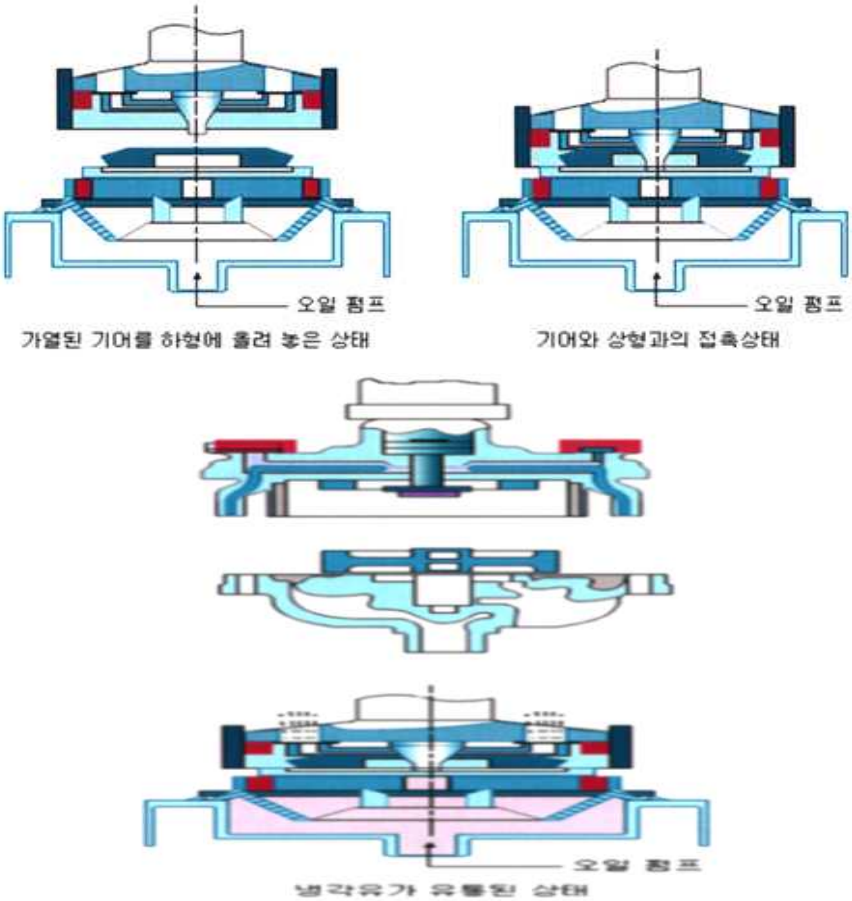
나. 연욕

- 납을 용융시킨열욕을말하며, 냉각능이좋으나, 유동성과 균일성이 좋지 못하며, 유독성에도 주의해야 한다.
- 비중이 철보다 크기 때문에 강의 열처리시 처리품이 부상하므로 치구를 사용할 필요가 있다.

## 6. 프레스 담금질 장치

담금질에 의한 처리품의 변형을 방지하기 위해서, 담금질시 처리품을 금형으로 누른 상태에서 냉각액에 넣은 것과, 끼우고 펌프를 사용해서 상형과 하형 사이에 냉각제를 가득 흐르게 하는 것과 냉각제를 분사시켜 담금질하는 것도 있다.

냉각장치에 상형과 하형을 끼우기 전에 냉각액을 흘리는 예비 냉각형과 담금질 형을 회전시켜 냉각을 균일하게 하는 것이 있다.




[그림 3-22 ]프레스 담금질 장치(베벨기어의 경우)

# 제 4 장 발열체[43)]

## 1. 발열체의 구비조건

- 내열성이 크고 융점이 높을 것
- 내산화성및 내식성이 있고 화공약품이나 분위기 가스에 잘 견딜 수 있을 것
- 급열이나 급냉에 의한 열충격성이좋을 것
- 사용온도에서 저항의 온도계수가 일정하고 적당한 전기저항을 지닐 것, 즉 저항율이 비교적 크고 또한 온도계수가 적을 것
- 고온에서도 전기 저항의 변화가 적을 것
- 금속발열체는 가공성과 용접성이좋을 것
- 기계적인 강도가 클 것
- 가격이 저렴할 것

[그림 3-23] 각종 발열체

## 2. 발열체의 종류

가. 금속 발열체

1) Ni-Cr

Ni-Cr 합금의 특성은 내온성(1200℃), 복사율이높고 자성이 없고 내부식성이 좋으

43) NCS 분류번호 : 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)

며 냉, 열 상태의 소성이 좋으며 회복이 좋아 각종의 발열체를 제작 할 수 있다.

2) Fe-Cr합금

Fe-Cr 합금은 사용온도(1400℃)이고 비중이 작으며 저항이 크고 가격이 싼 특징이 있으며 외부 환경이 변하지 않는 조건에서 Fe-Cr보다 Ni-Cr 합금을 선택하고 있다.

3) 고용점금속

- 고용점을사용한 발열체로 공업적인 대형로에는Mo, W가 사용된다.
- 순 Mo는 1000℃ 이상에서 재결정되어충격에 약하고 변형되기 쉽다는 결점이 있다.

4) 라디안트히터(Radiant Tube Heater)

- 보호금속파이프의 중앙에 발열체와 열전도도가 좋고 고온(내열 최고 온도: 1200℃, 사용온도: 1000℃)에서 전기 절연이 양호한 애자를 지지로 하여 발열체를 보호한 히터이다.
- 튜브 히터는 여러 가지 분위기 가스의 영향을 받을 때 발열체를 보호하기 위하여 보호관을 사용한 것이 특징이다.

나. 비금속 발열체

1) 탄화규소(SiC)

- 고순도의 탄화규소(SiC)를 주원료로, 고온 재결정을 통하여 만들어진 발열부와 비발열부로 구성되어 있다.
- 금속히터에비해 약 7배의 발열량을 가지며 최대 히타표면온도를 1600℃ 까지 사용할 수 있다.
- 공업용으로 사용할 경우에는 600~1500℃ 사이의 로내 분위기에서 사용할 수 있으며, 진공인 경우에는 1200℃(1/1000torr)까지 사용 가능하다.
- 세라믹스, 금속 열처리, 용해로, 유리공업, 실험로등에 사용한다.

2) 몰리브덴실리사이드(MoSi2, Molybdensilicide)

- 높은 용융온도저비중고온 내산화성 고강도 발열소재복합체를 이용한 초고온발열로 전기적 특성인 저항차이를이용하여 발열하는 복합소재 제품으로 금속발열체(nickel heater) 1200℃ 이하, 비금속발열체(SiC) 1400℃ 이하인 발열체 제품에 비하여 무려≤ 400~600℃가 높은 1700~1800℃ 의 Molybdenum+silicide복합 초고온용발열체이다.

3) 란탄크로마이트발열체(LaCrO2)

- 1971년에 일본화학도업과 공업기술원으로부터발열체에 대한 제조방법이 특허 출원되었다. 발열체 표면온도1900℃(유효 로내 온도 1800℃)까지 사용할 수 있다.

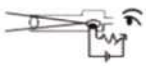
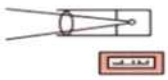
4) 탄소(흑연)발열체

- 탄소(흑연) 발열체는 직접 통전하여 발열하는 저항 발열체로서, 그리고 고주파유도에 의한 발열을 이용하는 다양한 고온용 발열체로서 이용되고 있다.
- 탄소(흑연) 발열체는 중성이나 환원분위기에서 사용할 경우에는 200~2500℃ 의 온도로 사용할 때가 가장 많다.

# 제 5 장 온도 제어 장치[44)]

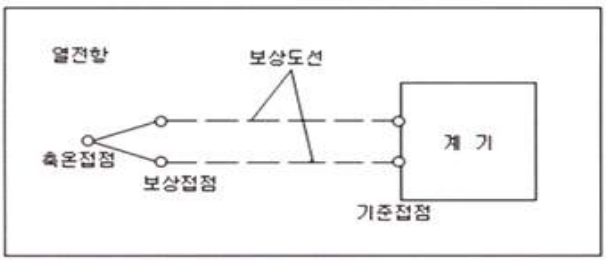
## 1. 온도 제어 장치

[표 3-2] 열처리에 사용되는 온도계의 종류의 용도

| 종 류 | 구 조 | 원 리 | 측정범위 | 특 정 | 용 도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 열전대식온도계 | | 이종금속간(열전대)에 생기는 열기전력을 직류미리볼트계 또는 전위차계에 의해 측정한다. | IC : -200~500<br>CA : 0~1000<br>PR : 0~1500 | 정도 양호<br>자동제어,기록가능<br>비교적 고가 | IC : 마르퀜칭유조등<br>CA : 일반열처리로<br>PR : 고온열처리로 |
| 저항식온도계 | | 온도에 따라 저항선(Pt-Ni선 등)의 온도저항이 변화하는 것을 이용해서 전기적으로 측정한다. | -200~500℃ | 정도 최량<br>자동제어, 기록가능<br>고온측정불가능, 고가 | 저온로용<br>(저온뜨임로) |
| 광고온계 |  | 고온체의 적색방사선을 계기내에 있는 표준 필라멘트와 그 휘도를 비교해서 측정한다. | 700~2000℃ | 저온측정불가능<br>보정요, 숙련요<br>기록, 제어불가능<br>정도는 그다지 좋지 않다. | 직접물체온도를 측정할때 이외는 그다지 사용안된다. 단조가열로 |
| 방사온도계 |  | 물체가 발하는 방사에너지를 열전대에 수속사켜 측온한다. | 800~2000℃ | 고온측정불가능<br>보정요, 연기, 그을음 가스에 의한 오차 있음<br>계기에 의해 거리 계수가 있다. | 프레임담금질 및 시험용 |
| 압력식온도계 | | 수온, 그 밖의 액체는 가온하면 팽창해서 압력을 상승시키고 브르던관으로 측정해서 온도를 잰다. | -40~500℃ | 정도나쁨<br>가격이 안정<br>구조, 설치가 간단 | 담금질유온측정 등 |

## 2. 열전대(thermocouple)

열전쌍은 두 종류의 다른 금속을 접합하고 두 접합점을 온도 차이를 주었을 때 기전력이 발생하는 원리(SeebackEffect)를 이용한 것으로 여러 종류가 있다. 열전쌍은 PR형, CA형, IC형, CC형 등이 있으며 전기로의 크기 및 성능 용도에 따라 열전대를 선택하여 사용하고 있다.




[그림 3-24] 열전쌍회로와 접속

[그림 3-25] 열전대

44) NCS 분류번호 : 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)

## 3. 열전대와 측온 저항체의 특징

가. 열전대의 특징

- 응답이 빠르고 시간 지연에 대한 오차가 비교적 적다.
- 적절한 열전대를선정하면 0℃부터 2600℃정도의 온도 측정이 가능하다.
- 특정 장소나 점의 온도 측정이 가능하다.
- 온도가 열기전력으로 검출되므로 측정, 조절, 제어, 변환의 정보처리가 용이하다.
- 다른 온도센서에비하여 비교적 가격이 저렴하다.

나. 측온저항체의 특징

- 감도가 양호하다.
- 안전성과 재현성이우수하다.
- 높은 정밀도를 얻을 수 있다.

[그림 3-26] 열전대의 종류

다. 열전대의 종류와 특징

[표 3-3] 열전대의 종류와 특징

| 종류 | 조성<br>(+)선 (-)선 | 사용온도<br>범위(℃) | 특징 |
|---|---|---|---|
| S(IC) | Fe-55Cu-45Ni(콘스탄탄) | -185~870<br>(600) | ·비교적 값이 싸다.<br>·산성 분위기에서는 760℃까지만 사용가능. |
| K(CA) | 90Ni-10Cr 94Ni-3Al-Si-2Mn<br>(크로멜) (알루멜) | -20~1370<br>(1000) | ·산화성분위기에 적당.<br>·고온에서 R형보다 기계적 및 열적으로안정함.<br>·환원성분위기에서는 사용불가. |
| T(CC) | Cu-55Cu-45Ni | -185~370<br>(300) | ·315℃이하의 산화성및 환원성 분위기에서 사용 가능.<br>·심냉처리용으로적당. |
| R(PR) | 13Rh-87Pt-Pt | -20~1480<br>(1400) | ·산화성분위기 이외에는 사용치 않는 것이 좋음.<br>·사용가능 온도가 K형보다 높음. |

라. 보호관

- 열전쌍을보호하기 위해 1000℃ 이하의 온도에서는 금속보호관(스테인리스관)이 그 이상의 온도에서는 비금속 보호관(석영관, 알루미나관)이 사용된다.
- 보호관의 구비조건
  - 내열성이 양호하고 급열, 급냉등의 열충격에 강할 것
  - 고온 중에서도 내진성, 내충격성 등이 양호한 기계적 강도를 지닐 것
  - 고온 중에서도 내식성이 양호한 것
  - 고온 중에서 보호관 자신이 측온소자에 증기나 가스의 방출이 없을 것
  - 열전달의 지연이 작을 것

[그림 3-27] 각종 보호관

마. 온도제어방법

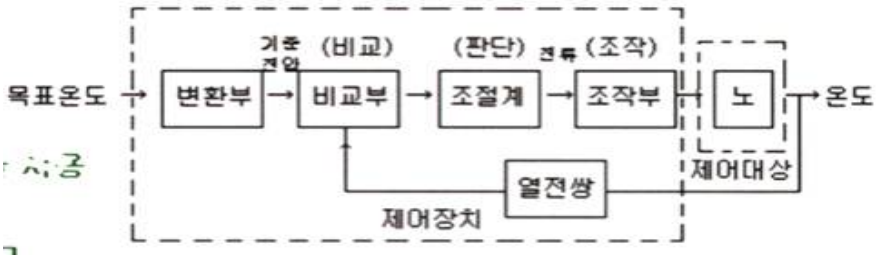
제어방식에 따라서 정치제어식과 프로그램 제어식이 있고 제어동작에 따라 온-오프(on-off) 제어식과 연속 제어식이있다.

바. 온도제어순서

- 검출 : 제어대상인로의 온도를 열전쌍을 사용하여 전압으로 검출
- 비교 : 목표값으로이미 정한 전압과 비교
- 판단 : 비교 결과 양자의 전압 편차가 있으면 조절계에서 전류로 변환.
- 조작 : 조절계에서나온 전류를 조작부로 보내어 노의 온도를 올리거나 낮추도록 한다.

사. 자동 온도제어 장치의 종류

- ON-OFF식
- 비례제어식
- 정치제어식
- 프로그램제어식
- 속도제어식
- 비례+적분동작식
- 미분 동작식
- 비례+적분+미분 동작식




[그림 3-28] 열처리로의 자동온도제어의 예

[표 3-4] 제어 방식과 조절 동작

| 제어방식 | 조절동작 |
|---|---|
| on-off | 2위치 |
| | 3위치 |
| | P(비례) |
| 연속 | PD(비례+미분) |
| | PL(비례+적분) |
| | PLD(비례+적분+미분) |

# 제 6 장 단열 내화재료[45)]

## 1. 내화물의 구비 조건

- 사용온도에서 연화 변형하지 않을 것.
- 상온 및 사용온도에서 압축강도가클 것.
- 열에 의한 팽창, 수축이 적을 것.
- 온도의 급격한 변화에 의한 파손이 적을 것.
- 내침식성및 내마모성을 유지할 것
- 사용목적에 따라 적당한 열전도율을 가질 것.
- 재가열시 수축이 적을 것.

[표 3-5] 내화물의 화학 조성에 의한 분류

| 분류 | 종류 | | 주요 화학성분 |
|---|---|---|---|
| 산성내화물 (SiO2) | 규석질 | | SiO2 |
| | 점토질 | 반규석질 | SiO2(Al2O3) |
| | | 납석질 | SiO2,Al2O3 |
| | | 샤모트질 | SiO2,Al2O3 |
| 중성내화물 (R2O2) | 고알루미나질 | | Al2O3(SiO2) |
| | 탄소질 | | C |
| | 탄화규소질 | | SiC |
| | 크롬질 | | Cr2O3,Al2O3,MgO,FeO |
| 염기성내화물 (RO) | 폴리스테라이트질 | | MgO,SiO2 |
| | 마그네시아질 | | MgO계 |
| | 돌로마이트질 | | CaO,MgO |
| | 마그네시아-크롬질 | | MgO,Cr2O3 |

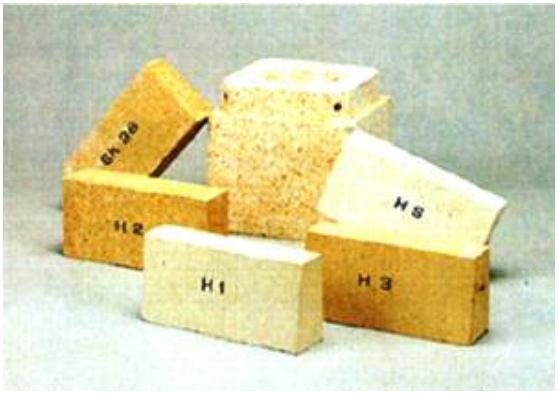
## 2. 저온용 단열재

1000℃ 이하의 단열보온재로 사용되며 규조토질이 대표적이다. 이소라이트, 광재면, 석면, 그라스울등은 500℃ 이하이다. 점토에 톱밥, 석탄분말을 가하여 소성하여 또는 다공질 소분을원료로 한 내화단열재는 1350℃ 까지 사용할 수 있으나 단열성은 규조토보다 못하나 일반적으로 니크롬선 전기저항 가열로의 로벽용으로사용되고 있다.

45) NCS 분류번호 : 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)

## 3. 고온용 단열재

내화점토질 및 규석질로 내화도는 1600℃정도, 안전 사용온도는 1300℃ 정도이다.




[그림 3-29] 내화 단열벽돌

[그림 3-30] 고온용(1450℃) 내화, 단열 세라믹화이버

# 제 7 장 열처리 전·후처리 설비[46)]

## 1. 열처리 전・후처리 설비

[표 3-6] 열처리 전·후처리 설비

| 기계적 처리 | 화학적 처리 | 전해적처리 |
|---|---|---|
| 버프연마<br>액체호우닝<br>쇼트피이닝<br>샌드브라스트<br>바렐연마 | 산세정<br>탈지<br>트리클로로<br>에틸렌증기세정장치 | 전해세정<br>전해연마 |

## 2. 버프연마

버프연마는 천 따위로 만든 유연성이 큰 버프류의 둘레에 연마제를 부착시켜 고속으로 회전시키면서 공작물을 연마제의 부착면에 접촉하여 표면을 연마하고 광택을 내는 가공법이다.

## 3. 액체호닝

압축공기 3~7kg/Cm2을 써서 연마제와가공물의 혼합물을 노즐로부터 고속으로 분사시켜 공작물을 다듬질하는 가공법이다. 연마제로서는 탄화규소, 산화알미늄, 규사 등이 쓰이며, 연마제의 입도는 60~300번 정도가 쓰인다. 액체 호닝에서는 액을 사용하므로 먼지가 비산하는 일이 없으며 복잡한 형상을 가진 면이나 곡면의 가공에 알맞고 공작물의 표면이 완전히 청정하게 된다. 열처리 후 산화 피막 제거에도 효과가 있다.

## 4. 산세척

각종 산의 용액 속에 물품을 침지시켜 금속면에 부착되어 스케일, 산화피막, 녹 등을 제거에 쓰인다. 물리적 제청법에 비해 소재에 왜곡이나 흠을 남기지도 않고 금속 구석구석까지 완전히 제청할 수 있지만 산세 후의 처리가 나쁘면 그 다음 작업에 악영향을 미치거나 전공정의 탈지가 불충분하면 완전한 제청을 할 수 없게 된다.

산세척은 염산, 황산, 질산, 인산 및 플루오르산, 수용액중에 물건을 담근 후 물로 씻는 방법이다. 이 중 염산과 황산은 가장 제청능력이 크며 가격이 저렴하므로 철강면의 세척에 널리 사용되고 있다. 산세척에 있어서는 물건이 산에 부식되므로 산에 억제제를 넣어 부식을 적게한다. 다시 산세척 후에는 알카리 용액 중에 담가서 중화시키는 작업을 해주어야 한다.

46) NCS 분류번호 : 열처리 생산설비 점검 (1601030321_17v5)

[그림 3-31] 산세정 장치

## 5. 탈지

가. 알칼리 탈지

- 통상적으로 5~15% 가성소다 용액을 사용것이효율이 좋다. 탈지를 신속히 하려면 비등액속에서 계면 활성제를 첨가하면 더욱 좋다.
- 철 탱크는 값이 싸며 알칼리에 강하므로 많이 사용하고, 가열은 증기를 사용하든가 봉입 발열체를 액조에 직접 침적시켜 사용한다.

나. 에멀젼 세정법

- 상온에서 탈지하려는 물품을 용제와 계면활성제의 혼합액 속에 침지하거나 또는 그 용액을 물품에 분사하여 금속면에 부착된 유지 및 광물유층 속에 용제를 충분히 삼투시킨다.
- 다음에 물품에 뜨거운 물을 분사하거나 끼얹어 잘 세정한다. 이때 뜨거운 물은 약간 알칼리성으로 하여 두면 에멀젼의 생성이 쉽게 되고 탈지효과도 좋아진다.
- 용제 및 계면활성제를 직접 물 또는 알칼리 세정액에 혼합하고 가열 교반한 것 속에 물품을 침지하거나 또는 그 용액을 물품에 분사하여 탈지한다.

## 6. 클리클로에틸렌 세정

- 트리클로에틸렌 세정 방법
  - 기상법
  - 액상-기상법
  - 다중액상법

· 분사법

- 트리클로에틸렌 증기 세정 장치
  · 분위기 열처리 전, 후에 압도적으로 많이 쓰이고 있는 처리 방법이다.
  · 트리클로에틸렌을 세정 조저부에 넣고 봉입 발열체에 의해서 가열되어 증기가 된다.
  · 증기는 용제로서 탈지를 행하고 상부의 냉각 코일에서 다시 액화되어 저부로 돌아와 순환한다.
  · 트리클로에틸렌 증기는 항상 청정하다는 것이 특징인데 유독하므로 욕조의 밀폐를 항상 확인하여야 한다.

[그림 3-32] 트리클로에틸렌 증기 세정 장치

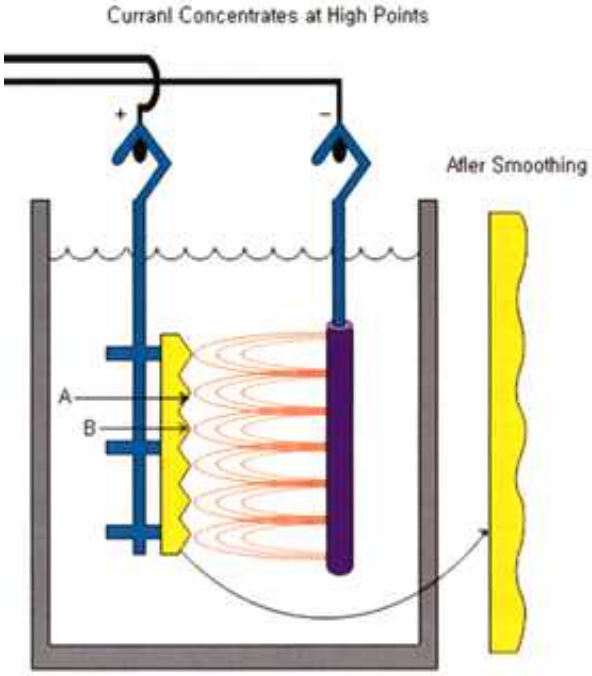
## 7. 전해세정

탈지할 물건을 음극으로 하여 전해액 가운데에 매달아 전해하는 방법이다. 전해세정은 일반적으로 80~90℃의 열알칼리액 속에서 한다. 고탄소강의 경우는 물품을 음극으로 하면(음극법) 음극에 발생되는 수소가스가 금속에 일부 흡수되어 소위 수소취성의 문제가 없으므로 물품을 음극으로 하여 탈지를 한다. 세정의 방법으로는 이밖에도 탈지할 물건을 양극으로 하여 음극에는 다른 금속을 사용하는 양극전해 세정법이 있다.

일반적으로 음극전해 세정을 한 후에 양극 전해 세정을 하는 수가 많다. 다시 탈지한 물건은 물로 세척하고 황산 또는 염산 용액중에 담가서 중화시켜야한다.

## 8. 전해연마

전해연마란 전기화학을 응용한 연마작업이다. 이것은 전기도금의 역조작이 된다. 공작물과 음극의 금속을 특수한 전해액중에 넣고 공작물은 양극, 다른 쪽을 음극으로 하여, 여기에 전류를 통하게 하여 전해작용을 행하게 함으로써 공작물의 표면을 매끄럽게 하고 광택을 부여하는 방법을 전해연마라고 한다.




[그림 3-33] 전해 연마

# 참고 문헌

1. 주조응고학(2018, 구민사(조수연, 문희권))

2. 한국산업인력공단 NCS 학습모듈 "열처리"

3. "열처리" 坂本卓 / 著 (2018, 日刊工業新聞社)

4. 금속 열처리 기능사(2018, 남양문화(조수연, 문광호))

5. 산업안전보건 교수·학습자료 "금속처리"(교육부)

6. 열처리 작업 안전관리(2016, 한국직업능력개발원)

7. 표면개질열처리(2016, 한국직업능력개발원)

## 열처리 개론서 집필

☐ 문광호 교수(한국산업기술협회, msmnho@hanmail.net)
- 금속공학 박사, 금속재료기능장, 주조기능장, 금속기사
- (현) 한양공고 자동화기계과, 충남대학교 기계금속공학교육과 겸임교수
- '재료설계', '분말야금', '마그네슘제조', '특수주조' NCS 및 활용패키지 개발진
- NCS 학습모듈 '열처리', '재료설계', '축로', '다이캐스팅금형 품질관리' 집필 등

☐ 김기중 상무이사((주)용성열처리 연구소, wh2kim@hanmail.net)
- 금속재료산업기사, 2017년도 '열처리', '재료조직평가' 직무분석 연구진
- '열처리', '재료설계-합금설계' NCS 및 활용패키지 개발진
- '금속재료', '열처리' 교과서 집필 / '열처리 작업안전관리' NCS 학습모듈 개발

☐ 검토·자문
- 한국금속열처리공업협동조합 이종길 전무이사

## 유 의 사 항

뿌리산업 개론서 내용을 대외적으로 활용 및 인용할 경우에는 반드시 원 출처를 명기하여 주시기 바랍니다. 관련 참고문헌 및 데이터 출처는 본문의 해당 자료에 명시하였습니다.

뿌리산업 인적자원개발위원회(금형·금속가공·표면처리·용접)
☎ 070-4269-9388 / osm@koreamold.com