

침탄공정 프로그램 작성법

김경식

천안공업대학 신소재열공정과

Programing Method of Carburizing Process

Kyung-Sik Kim

Dept. of Advanced Materials, Chonan National Technical College

1. 머리말

지금까지 8회에 걸친 열처리기술경기대회에서 본인은 5회 정도에 걸쳐 침탄열처리 부문의 진행요원으로서 활동하였다. 매 경기대회마다 참가한 각 업체의 침탄열처리 공정을 추리해 보면 목표조건에 대하여 각 업체에서 실제로 예비실험 조업을 하여 좋은 결과를 얻었던 열처리 패턴을 이용하여 경연에 참여하고 있다고 생각된다. 전혀 특성을 모르는 경기대회장의 장비를 가지고 제각기 다른 업체의 조업조건을 입력하여 경연을 실시하다 보니 전혀 예상치 못했던 뜻밖의 결과도 나올 가능성이 있다고 볼 수 있다.이에 본 자료는 이론적으로 침탄열처리 프로그램을 작성하는 방법과 이와 관련된 중요사항을 요약한 것으로서 침탄공정 프로그램 작성에 도움이 되었으면 한다.

2. 침탄공정 프로그램 작성법

침탄공정 프로그램 작성시에는 다음과 같은 5가지 단계가 필요하다.

- ① 침탄온도의 설정
- ② 전침탄시간의 설정
- ③ 침탄기 시간 및 확산기 시간의 설정
- ④ 침탄분위기 카본포텐셜 설정
- ⑤ 퀘칭(담금질) 온도의 설정

2.1 침탄온도의 설정

침탄온도를 결정할 때는 결정립의 성장, 변형, 경제성 등을 고려할 필요가 있다. 침탄온도는 930°C 전후의 온도를 적용하는 것이 많지만, 침탄깊이가 얇은 경우에는 침탄깊이 편차를 억제하기 위해 저온측의 온도를 적

용하는 경우가 있다. 침탄온도가 높을수록, 처리시간이 짧아지는 것으로, 고온측의 온도를 채용하는 경우도 많지만, 이 경우에는 특히 결정립의 성장과 변형을 고려해야 한다.

2.2 침탄시간의 설정

침탄층 깊이에는 전경화층 깊이(전침탄층 깊이:TCD) 또는 유효경화층 깊이(ECD)가 규정되어 있다.

2.2.1 전침탄층 깊이(TCD)에 의한 침탄 시간의 설정

전침탄층 깊이로부터 침탄시간을 구하는 계산은 EE.Harris의 식으로부터 알 수 있다. 침탄온도가 설정되면, 필요한 전침탄층 깊이(TCD)를 얻기위한 시간을 계산식으로부터 구할 수 있다.

$$TCD \text{ (inch)} = \frac{31.6 \sqrt{t}}{10^{(6700/T)}} \tag{1}$$

t : 시간(h)

T: 온도(°F+460)

위식의 inch를 mm로, °F를 °C로 환산하면 다음식으로 된다.

$$\begin{aligned}
 TCD \text{ (mm)} &= K \sqrt{t} \tag{2} \\
 &= 0.390 \sqrt{t} \text{ (850°C의 경우)} \\
 &= 0.540 \sqrt{t} \text{ (900°C의 경우)} \\
 &= 0.648 \sqrt{t} \text{ (930°C의 경우)} \\
 &= 0.727 \sqrt{t} \text{ (950°C의 경우)}
 \end{aligned}$$

침탄온도-시간-전침탄깊이(TCD)의 관계를 표 1에 나타냈다.

2.2.2 유효경화층 깊이(ECD)에 의한 침탄시간의 설정

유효경화층 깊이(ECD)는 표면으로부터 550HV까지의 깊이로 규정되어 있다. 전경화층 깊이에 대한 유효경화층 깊이의 비율을 有效硬化率이라 부르며, 다음과 같은 관계를 갖고 있다.

$$\text{有效硬化率} = \frac{\text{유효경화층 깊이}}{\text{전경화층 깊이}} \times 100 \quad (3)$$

품질사양에 따라 유효경화 깊이가 규정되어 있는 경우, 침탄시간을 설정하기 위해서는 실조업에서의 유효경화율을 파악해 놓을 필요가 있다.

유효경화율에 영향을 미치는 요소로서는 다음과 같은 것이 있다.

- 가공재료의 성분
- 가공재료의 오스테나이트 경정입도
- 가공재료의 질량효과
- 퀸칭냉각의 냉각능

위에 기록한 내용을 이용하여 유효경화율을 구하는 상세한 수순에 대하여는 참고문헌[1]을 활용하기를 바라며, 여기에서는 表 2에 마르퀸칭(Hot quenching) 油냉각의 경우(냉각능 $H=0.20\text{inch}^{-1}$)의 유효경화율을, 表 3에 cold quenching 油냉각의 경우(냉각능 $H=0.35\text{inch}^{-1}$)의 유효경화율을 표시한 것으로 실조업 데이터가 없는 경우는 참고로서 이 表를 이용하면 좋다.

2.2.3 浸炭期 및 擴散期の 시간설정

FE.Harris는 Fick의 제2법칙을 기본으로 해서 목표로 한 침탄깊이 및 표면탄소 농도로 하기 위한 실험식을 발표하고 있다.

$$T_c = T_r(D/C)^2 \quad (4)$$

T_c : 침탄기 시간

T_r : 全浸炭 時間(침탄기 시간+확산기 시간)

D: 확산 종료시의 표면탄소농도와 소재의 탄소농도와의 差

C: 침탄기의 카본포텐셜(CP)과 소재의 탄소농도와의 差

표 1. 浸炭溫度-時間-全浸炭層깊이와의 관계

全浸炭깊이: $TCD = K \cdot \sqrt{t}$
 溫度:°C 時間 t:h 全浸炭깊이 TCD:mm, K: 상수

온도 (°C) K	850	860	870	880	890	900	910	920	930	940	950
시간 (h)	0.390	0.417	0.446	0.476	0.507	0.540	0.574	0.610	0.648	0.687	0.727
1	0.390	0.417	0.446	0.476	0.507	0.540	0.574	0.610	0.648	0.687	0.727
2	0.550	0.588	0.629	0.671	0.719	0.761	0.809	0.860	0.914	0.969	1.025
3	0.671	0.717	0.767	0.819	0.872	0.929	0.987	1.049	1.115	1.182	1.250
4	0.780	0.834	0.892	0.952	1.014	1.080	1.115	1.220	1.296	1.374	1.454
5	0.874	0.934	0.999	1.066	1.136	1.210	1.286	1.366	1.452	1.539	1.628
6	0.956	1.022	1.093	1.166	1.242	1.323	1.406	1.495	1.588	1.683	1.781
7	1.034	1.105	1.182	1.261	1.344	1.431	1.521	1.617	1.717	1.821	1.927
8	1.104	1.180	1.262	1.347	1.435	1.528	1.624	1.726	1.834	1.944	2.057
9	1.170	1.251	1.338	1.428	1.521	1.620	1.722	1.830	1.944	2.061	2.181
10	1.232	1.318	1.409	1.504	1.602	1.706	1.814	1.928	2.048	2.171	2.297
11	1.295	1.384	1.481	1.580	1.683	1.793	1.906	2.033	2.151	2.281	2.414
12	1.351	1.445	1.545	1.649	1.756	1.871	1.988	2.113	2.245	2.380	2.518
13	1.406	1.504	1.608	1.716	1.828	1.947	2.070	2.199	2.366	2.477	2.621
14	1.459	1.560	1.669	1.781	1.897	2.020	2.148	2.282	2.425	2.571	2.720
15	1.510	1.615	1.727	1.844	1.964	2.091	2.223	2.363	2.510	2.661	2.816
16	1.560	1.668	1.784	1.906	2.028	2.160	2.296	2.440	2.592	2.748	2.908
17	1.608	1.719	1.839	1.963	2.090	2.267	2.367	2.515	2.672	2.833	2.997
18	1.655	1.769	1.892	2.019	2.151	2.291	2.435	2.588	2.749	2.915	3.084
19	1.670	1.818	1.944	2.075	2.210	2.354	2.502	2.659	2.825	2.995	3.169
20	1.744	1.865	1.995	2.129	2.267	2.415	2.567	2.728	2.898	3.072	3.251

2.3 침탄기 및 확산기의 분위기 조정

침탄을 촉진하기 위해서는 침탄기의 카본포텐셜을 높게 하는 쪽이 좋지만, 지나치게 높으면 sooting이 생기기도 하고, 표면층에 조대한 網狀세멘타이트가 석출하여, 확산기의 분위기 조정만으로는 적절한 조직으로 유도하는 것이 곤란한 경우가 있다. 보통 침탄기는 1.2~1.3% C, 확산기는 0.7~0.9% C의 범위에서 CP를 설정하고 있다.

2.4 재료성분과 분위기 CP와의 관계

화학반응의 평형관계로부터 구한 카본포텐셜은 純鐵을 전제로 한 것으로서, 재료에 합금원소가 첨가되면, 분위기를 보정하지 않으면 안된다. Cr과 같은 강력한 탄화물 형성원소를 함유한 것은 목표 표면탄소농도보다 분위기의 카본포텐셜을 낮게 조정할 필요가 있다. 한편, Si나 Ni등과 같이 탄화물 형성을 억제하는 원소를 많이 함유한 것은 분위기의 카본포텐셜을 높게 조정하지 않으면 안된다.

합금원소의 영향은 다음 식으로부터 계산할 수 있다.

$$\log(\text{보정계수}) = 0.055(\%Si) - 0.13(\%Mn) - 0.40(\%Cr) + 0.014(\%Ni) - 0.013(\%Mo) \quad (5)$$

2.5 퀸칭공정

퀸칭은 표면층과 중심부의 경도 및 마이크로 조직의 요구를 만족시키는 조작으로서 변형에도 큰 영향을 준다. 침탄된 표면층과 침탄의 영향을 받지않는 중심부의 변태거동에 차이가 있음에 주의할 필요가 있다. 오스테나이트화 온도로부터 냉각과정에서 표면과 중심부에 온도차가 생기지만, 냉각속도와 부품의 두께차에 의해서도 그 온도차가 변한다.

2.5.1 퀸칭온도

퀸칭 온도는 기본적으로는 오스테나이트 온도에서 행한다. 오스테나이트와 페라이트가 공존하는 온도영역에서 가열하면, 퀸칭시에 가공재료 중심부의 조직차이, 경도차를 발생시키고, 불균일한 변형을 일으키기 쉽다. 침탄후 퀸칭온도까지 로냉하고, 그 온도에서 유지한후 퀸칭하는 말하자면, 침탄후 직접 퀸칭하는 경우의 온도는 830~850°C의 온도범위를 적용한다. 높은 퀸칭온도는 잔류 오스테나이트(γ_R)가 많게되며, 표층부의 마르텐사이트가 조대해지며, 변형량이 크게된다. 거꾸로, 낮은 퀸칭온도는 중심부 경도가 안정되지 못하는데 이것도

변형이 크게되는 요인으로 된다.

침탄후 재가열하는 경우의 퀸칭가열 온도는 아래 계산에 의해 구한 Ac_3 온도보다 10~20 높은 Ac_3 점 + 10~20°C로 하는 것이 일반적이다.

$$Ac_3(^{\circ}C) = 854 - 180(\%C) + 44(\%Si) - 14(\%Mn) - 17.8(\%Ni) - 1.7(\%Cr) \quad (6)$$

2.5.2 퀸칭냉각과 잔류 오스테나이트

(가) 퀸칭후의 잔류오스테나이트량의 예측 계산.

잔류오스테나이트 생성량(γ_R)을 계산식으로 나타내려는 시도는 오래전부터 행혀져왔다.그 식들은 냉각정지온도에서의 잔류오스테나이트가 마르텐사이트생성개시온도(Ms)와 밀접하게 관계가 있는 것을 기본으로 하고 있다. 우선, 표면탄소농도와 재료성분으로부터 Ms 점을 계산한다.

$$Ms(^{\circ}C) = 499 - 300(\%C) - 33(\%Mn) - 22(\%Cr) - 17(\%Ni) - 11(\%Si) - 11(\%Mo) - 250(\%N) \quad (7)$$

다음에 퀸칭냉각제의 온도로부터 냉각정지온도를 설정한다. 그러면 다음 식으로부터 잔류오스테나이트량(γ_R)을 구할 수 있다.

$$\ln \gamma_R = -0.011(Ms - \text{냉각정지온도})$$

$$\therefore \gamma_R = \exp\{-0.011(Ms - \text{냉각정지온도})\} \quad (8)$$

(나) 재료 성분과 표면탄소농도

침탄부품의 표면경도를 높이기 위해서는 잔류오스테나이트량을 억제할 수 있는 표면탄소량으로 조절하는 것이 중요하다. 일반적으로 Ni의 함유량이 많은 강은 저탄소층에, Cr을 함유한 강은 고탄소층에 최적탄소량이 존재한다.[2]

3. 침탄가공 프로그램 작성사례

앞에서 기술했던 내용을 구체적인 사례로서 아래에 나타낸 전제조건에 대응하는 침탄조건의 설정을 행함으로써 침탄가공 프로그램을 작성함과 동시에 잔류 오스테나이트량의 예측을 시도한다.

3.1 전제조건

- 1) 가공재료 SCM415
- 2) 재료의 성분(SCM415의 평균적인 값으로 함)
0.15%C, 0.25%Si, 0.73%Mn, 0.1%Ni, 1.1%Cr, 0.22%

Mo, 0.02%P, 0.02%S

- 3) 재료의 치수 및 형상
25 mmφ × 50 mmL의 환봉
- 4) 유효경화깊이(ECD) 1.3~1.8 mm(목표1.5 mm)
- 5) 열처리 조건
 - a) 침탄온도 930°C
 - b) 표면탄소농도 0.8%
 - c) 쿨냉냉각(cold 油)의 냉각능 0.35in⁻¹
유냉 70°C
냉각정지온도 油溫까지 냉각
 - d) 쿨냉방법 펄탄직접 쿨냉

3.2 처리 조건의 설정

1) 침탄시간의 설정

표 2로부터 유효경화율이 75%임을 알 수 있다. (3) 식으로부터 전침탄층길이(TCD)는

$$TCD = \frac{1.5}{0.75} = 2.0 \text{ mm}$$

표 1로부터 전침탄층 깊이 2.0 mm를 얻기위한 총침탄시간이 10h임을 알 수 있다.

2) 침탄기 시간, 확산시간의 설정

표 2. 全硬化層깊이에 따른 有效硬化率(%) (Cold queching 油)

H=0.20 inch⁻¹

ECD: 有效硬化率

鋼種	ECD φ=mm	0.5 mm				1.5 mm				2.5 mm			
		10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
SNC815		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
SNCM616		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
SNCM815		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
SCM822		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
SNC415		75	70	65	55	75	65	60	55	75	65	60	50
SNCM220		85	80	75	75	85	80	75	70	85	80	75	70
SNCM415		80	80	75	70	80	75	75	70	80	75	75	70
SNCM420		85	80	80	75	85	80	80	75	85	80	75	75
SCr415		80	75	70	65	80	75	70	65	80	70	65	65
SCr420		85	80	75	70	80	75	70	70	80	75	70	65
SCM415		80	80	75	75	80	80	75	75	80	80	75	75
SCM418		85	80	80	75	85	80	80	75	80	80	75	75
SCM420		85	85	80	80	85	80	80	75	85	80	80	75
SCM421		85	85	80	80	85	85	80	80	85	85	80	80
SMn420		70	60	※	※	70	50	※	※	70	45	※	※
SMnC420		85	80	75	70	80	80	75	70	80	80	75	70

(4) 식으로부터 침탄기시간(Tc)은

$$Tc = 10 \left(\frac{0.80 - 0.15}{1.20 - 0.15} \right)^2 = 3.83h$$

확산기 시간은, 확산기 시간 = 전침탄시간 - 침탄기시간
= 10 - 3.83 = 6.17h

3) 분위기 카본 포텐셜 설정

침탄기 CP 1.2%, 확산기 CP 0.8%의 카본포텐셜이 되도록 재료성분에 따른 카본 포텐셜의 수정을 행한다. (5)식에 재료성분에 값을 대입한다.

재료의 분석값	log(보정계수)
0.25%Si	+0.055 × 0.25 = +0.01375
0.73%Mn	-0.013 × 0.73 = -0.00949
1.10%Cr	-0.040 × 1.10 = -0.04400
0.10%Ni	+0.014 × 0.10 = +0.00140
0.22%Mo	-0.013 × 0.22 = -0.00286
	합계 -0.04120

$$\log(\text{보정계수}) = -0.04120$$

$$\text{보정계수} = 10^{-0.04120} = 0.96$$

따라서 침탄기 및 확산기의 카본포텐셜 설정은 보정계수를 적용하면 다음과 같이된다.

표 3. 全硬化層깊이에 따른 有效硬化率(%)

H=0.20 inch⁻¹

ECD: 有效硬化率

鋼種	ECD φ=mm	0.5 mm				1.5 mm				2.5 mm			
		10	15	20	25	10	15	20	25	10	15	20	25
SNC815		80	80	75	75	80	80	75	75	80	80	75	75
SNCM616		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
SNCM815		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
SCM822		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
SNC415		85	55	35	*	65	55	30	*	65	50	30	*
SNCM220		80	70	65	60	80	70	65	60	75	70	65	60
SNCM415		75	70	65	75	75	70	65	65	75	70	65	65
SNCM420		80	75	70	65	80	75	70	65	80	75	70	65
SCr415		70	65	55	45	70	65	55	45	70	60	55	45
SCr420		75	70	65	50	75	65	60	45	75	65	60	45
SCM415		80	75	70	65	80	75	70	65	75	75	70	65
SCM418		80	75	75	70	80	75	70	70	85	75	70	70
SCM420		80	75	75	70	80	75	75	70	80	75	75	70
SCM421		80	80	75	75	80	80	75	75	80	80	75	75
SMn420		45	*	*	*	40	*	*	*	*	*	*	*
SMnC420		80	70	65	60	75	70	65	60	75	70	65	55

침탄기의 카본포텐셜 설정: $1.20 \times 0.96 = 1.15\%$ (23%)
 확산기의 카본포텐셜 설정: $0.80 \times 0.96 = 0.77\%$

4) 퀴칭 온도의 설정

(6) 식으로부터 Ac₃점 온도를 구할 수 있다.

$$Ac_3(°C) = 854 - 180(\%C) + 44(\%Si) - 14(\%Mn) - 17.8(\%Ni) - 1.7(\%Cr)$$

$$= 854 - 180 \times 0.15 + 44 \times 0.25 - 14 \times 0.73 - 17.8 \times 0.1 - 1.7 \times 1.1 = 824$$

따라서, 퀴칭온도는 Ac₃점 온도에 10°C를 더해서 834°C로 설정한다.

5) 잔류 오스테나이트량의 예측

油溫까지 냉각하기 위한 냉각정지온도는 70°C로 하면, 이 때의 표면에 존재하는 잔류 오스테나이트량은 식 (7), (8)로부터 구할 수 있다.

$$Ms(°C) = 499 - 300(\%C) - 33(\%Mn) - 22(\%Cr) - 17(\%Ni) - 11(\%Si) - 11(\%Mo) - 250(\%N)$$

$$= 499 - 300 - 0.80 - 33 \times 0.73 - 22 \times 1.10 - 17 \times 0.10 - 11 \times 0.25 - 11 \times 0.22 = 203.84$$

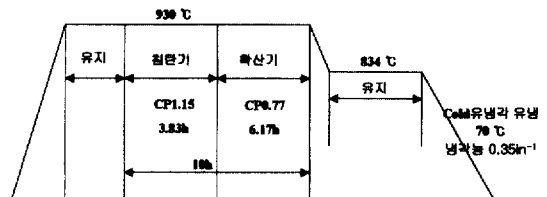
$\ln \gamma_R = -0.01(Ms - \text{냉각정지온도})$ 이므로

$$\ln \gamma_R = -0.01(203.84 - 70) \quad \gamma_R = 0.23(\text{잔류오스테나이트량})$$

위 계산은 표면이 0.8%C로 되었을 때의 값으로, 내부를 향하여 탄소농도가 감소함에 따라서 잔류 오스테나이트량은 감소한다.

3.3 침탄 가공 프로그램의 작성

앞의 1)~4)에서 구한 자료를 이용하여 열처리싸이클을 그리면 다음과 같다.



4. 맺음말

해가 갈수록 침탄 열처리를 실시하는 부품의 량이 증가할 것으로 예상된다. 보다 정확한 침탄 공정 프로그램을 작성하여 조업한다면 전침탄시간의 절약, 에너지 절감등 여러 가지 측면에서 크게 도움이 될 것으로 생각되어 자료를 소개하니 적극 활용해 주시고 열처리

기술경기대회의 목표 유효경화층 깊이 0.5 mm에 대해서는 칩탄시간을 각자 계산하여 보시길 부탁드립니다.

2. 日本熱處理技術協會・日本金屬熱處理工業會:熱處理奇術入門, (1997).

참고문헌

1. 工藤: 鑄鍛造と熱處理 11, P19(1985).