



오스템퍼드 주강의 미세조직과 기계적 성질

柳 成 坤

Microstructures and Mechanical Properties of Austempered Cast Steel

Sung-Kon Yu*

Abstract

This study has been performed to investigate the austempering heat treatment response and mechanical properties of a high carbon(0.9%), silicon(1.5-4.5%)-alloyed cast steel, with a chemical composition similar to that of the matrix of a ductile cast iron. Tensile and hardness tests were used to evaluate the effects of a wide variety of austempering heat treatment variables. SEM metallography and X-ray measurements of stabilized austenite were also performed for all the specimens employed. The austempered microstructures which contain up to 39% stabilized austenite were obtained. Mechanical properties and microstructures depended primarily on the austempering time and temperature.

The optimum mechanical properties were obtained at the chemical compositions of 0.9% C and 2.5% Si.

1. 서 론

Austempered Ductile Cast Iron (ADI)은 인장강도, 인성, 피로강도, 내마모성이 우수하여 현장적용의 성공사례가 계속해서 발표되고 있으며 아울러 주강, 단조공업계에 큰 자극을 주고 있다. (1,2) 이러한 ADI의 우수한 기계적 성질은 기지조직에 함유된 ausferrite와 잔류오스테나이트에 기인된다. ADI의 기지조직과 비슷한 화학조성을 가진 고탄소, 고실리콘 주강에서도 오스템퍼링 처리시 ADI와 동등한 기계적 성질과 미세조직을 가질 것으로 기대된다. 오스템퍼드 주강에 있어서 오스템퍼링 변화조건에 따른 반응메카니즘연구가 다소 발표되었으나 아직 많은 문제점이 내포되어있다. (3,4)

본 연구는 주강의 화학조성을 C 0.9%, Si 1.5-4.5%로 하였을 때 ADI와 동등한 기지조직 및 기계적 성질을 갖는 최적 열처리조건과 화학조건을 찾고자 함에 그 연구 목적과 중요성이 있다.

2. 실험방법

2.1 용해

본 실험에 사용된 주강의 화학조성은 Table. 1과 같다.

Table. 1에 나타난 바와 같이 C는 ADI의 기지조직의 C 함유량과 비슷하게 0.9%로 고정시켰으며 Si는 1.5, 2.5, 3.5, 4.5%로 변화시켰다. 또 오스템퍼링시 경화능을 부여하기 위해 0.3% Mo를 첨가하였다. 모든 장입원료의 용해는 50Kg 용해능력을 가진 유도용해로에서 행하였다. 장입원료는 Armco steel, 가탄제(85-90%C), Fe-75%, Si, Fe-75% Mn, 100% Mo등으로 구성되어 있다. 각 장입원료들을 유도용해로에 넣어 1650℃까지 가열시켜 용해시킨 후 0.2% Al을 넣어 탈산을 실시하였다. 1600℃에서 용탕을 6개의 Y블럭을 주입시킨 후 실온까지 냉각시켰다.

* 계명대학교 재료공학과(Dept. of Materials Eng., Kei Myung University)

Table 1. Chemical composition used in the experiment

alloy	element (%)					
	C	Si	Mn	Mo	P	S
1	0.86	1.51	0.28	0.29	0.022	0.011
2	0.88	2.51	0.28	0.29	0.021	0.011
3	0.86	3.57	0.27	0.30	0.022	0.011
4	0.88	4.56	0.25	0.31	0.021	0.012

2.2 오스템퍼링 처리

하나의 Y블럭으로 부터 25×25×200mm의 시편을 2개씩 만들었다. 같은 화학조성을 지닌 2개의 시편을 900℃에서 질소분위기 하에서 1시간 동안 오스테나이트화한 후 각기 다른 온도와 시간에서 오스템퍼링 처리를 행하였다. Table 2에 각 합금의 오스템퍼링 온도와 시간을 나타내었다.

2.3 인장시험

오스템퍼링 처리를 한 시편으로 부터 KS 4호 인장시편을 만든 후 인장시험을 행하였다.

2.4 현미경 조직검사

오스템퍼링 처리한 시편을 120, 240, 320, 600mesh의 순으로 연마한 후 1, 0.3, 0.05μm 알루미나 분말을 사용하여 미세 연마시킨후 5% nital 용액으로 부식시켜 400 및 5000 배율로 광학 및 전자현미경을 통해 조직을 각각 관찰하였다.

2.5 잔류오스테나이트 측정

오스템퍼링 처리한 시편을 직경 10mm, 높이 10mm 크기의 원통형으로 가공한 후 표면을 연마지로 연마한 후 X-ray 회절시험을 거쳐 γ(200), γ(220), γ(311) 회절면의 peak를 적분하여 잔류 오스테나이트를 측정하였다.

Table 2. Combinations of austempering time and temperature

alloy No.	austempering temp.(°C)	austempering time(min)	Si(%)
123	320	30	1.5
126	320	60	1.5
121	320	120	1.5
223	320	30	2.5
226	320	60	2.5
221	320	120	2.5
323	320	30	3.5
326	320	60	3.5
321	320	120	3.5
423	320	30	4.5
426	320	60	4.5
421	320	120	4.5
103	400	30	1.5
106	400	60	1.5
101	400	120	1.5
203	400	30	2.5
206	400	60	2.5
201	400	120	2.5
303	400	30	3.5
306	400	60	3.5
301	400	120	3.5
403	400	30	4.5
406	400	60	4.5
401	400	120	4.5

2.6 경도시험

잔류오스테나이트 측정을 마친 시편을 10mm 직경을 가진 steel ball에 3000kg의 하중을 30초 가한 후 압흔으로 부터 브린넬경도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Table. 2에 나타난 각 시편의 인장강도, 항복강도, 신율, 브린넬경도(HB), 잔류오스테나이트의 량을 Table. 3에 나타내었다.

먼저 잔류오스테나이트의 량과 신율과의 관계를 Fig. 1에 나타내었다.

대체로 잔류오스테나이트의 량이 증가함에 따라 신율이 증가하는 경향을 보이고 있다. Si는 주강의 오스템퍼링 반응시 cementite의 석출을 억제 또는 지연시키는 원소로 알려져 있다. 다량의

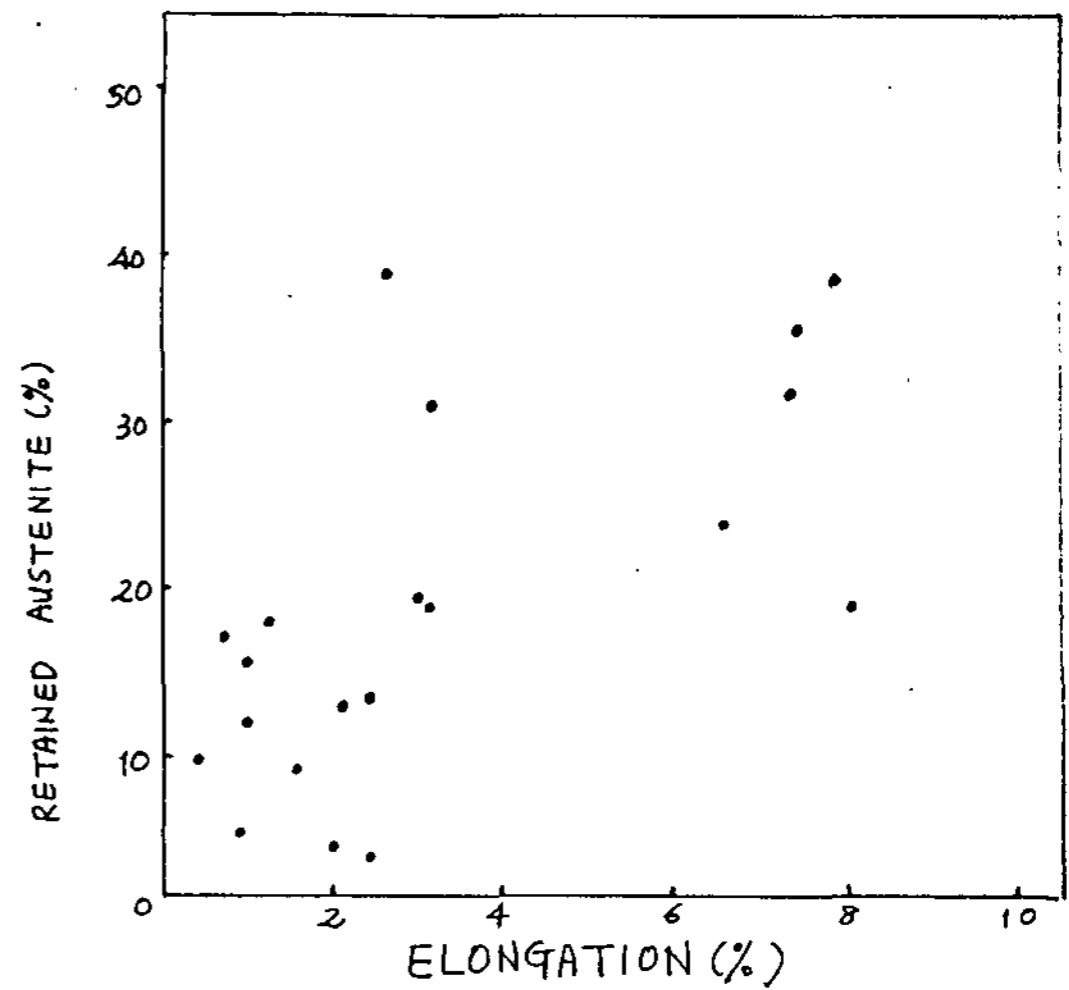


Fig 1. The relationship between the amounts of retained austenite and the elongation

Table 3. Mechanical property of austempered alloy

alloy No.	tensile strength (kg/mm ²)	yield strength (kg/mm ²)	elongaton (%)	hardness (HB)	retained austenite (%)
123	134	123	2.1	469	12.8
126	98	98	2.6	461	38.6
121	129.5	129.5	-	469	9.9
223	145	133	6.6	467	23.6
226	-	-	-	444	17.5
221	154	149	8.0	461	17.8
323	144	144	2.4	444	4.4
326	133	133	0.9	453	5.7
321	155	113	3.0	456	19.4
423	126.1	126.1	1.0	438	13.0
426	113	99	1.6	454	11.9
421	122	109	-	454	9.1
103	95.5	95.5	1.3	335	18.2
106	98	82	2.0	317	4.8
101	99.8	99.8	-	325	9.2
203	93	93	7.4	321	31.8
206	99	85	7.5	321	35.7
201	99	83	7.8	335	38.3
303	101	91	2.4	343	13.5
306	102	88	3.2	341	31.0
301	99	90	3.2	332	19.1
403	84.7	84.7	0.4	388	10.0
406	94	94	1.0	401	12.3
401	91.6	91.6	0.7	376	17.2

Si가 기지조직내에 존재할 경우 오스테퍼링 반응시 핵 생성되는 ausferrite로부터 축출되는 C는 cementite의 형성에 이용되지 않고 오스테나이트 고용체로 확산되어가서 이 고용체의 C 함유량을 높인다. 이렇게 C로 포화된 오스테나이트는 Ms점이 실온이하로 되어 -120℃까지 인정하며 이것이 신율의 증가에 기여하는 것으로 추론되고 있다.

Fig. 2 및 Fig. 3은 400℃에서 30분, 60분, 120분 오스테퍼링 처리를 하였을 경우 Si 첨가량에 따른 잔류오스테나이트량 및 신율의 변화를 나타낸 것이다.

2.5% Si 첨가량에서 최대치를 나타내고 1.5%, 3.5% 및 4.5% Si에서는 이에 비해 낮은 값을 나타내고 있다. 최대치를 나타낼때의 조성은 ADI의 기지조직 조성(C:0.9%, Si:2.5-3.0%)과 대체로 일치하고 있다. Si함량이 1.5%일 경우는 잔류오스테나이트가 산소로 충분히 과포화되어 있지 않았음을 추정할 수 있다. 반면 4.5% Si첨가량에서는 오히려 역효과를 나타내고 있는데 이에 관한 메카니즘은 보다 깊은 연구를 요하고 있다.

Fig. 4는 320℃ 및 400℃에서 오스테퍼링 처리를 했을 때 인장강도의 변화를 나타낸 것이다. 강도 및 경도등의 기계적 성질은 오스테퍼링 온도 및 시간에 큰 영향을 받는다. 320℃에서의 인장강도가 400℃의 그것에 비해 높음을 알 수 있다. 현미경조직을 관찰하면 낮은 오스테퍼링 온도에서 보다 치밀하고 가는 ausferrite가 생성됨을 알 수

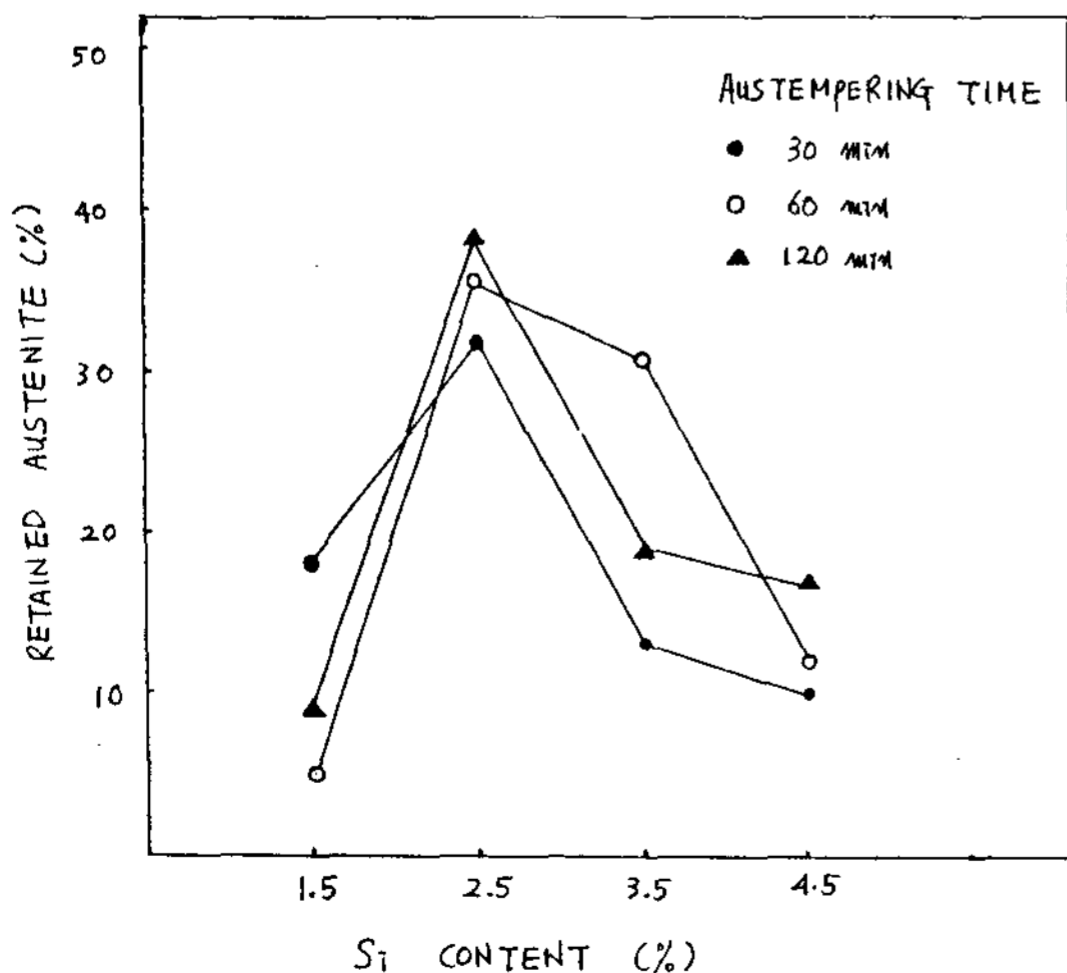


Fig 2. The relationship between the amounts of retained austenite and Si contents

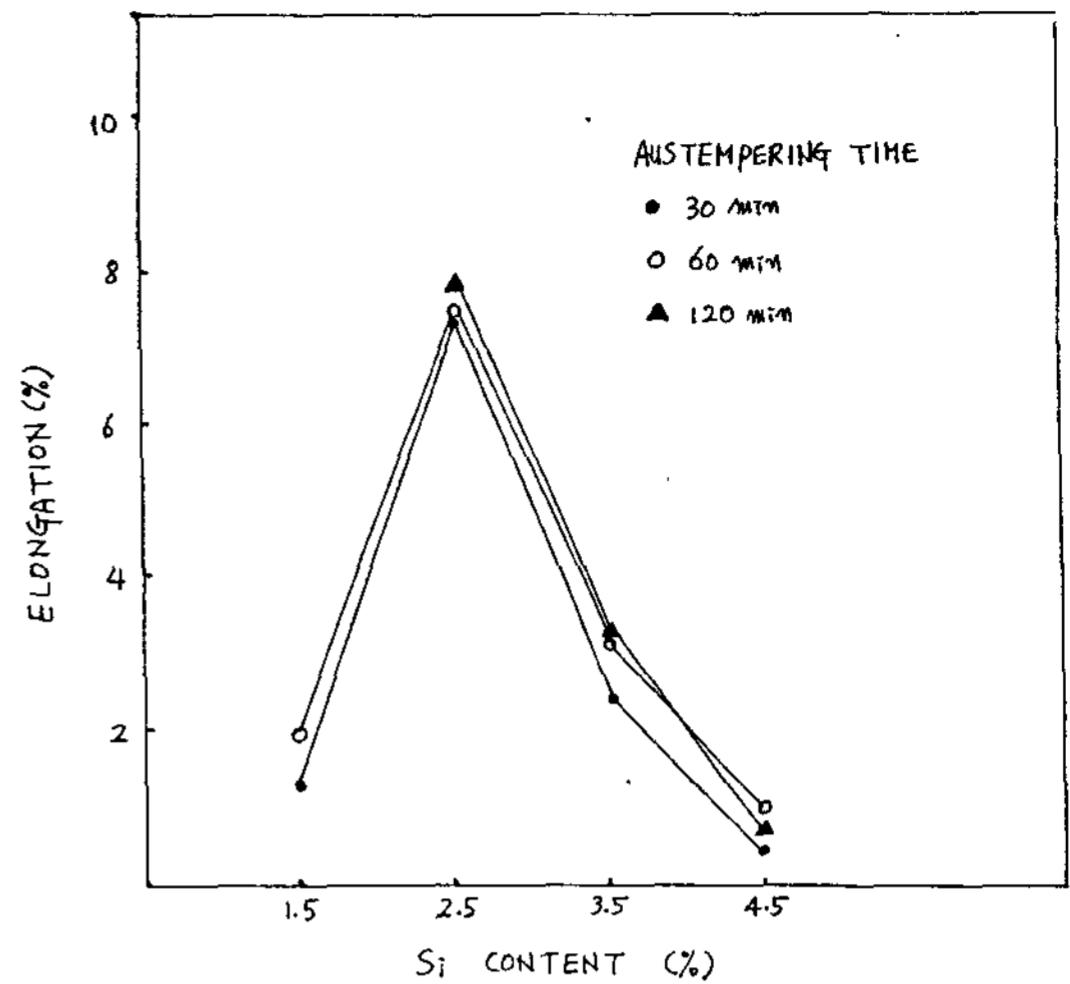


Fig 3. The relationship between the elongation and Si content

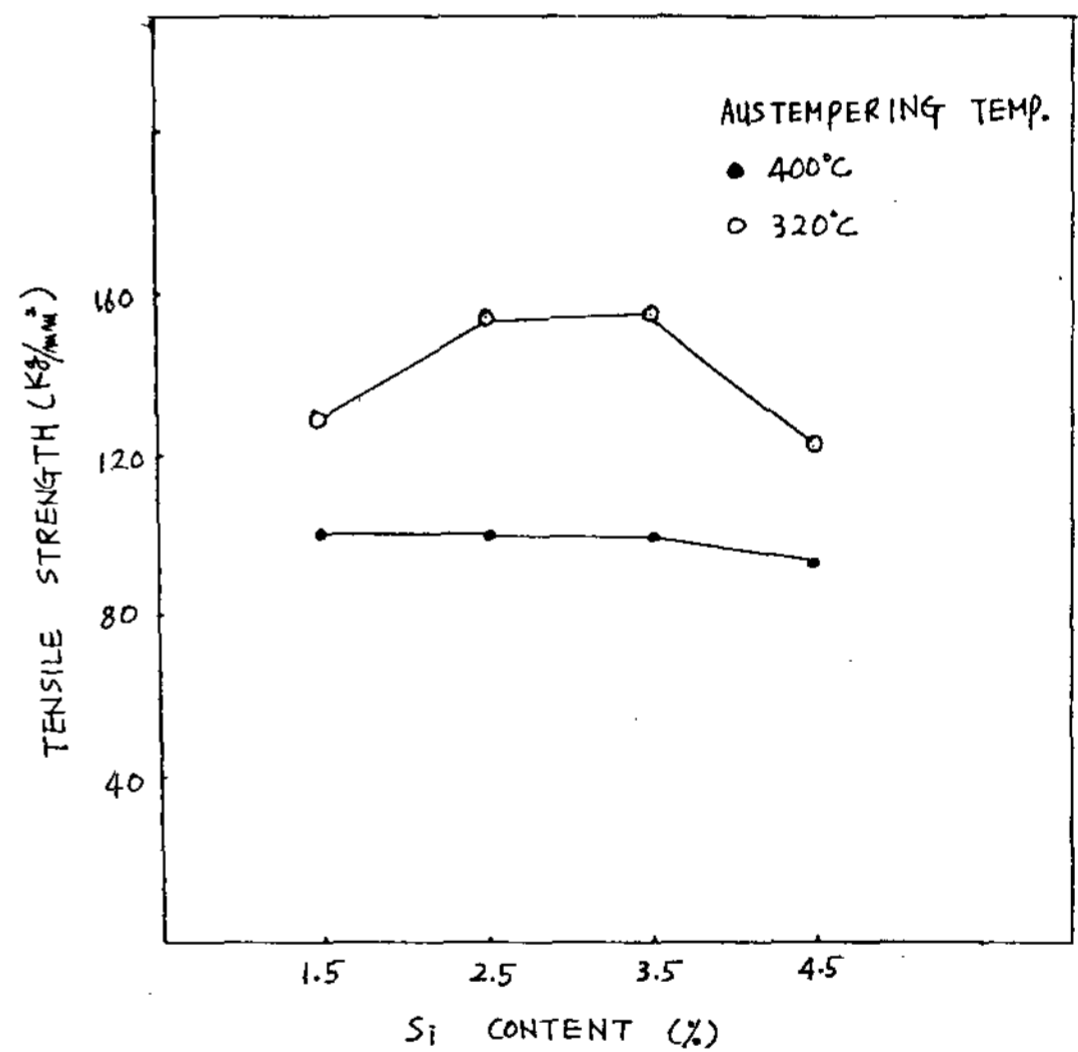


Fig 4. The relationship between the tensile strength and Si content austempered at 320℃ and 400℃

있다. Photo 1, 2는 0.9% C-4.5% Si 합금주강을 320℃ 및 400℃에서 30분 오스테퍼링 처리를 했을때의 SEM 조직사진을 비교한 것이다.

Fig. 5는 400℃에서 오스테퍼링 처리를 했을 때 시간에 따른 신율의 변화를 나타낸 것이다.

오스테퍼링 시간 또한 오스테퍼링 메카니즘에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 오스

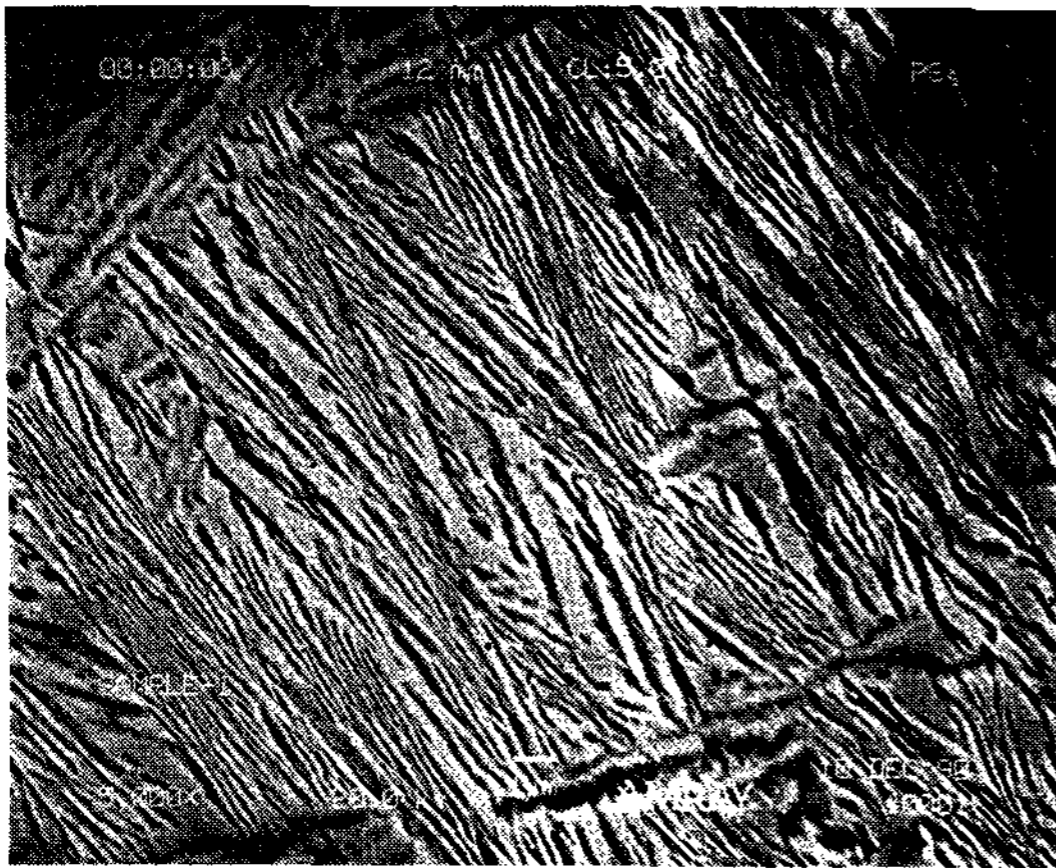


Photo 1. SEM microstructure (5000x) of the alloy (0.9% C-4.5% Si) austempered at 320°C for 30 minutes.

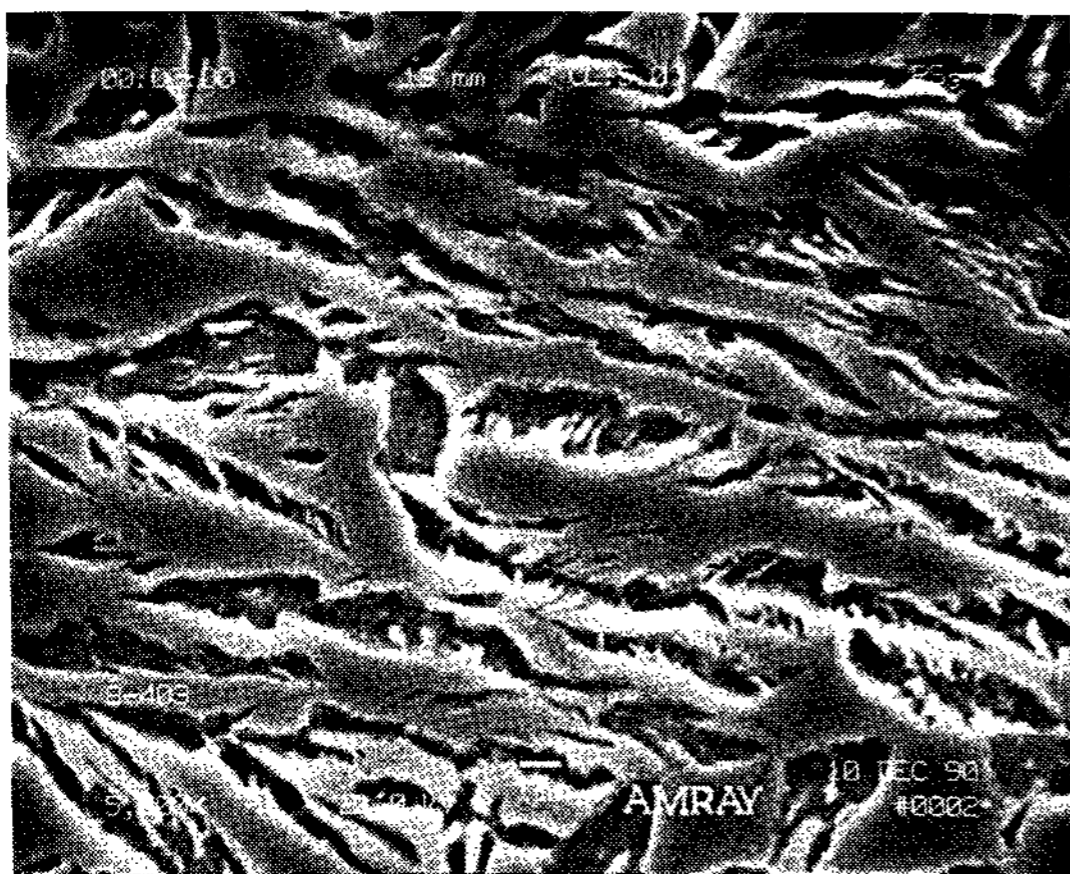


Photo 2. SEM microstructure (5000x) of the alloy (0.9% C-4.5% Si) austempered at 400°C for 30 minutes.

퍼링에 의해 생성된 고탄소안정화오스테나이트는 언제나 안정된 상태에 있는 것이 아니고 장시간 오스템퍼링 처리를 하면 cementite로 변해 신율의 감소를 초래하게 한다. 400°C에서 2시간 동안 유지시켜도 신율이 증가하고 있는 결과로부터 유추해 볼때 고탄소안정화오스테나이트 ⇒ cementite 반응은 아직 일어나지 않았음을 알 수 있다.

4. 결 론

- (1) DCI 기지조직의 화학조성과 비슷한 주강을

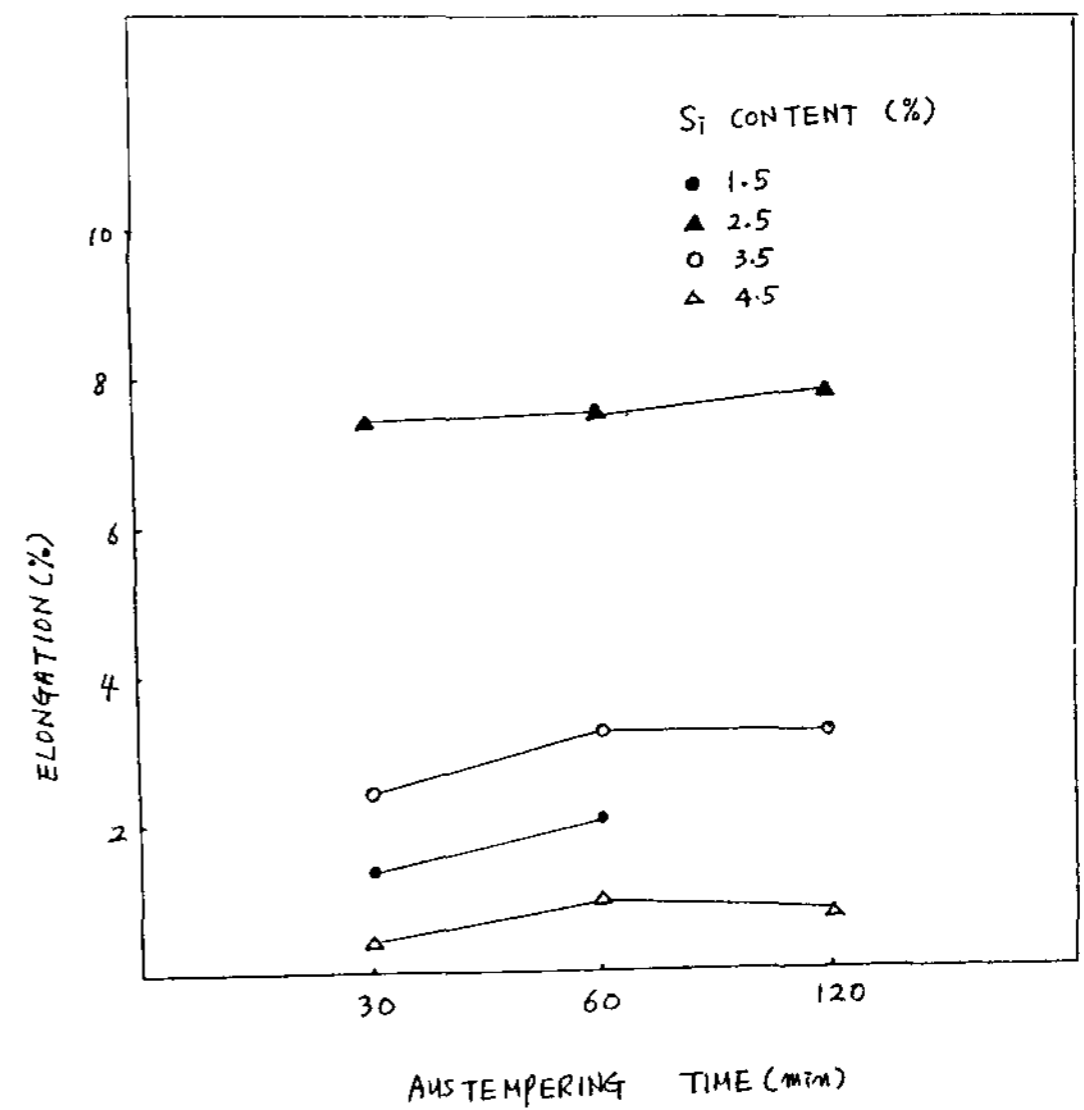


Fig 5. The relationship between the elongation and austempering time austempered at 400°C

오스템퍼링 열처리를 행하면 일반 주강에서와 같이 ferrite+cementite 의 조직이 생기는 것이 아니고 ausferrite+austenite 의 조직이 생성된다. 잔류 austenite는 39%까지 얻을 수 있었다.

- (2) 2.5% Si 합금주강에서 최적의 인장강도, 신율을 얻을 수 있었다.
- (3) 인장강도, 항복강도, 경도는 오스템퍼링 온도 320°C에서 높은 값을, 잔류 오스테나이트의 량, 신율은 오스템퍼링 온도 400°C에서 높은 값을 나타내었다.
- (4) 2시간까지의 오스템퍼링에서 신율이 증가함을 미루어 볼때 ferrite+cementite의 반응이 일어나지 않았음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Proceedings of the 1st International Conference on Austempered Ductile Iron: "Your Means to Improved Performance, productivity and Cost," American Society for Metals, Metals Park, OH(1984)
2. Proceedings of the 2st International Conference on Austempered Ductile Iron:

- “Your Means to Improved Performance, productivity and Cost,” ASME-Gear Research Institute, Naperville, IL(1986)
3. R. C. Voigt, R. Bendaly, J. K. Janowak and Y. J. Park: “Development of Austempered High Silicon Cast Steels,” AFS Transactions, vol. 93(1985), 453-462
 4. Y. J. Park, R. B. Gundlach and J. F. Janowak: “Monitoring the Bainite Reactuib During Austempering of Ductile Iron and High Silicon Cast Steel by Resistivity Measurement,” AFS Transactions, vol. 95(1987), 411-416
 5. M. Johansson; “Austenitic-Bainitic Ductile Iron,” AFS Transactions, vol. 85 (1977), 117-122