

공구강의 열처리 조건에 따른 기계적 성질

박지환 · 이종권 · 류근걸 · 이윤배

Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of STD11 and STS3

Jihwan Park, Jongkwon Lee, Kunkul Ryu and Yoon-bae Lee

요 약 금형부품으로 사용되는 STD11과 STS3의 열처리에 따른 물리적 특성을 비교하여 금형부품으로 사용시 약점으로 지적되어온 물성을 개선시키고자 하였다. STS3와 STD11의 잔류 austenite의 측정과 촉진시효변형시험, Charpy 충격시험결과를 실시한 결과 목표경도를 얻기 위한 심냉처리의 효과, 작업안정성과 칫수안정성면에서 STD11이 STS3보다 우수한 것으로 나타났다. STS3에서는 심냉처리에 의한 잔류 austenite의 감소량은 크게 나타나지 않았으며 또한, 변형을 최소화시켜야 하는 금형에서는 심냉처리가 필수적이라는 것을 확인하였다.

Abstract Using STD11 and STS3 as a mold set, accuracy of a mold product could be improved by heat treatment. Results of Charpy impact test and measurement of retained austenite in STS3 and STD11, STD11 was superior than STS3 in effect of sub-zero treatment and stability of working and measure. Decrease of retain austenite by sub-zero treatment in STS3 did not occurred.

Key Words : STD11, STS3, sub-zero, retained austenite

1. 서 론

금형부품으로 사용되고 있는 post, die plate, die set 등의 부품은 금형 가공시의 정밀도에 큰 영향을 미친다. 이러한 부품들의 대부분은 STD11과 STS3 등의 강들이 사용되나, 금형부품으로의 사용시 낮은 경도, 정밀도의 저하, 짧은수명 등으로 인한 문제가 있다. 금형재의 설계 기술의 향상 및 공정 자동화 등을 통하여 개선되고 있지만 고도화, 전문화되어 가는 산업사회에서 더욱 다양한 금형의 종류와 우수한 금형의 특성이 요구되어 지므로 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 새로운 재료의 개발과 가공기술이 필수적이다. 특히 냉간 단조용 금형에서는 압축강도가 크고 경도 및 내마모성이 양호하여야 하며 적당한 인성을 가지는 재료가 요구된다.[1] 본 연구는 STS3와 STD11의 열처리 조건에 따른 물성변화를 비교하여 금형부품으로 사용시 약점으로 지적되어온 물성을 개선시키는 것을 목적으로 한다. 이를 위하여 STS3와 STD11의 열처리 공정후의 경도 및 충격 흡수에너지, 잔류 오스테나이트의 양을 측정하여 금형

재료로서의 물성평가를 하였다. 이러한 연구결과를 토대로 채택한 금형재료의 물성평가와 엄격한 열처리 공정에 대한 중요성 인식 등을 통하여 금형부품의 수명 및 생산효율의 증가, 제품 품질의 향상을 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

2. 실험방법

STS3와 STD11 재료를 충격시험을 위한 size로 총 80개의 시편을 제작하였다. 모두 full-annealing한 시편들에 대하여 quenching을 하여 심냉처리 한 것과 심냉처리를 하지 않은 것에 대하여 각각 tempering 하였다. RIGAKU사의 XRD(DMAX 2200PC)를 이용하여 잔류 austenite의 양을 측정하였다. 각각의 시편에 대한 열처리 공정을 Fig 1,2에 나타내었다.

2.1 성분분석

각각의 강종에 대해 분광성분 분석기를 이용하여 각각의 화학성분을 분석하여 Table 1에 나타내었으며 이들의 성분은 모두 규격에 만족하였다.

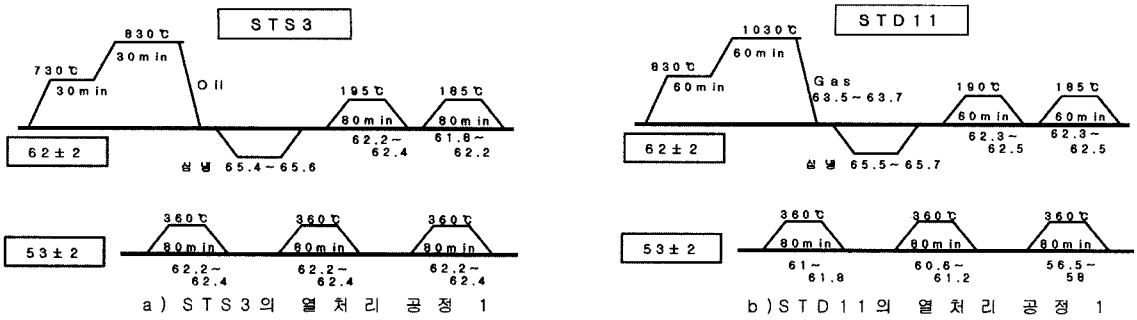


Fig. 1. STS3와 STD11의 열처리 공정 1

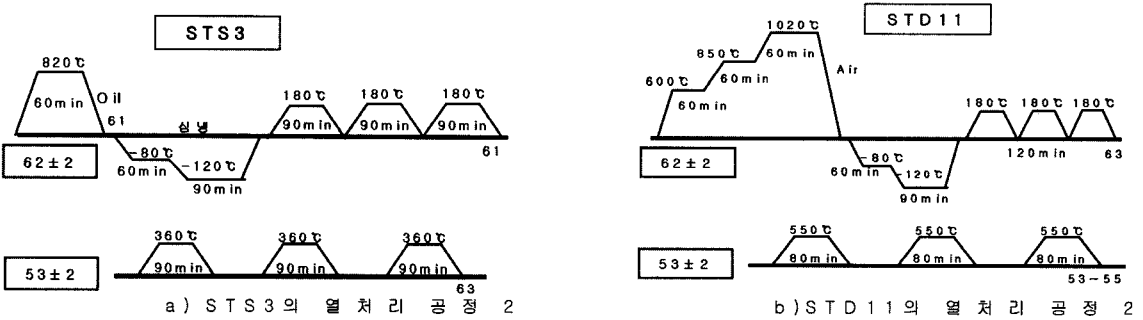


Fig. 2. STS3와 STD11의 열처리 공정 2

Table 1. STS3, STD11 강종의 화학적 조성¹⁾

시편	성분	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V
STS3	규격	0.09~1.00	0.35 max.	0.09~1.20	0.03 max.	0.03 max.	0.05~1.00	-	0.50~1.00	-
	측정	0.99	0.20	1.08	0.017	0.004	0.6	-	0.52	-
STD11	규격	1.40~1.60	0.40 max.	0.60 max.	0.03 max.	0.03 max.	11.0~13.0	0.80~1.20	-	0.20~0.50
	측정	1.44	0.23	0.45	0.019	0.002	12.1	0.87	-	0.29

2.2 촉진 시효 변형시험

환경시험기를 이용하여 STD11강의 크기를 20x25x100 mm 시편으로 제작하여 -30°C, 8시간 유지한 후 100°C, 16시간을 1주기로 총 10주기 시험하여 변형 정도를 측정 한 뒤, 변형효과를 크게 하기 위해 실리콘 오일에 담근 채로 250°C로 72시간 가열 후 변형을 측정하였다.[5,6]

2.3 잔류 오스테나이트의 측정

제작한 시편 중, 각 조건에 따라 열처리된 STS3(8개), STD11(8개) 그리고 각각 full annealing된 각각의 시편 1개, 총 18개 시편의 잔류 오스테나이트양을 알아보기

위하여 XRD로 측정을 하였다. 이때 시편의 선택은 목표경도의 범위를 만족하는 시편으로 선택하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 충격시험

Charpy impact test 결과 각 시편이 0.1~0.5 kg·m의 충격흡수에너지 값이 측정되었고, 이로 미루어 취성과 파괴가 발생하였을 것으로 판단된다. STS3는 0.1~0.4 kg·m의 충격흡수에너지를 갖는 것으로 측정되었다. 목표경도 62±2보다 목표경도 HRC 53±2시편의 충격흡수에너지가 약 0.1~0.2 kg·m정도 컸는데 이는 목표경

도 53±2가 목표경도 62±2에 비하여 경도는 낮지만 연성이 약간 좋으므로 해머의 낙하에 의한 충격을 많이 흡수했기 때문이다. 그리고 심냉처리를 하지 않은 시편의 흡수에너지가 심냉처리를 하였을 때보다 약 0.1정도 컸는데 이것 역시 심냉처리보다 일반처리를 한 시편의 경도가 낮은 반면, 좋은 연성을 갖고 있기 때문이다. 가 STD11의 경우 목표경도 53±2, 62±2 간의 충격흡수 에너지와 심냉처리를 한 시편과 그렇지 않은 시편에 따른 충격흡수에너지는 모두 0.2 kg·m로 같은 값을 가졌다. 모든 시편에 대하여 0.1~0.5 kg·m이라는 수치는 취성파괴가 발생하는 극히 작은 값이므로 시편의 연성-취성 특성의 평가를 하는 충격시험으로서 큰 의미를 들 수는 없을 것으로 판단된다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 SEM을 사용하여 시편의 파단면을 관찰하였다. Fig. 3과 같이 부분적으로 dimple이 보이는 하지만 취성파괴의 모습인 cleavage가 주로 관찰되어지므로 취성파괴의 발생을 확인할 수 있다.

3.2 경도시험

Fig. 4는 각각의 열처리 조건에 의하여 제작된 시편의 목표경도에 대한 측정경도의 결과로 목표경도의 범위를 점선으로 표시하였다. Fig. 1-b)의 STD11의 열처리공정(1)에서 열처리된 시편들은 약 HRC 60~61의 경도값을 가져 53±2의 목표 경도에서 크게 벗어났다. 이러한 결과의 원인은 잘못된 tempering 온도의 선택 때



Fig. 3. Charpy 충격시험편의 대표적인 파단면 (SEM)

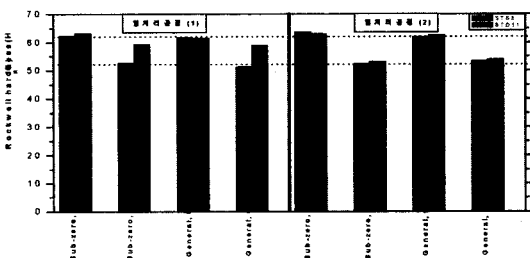


Fig. 4. 열처리 조건에 따른 경도비교

문으로 생각된다. STD11의 열처리 공정(1)은 Fig. 2-b)의 STD11의 열처리공정(2)의 열처리 조건과 같이 약 500°C 이상의 고온에서 tempering을 하여야 HRC 53±2를 얻을 수 있으나, Fig. 1의 열처리공정(1)에서는 STS3의 HRC 53±2를 얻기 위한 것과 같은 조건 (360°C, 80min)으로 tempering을 하였기 때문에 목표 경도 보다 훨씬 높은 경도값을 갖는 것으로 생각된다. 각각의 열처리공정 모두 심냉처리한 시편이 심냉처리를 하지 않은 시편보다 경도가 높음을 알 수 있는데 이것은 잔류 오스테나이트의 양과 관련되어 있다. 경도는 마르텐사이트의 양과 관련이 있으므로 심냉처리에 의하여 잔류 오스테나이트를 마르텐사이트로 변태시킨 시편이 심냉처리를 하지 않은 시편보다 마르텐사이트 양이 많아 더 높은 경도를 갖게 되는 것이다.

3.3 잔류오스테나이트의 양

Fig. 5는 각 열처리 조건에 따른 STS3와 STD11의 경도, 잔류 오스테나이트 양의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 심냉처리 후, 그리고 목표경도 53±2의 경우 잔류 오스테나이트의 양이 감소하는 경향을 보이고 있다. Fig. 5-a)의 STS3 경우 심냉처리를 한 시편과 심냉처리를 하지 않은 시편의 잔류 오스테나이트 양을 비교하여 보면 그 차이가 근소하여 심냉처리의 효과가 크

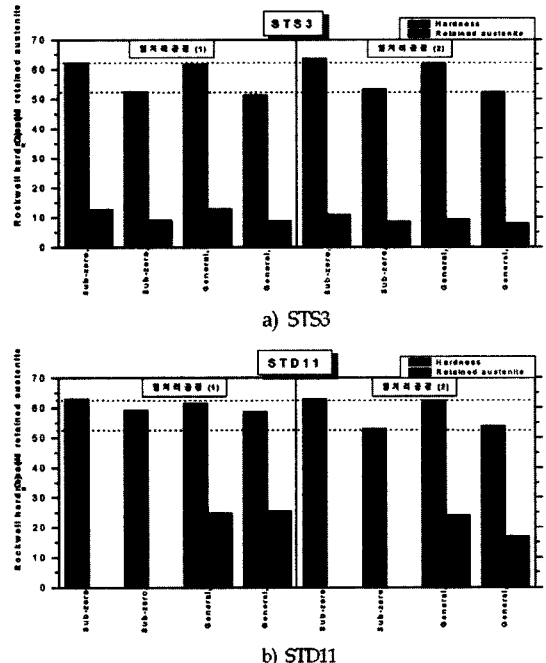


Fig. 5. 열처리 조건과 잔류오스테나이트의 양에 따른 경도값의 변화

게 나타나지 않았다. STS3에서의 일반, 심냉처리에 따른 잔류 오스테나이트 양의 차이가 거의 없는 것으로 미루어 STS3에서의 심냉처리의 효과는 미약한 것으로 생각된다.

3.4 미세조직 관찰

Fig. 6에서 볼 수 있듯이 페라이트 기지(matrix)에 구상의 탄화물 입자들이 퍼져 있는 STS3 초기 시편(as received)의 미세조직으로부터 quenching과 tempering 열처리 후 tempered martensite와 탄화물을 갖는 조직으로 변태되었다. 목표경도 62±2 시편은 침상형의 tempered martensite와 구상의 작은 탄화물인 Fe₃C가 존재한다. 목표경도 53±2 시편은 약 360~400°C의 높은 tempering 온도의 영향으로 침상형이 붕괴되었고 역시 tempered martensite와 등축 페라이트 조직으로 변태된 것으로 보인다. STD11 강은 pearlite 와 ferrite 기

지에 넓게 퍼져있는 탄화물 입자와 작은 구형의 탄화물로 구성된 초기 미세조직을 갖는다. 열처리후의 미세조직은 tempered martensite 기지에 탄화물이 분포되어 있음이 관찰되었다. 탄화물은 STD11 강종에서 1020~1030°C에서 열처리시 발생하는 (Cr, Fe)₇C₃ 탄화물로 생각되며, 목표경도 53±2 시편은 62±2 시편의 미세조직에 비하여 탄화물의 크기가 더 크다는 것을 확인할 수 있다.

이것은 tempering 온도가 더 높을수록 탄화물의 응집하여 조대화되기 때문으로 목표경도 53±2 시편에서는 작은 크기의 구상형 탄화물이 방향성을 가지며 길게 늘어선 탄화물로 된 것이다.

3.5 강종에 대한 특성

3.5.1 STS3

같은 시편들 사이에서 같은 열처리공정에서 열처리 하였음에도 큰 경도차이가 나타난 것은 같은 batch의

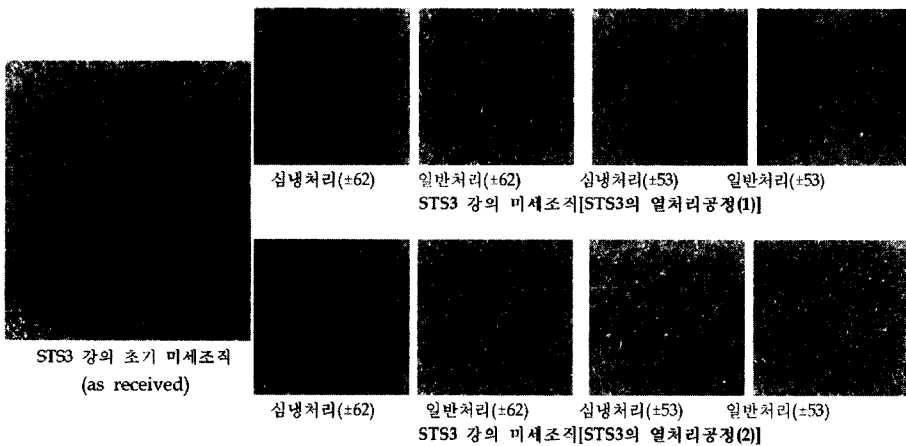


Fig. 6. STS3의 열처리공정에 따른 미세조직 (×500)

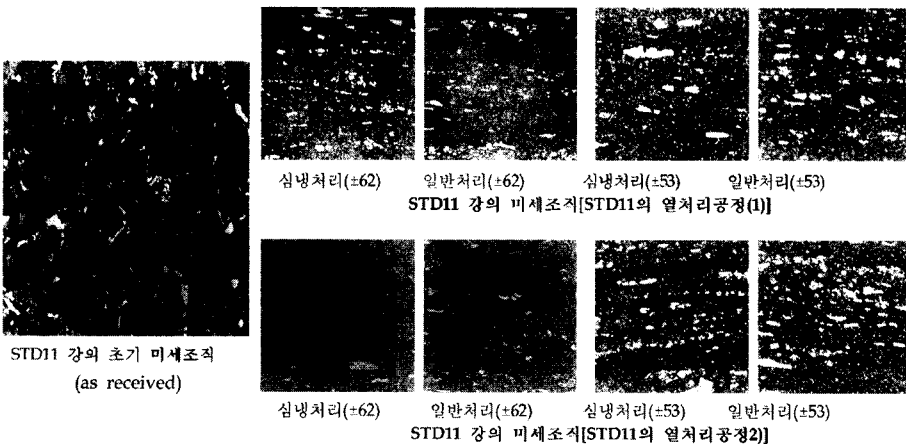


Fig. 7. STD11의 열처리공정에 따른 미세조직 (×500)

시편이라도 부위에 따라 열이력이 달라질 수 있음을 보여주고 있다. 즉, 열처리공정이 까다로워 많은 수의 시편을 동시에 열처리할 경우, 작업자가 세심하게 균일한 열이력을 갖도록 주의를 기울여 작업을 해야할 것으로 보인다. 심냉처리의 효과가 미미하여 STS3의 잔류 오스테나이트의 양과 경도, 충격흡수에너지를 STD11과 비교하였을 때 상당한 물성의 차이가 있을 것으로 판단된다.

3.5.2 STD11과 STS3

각각에 대한 충격흡수에너지의 차이는 목표경도62±2에서는 별다른 차이는 없었으나 목표경도 53±2에서의 충격흡수에너지의 차이는 앞서서도 언급했듯이 잔류 오스테나이트의 양에 따른 것이다. Table 2에 나타난 바와 같이 경도가 높을수록 수축변형이 크게 나타나 목표경도 62인 심냉처리된 시편에서는 38 μm의 수축이 일어났다. 이것은 낮은 온도에서 tempering된 목표경도 60~62 시편이 입방정(BCC)마르텐사이트로 변태되는 과정에서 ε탄화물을 석출시키면서 부피가 수축되었기 때문으로 최대 0.04%에서 0.008%까지 수축되었기 때문으로 생각된다. 공석탄소강의 tempering에 의하면 250°C라는 시효처리 온도는 잔류 오스테나이트가 베이나이트로 변태되면서 체적이 팽창되는 230~280°C의 범위에 포함되긴 하나 반응의 초기단계이므로 팽창은 거의 일어나지 않은 것으로 생각된다. 목표경도가 55이하인 시편에서는 250°C에서 장시간 시효하여도 거의 수축이나 팽창이 일어나지 않았거나 목표경도 62로 열

처리한 시편보다 훨씬 작은 크기의 변형이 나타났다. 이것은 이 시편들은 이미 370°C 이상의 높은 온도에서 tempering 되었기 때문에 250°C의 온도에서 가열하여도 큰 변형이 추가로 일어나지 않은 것으로 생각된다. 특기할 만한 사실은 심냉처리한 시편에서는 심냉처리를 하지 않은 시편보다 수축변형이 더 크게 나타났다는 것이다. 보통 심냉처리를 통하여 칫수 안정화를 고려할 수 있으나 이와 같이 심냉처리한 시편에서 더 큰 변형이 일어난 것은 기대했던 결과와 반대의 결과가 나타난 것이다. 이것은 잔류 오스테나이트의 양과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 잔류 오스테나이트는 250°C에서 가열시 베이나이트로 변태하면서 체적 팽창이 일어나는 것으로 알려져 있어 잔류 오스테나이트가 있을 경우 부피 팽창을 일으키게 된다. 따라서 Fig.4-b)에 나타난 바와 같이 심냉처리한 STD11의 잔류 오스테나이트 양이 감소하여, 심냉처리한 시편에서는 잔류 오스테나이트가 적기 때문에 팽창이 일어나지 않아 결과적으로 더욱 많은 수축이 일어난 것으로 생각된다. 그러나 실제 금형에서 심냉처리한 재료는 심냉처리하지 않은 재료보다 수축에 의한 변형이 크게 나타날 것으로는 생각되지 않는다. 왜냐하면, 실제 금형의 사용조건은 150°C보다 훨씬 낮은 온도에서 사용되고 있으며 변형의 원인은 가열에 의한 것이 아니라 타발시 금형에 가하여지는 응력에 의하여 잔류 오스테나이트가 응력유기 마르텐사이트로 변화할 때 나타나는 팽창에 의하여 일어나는 것이므로 실제 조건에서는 이 실험에서와 같

표 2. STD11강에 대한 축진 시효변형 시험결과

재료	목표 경도	열처리		경도(HRC)			시편 길이		
				열처리후	시효후	변화량	열처리후 (mm)	시효 후 (mm)	변화율 (%)
STD11	60~62	열처리 공정 1	심냉	60.5	55.8	4.7	99.302	99.286	-0.016
	53~55			54.5	50.3	4.2	99.302	99.305	0.003
	50~52			51.5	49.4	2.2	99.302	99.303	0.001
	60~62		일반	60.5	54.2	6.3	99.302	99.284	-0.013
	53~55			54.5	50.6	3.9	99.302	99.304	0.002
	50~52			51.5	47.3	4.3	99.302	99.303	0.001
STD11	60~62	열처리 공정 2	심냉	62.6	59	3.6	99.302	99.263	-0.040
	53~55			54.2	52	2.2	99.302	99.301	-0.001
	50~52			51.4	46	5.4	99.302	99.302	0
	60~62		일반	60.8	55.7	5.1	99.302	99.294	-0.008
	53~55			54.4	50.1	4.4	99.302	99.302	-0.0005
	50~52			51.4	46.8	4.6	99.302	99.303	0.001

은 높은 온도에 의한 베이나이트의 생성은 일어날 수 없기 때문이다.

4. 결 론

1) STD11의 금형재료로서의 사용은 가능하나 STD11을 금형재료로서 사용시에는 반드시 균질화처리, 혹은 구상화 풀림처리를 하는 것이 품질 안정화를 위하여 좋을 것으로 사료된다.

2) STD11에서 심냉처리 효과는 매우 크게 나타났으며 심냉처리시 잔류 오스테나이트는 거의 검출되지 않았다. 이로 보아 변형을 최소화시켜야 하는 금형에서는 심냉처리가 필수적이다.

3) STS3에서는 심냉처리 효과가 거의 나타나지 않았다.

4) 열처리 결과 목표경도인 62 ± 2 , 53 ± 2 를 얻는 작업안정성은 STD11이 STS3보다 우수한 것으로 평가되어 열처리 작업의 안정적인 품질관리를 위하여 STS3보다 STD11을 선택하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

5) STD11강의 치수 변형에 대한 안정성을 알아보기 위한 내후성 시험, 시효변형 시험 결과 목표경도가 높

을수록, 심냉처리를 시행한 경우 수축이 크게 나타났다.

참고문헌

- [1] 구분권, 원시대, 機械金型材料의 熱處理概論, 大光書林, p.162~354, 1996.
- [2] 김용석, 김형준, 박인규, 이재갑 공역, 재료과학과 공학, 3rd Ed., 회중당, p.346, 1995.
- [3] Heat Treating, Cleaning and Finishing, in Metals Handbook, Vol. 2, 8th ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, p.55~223, 1964.
- [4] 김성완 역, 금형의 열처리 및 표면경화기술, 한국 열처리협동조합, p.22, 1990.
- [5] George Krauss, Steels-Heat treatment and processing principles, ASM, p.218, 1990.
- [6] G. R. Speich, Tempered Ferrous Martensitic Structures, in Metals Handbook, Vol. 8, 8th ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, p.202, 1973.
- [7] JIS G4404, Ferrous Materials & Metallurgy 1, 1996.
- [8] E. C. Bain, H. W. Paxton, Alloying Elements in steel, 2nd ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, p.188, 1966.