

特殊鑄鋼の研究(X)

(Mn-Si 鑄鋼の機械的性質に及ぼす Cr 及び W の影響)

(昭和 25 年 9 月回本會講演大會にて講演)

三ヶ島 秀 雄*

RESEARCHES ON THE SPECIAL CAST STEEL (X)

(EFFECT OF Cr AND W ON MECHANICAL PROPERTIES
OF Mn-Si CAST STEELS)*Hideo Mikashima, Dr. Eng.*

Synopsis: Influence of Cr and W on the hardness and impact resistance of Mn-Si cast steels, containing Mn 1%, and Si 0.8%. were tested after oil quenching and tempering. The results obtained were summarized as follows:—The hardness of Mn-Si cast steel rapidly increased with about 1.6% Cr addition, but a higher Cr addition did not enhance the hardness any more.

On the contrary the impact resistance was markedly reduced with the Cr addition increase.

The first temper brittleness took place at 300°~400°C when the Cr content was small, while if Cr content was over 2%, it was very difficult to recover the impact resilience even if the tempering temperature was elevated at 600°C.

With addition of 1.5~2.0% W to Mn-Si cast steel, containing 1% Mn, and 0.6% Si, the hardness and impact resistance showed an excellent value in these steels, and the high strength and tenacity were obtained by addition of 1.5% W.

Addition of 0.8% W to Cr-Mn-Si cast steels, containing 1% Cr, 1% Mn and 0.6% Si, developed an excellent resilience when the W content is about 0.8%.

According to the author's conclusion from the present test, the Cr-Mn-Si-W cast steel is superior in strength and toughness as compared with the Mn-Si-W steels.

I. 緒 言

著者の従来に於ける研究(第1報~第9報)の對照は Cr-Mo 鑄鋼を主體とし、之に Ni, Mn, Si 等を添加した場合のマクロ組織、機械的性質、結晶粒度の變化等に就て論究を進めて來た。即ち第1報及び第2報に於ては Cr-Mo 鑄鋼に Si を添加した Cr-Mo-Si 鑄鋼に就て研究を行い、Si 約 1% 添加したものがマクロ組織も機械的性質も優れていることを報告した。又第8報では Cr-Mo 鑄鋼に及ぼす Ni の影響に就て試験し、Ni 2% が最良値を示すことを發表した。

尙第9報では Cr-Mo 鑄鋼及び Ni-Cr-Mo 鑄鋼に及ぼす Mn の影響に就て試験し、前者にありては Mn 1.0~1.4%, 後者にありては Mn 1.0% 附近が最も強靱であることを報告した。然るに我が國では Ni 及び Mo の資源に乏しいから、之等を極度に節約した鋼種の出現

が要望せられている。従て本研究に於ては Ni 及び Mo を含有しない特殊鑄鋼の強靱性に就て検討を試みた。鋼種としては Cr-Mn-Si 鑄鋼を基準とし、之に W, V, Ti, Al 等を添加してその強靱性に及ぼす影響を試験したが、本報告では先づ基礎的研究として比較的入手容易な Mn-Si 鑄鋼 (Mn 1%, Si 0.8%) を主體とし之に Cr を 0~3% 添加してその影響を検討し、續いてこの Mn-Si 鑄鋼及び Cr 1%, Mn 1%, Si 0.6% を含む Cr-Mn-Si 鑄鋼に W を 0.4~2.1% 添加してマクロ組織、結晶粒度、機械的性質等に就て試験した。その結果は既に第3報及び第7報に報告したが、本報告に於ては機械的性質のみに就て論ずることにした。

II. 實 驗 方 法

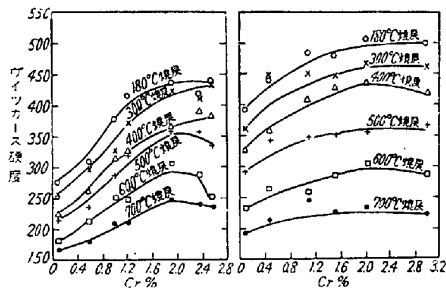
* 九州工業大學金屬工學教室, 教授, 工學博士

試料は前報告同様厚肉部 45×60mm 及び 薄肉部 17×60mm の二種の断面を有する L 型鑄塊 (重量 2.6kg) を乾燥砂型に鑄造した。この鑄塊の押湯切断面でマクロ組織を検し、本體は之を截斷の後 10mm 角、長さ 55mm、中央に深さ 2mm の丸形溝付標準衝擊試験片に仕上げ、 $Ac_3+50^\circ C$ (W の場合には $Ac_3+100^\circ C$) に 20 分間加熱油焼入し、 $180^\circ\sim 700^\circ C$ に各 1 時間焼戻して硬度及び衝擊値を測定した。

III. 實驗結果

A. Mn-Si 鑄鋼の機械的性質に及ぼす Cr の影響

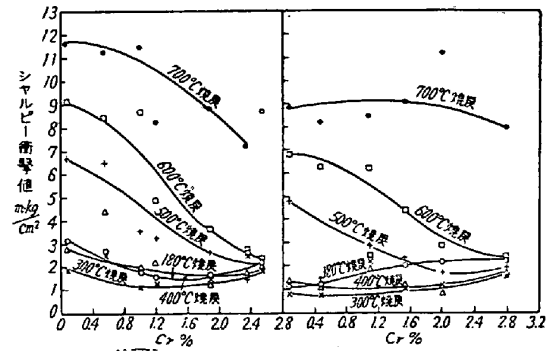
前述の第 2 報及び第 9 報の結果に依れば、適量の Si 及び Mn の添加は強靱性の向上に極めて効果的であるから、本實驗に於ては第 1 表に示す様に Mn 1%, Si 0.8% と略一定にし、Cr を 0~3% 迄種々變化して Cr の強靱性に及ぼす影響を試験した。但し第 I 類は C 0.18~0.24% の低炭素鑄鋼、第 II 類は C 0.27~0.31% の高炭素鑄鋼の成分を示す。第 1 圖 (A), (B) 及び第 2 圖 (A), (B) はこの Cr-Mn-Si 鑄鋼を焼入、焼戻した場合



(A) 第 I 類 C 0.18~0.24%
(B) 第 II 類 C 0.27~0.31%

第 1 圖

の硬度及び衝擊値に及ぼす Cr の影響を示したものであ



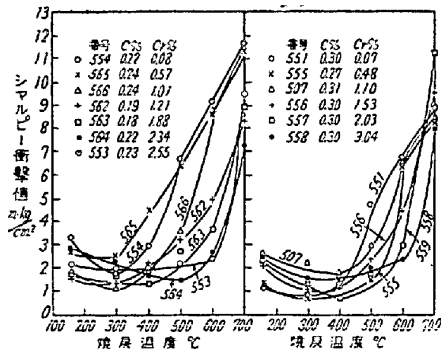
(A) 第 I 類 C 0.18~0.24%
(B) 第 II 類 C 0.27~0.31%

第 2 圖

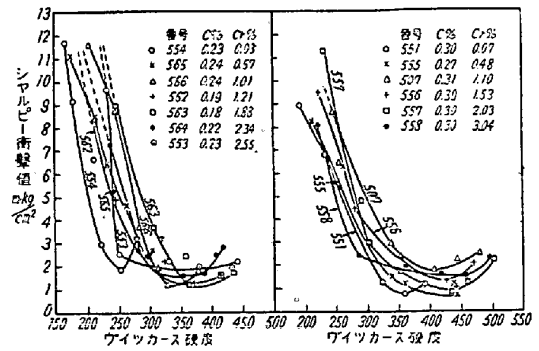
る。これによれば硬度は第 1 圖の様に (A), (B) 何れの試料に於ても、Cr 1.6% 附近迄は Cr の増加と共に急激に増加するが、Cr が 2% 以上になれば増加の傾向が緩慢となるか或は寧ろ之を減ずる様な傾向を示している。又 Cr 含量の衝擊値に及ぼす影響は第 2 圖の様に Cr の添加と共に之を減ずる傾向を示している。衝擊値は焼戻温度 $400^\circ C$ 附近迄は殆んど Cr 添加の影響が現れないが、 $500^\circ C$ 以上で焼戻すれば Cr の添加と共に急激に衝擊値を減ずる。又第 3 圖 (A), (B) は焼戻温度に依る衝擊値の變化を示したもので、Cr 含量の比較的少いものを焼戻す場合 (Cr 1.2~1.5%) には $300^\circ\sim 400^\circ C$ に焼戻脆性の谷が現れるが、更に焼戻温度を高めれば急激に衝擊値を増加する。然るに Cr 含量を 2% 以上に増加すれば焼戻抵抗が大となり、 $600^\circ C$ で焼戻しても衝擊値の恢復が極めて少く、 $700^\circ C$ で焼戻して始めて衝擊値が激増する。即ち高 Cr 鑄鋼は焼戻抵抗を増加するから $600^\circ C$ 附近で焼戻を施しても靱性に乏しく、 $700^\circ C$ 以上で焼戻を行はなければ靱性の向上は期待し難

第 1 表 Cr-Mn-Si 鑄鋼の化學成分

| 類別 | 番 號 | C% | Cr% | Mn% | Si% | P% | S% |
|------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 第 I 類 C 0.18~0.24% | 554 | 0.22 | 0.08 | 0.97 | 0.72 | 0.007 | 0.020 |
| | 565 | 0.24 | 0.57 | 1.00 | 0.81 | 0.006 | 0.011 |
| | 566 | 0.24 | 1.01 | 0.88 | 0.66 | 0.003 | 0.013 |
| | 562 | 0.19 | 1.21 | 0.92 | 0.84 | 0.003 | 0.013 |
| | 563 | 0.18 | 1.88 | 0.94 | 0.73 | 0.004 | 0.013 |
| | 564 | 0.22 | 2.34 | 0.94 | 0.82 | 0.004 | 0.013 |
| 第 II 類 C 0.27~0.31% | 553 | 0.23 | 2.55 | 0.90 | 0.76 | 0.009 | 0.016 |
| | 551 | 0.30 | 0.07 | 1.03 | 0.73 | 0.005 | 0.011 |
| | 555 | 0.27 | 0.48 | 1.06 | 0.78 | 0.006 | 0.007 |
| | 507 | 0.31 | 1.10 | 0.94 | 0.82 | 0.008 | 0.008 |
| | 556 | 0.30 | 1.53 | 1.11 | 0.76 | 0.009 | 0.011 |
| | 557 | 0.30 | 2.03 | 1.04 | 0.72 | 0.006 | 0.009 |
| 558 | 0.30 | 3.04 | 1.04 | 0.74 | 0.009 | 0.015 | |



(A) 第I類 C 0.18~0.24%
(B) 第II類 C 0.27~0.31%
第 3 圖

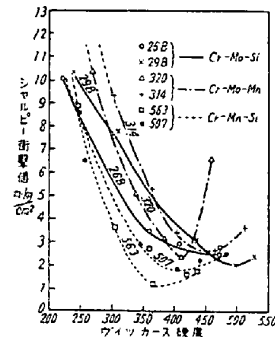


(A) 第I類 C 0.18~0.24%
(B) 第II類 C 0.27~0.31%
第 4 圖

いのである。

この様に Cr 含量の少ないものは焼戻脆性が比較的低温で現われ衝撃抗力の回復も低温で起るが、Cr 含量の高いものは焼戻抵抗が大で高温焼戻を行わなければ衝撃抗力の回復が起らない。之は顕微鏡を検すること依つてその理由が肯かれる。即ち Cr-Mn-Si 鑄鋼を 600°C で焼戻したものの組織を検鏡するに、Cr 含量の少ないものは微細なソルバイト組織を呈するが、Cr 含量の高いものは焼戻抵抗が高いため 600°C 焼戻ではツルースタイト組織を呈する。併し之も更に 700°C で焼戻すれば極めて微細なソルバイト組織となり、顕微鏡的には何れも殆んど差異のない状態となるため、靱性が著しく改善されるものと考えられる。

第4圖(A),(B)はこのCr-Mn-Si鑄鋼の硬度—衝撃値關係曲線を示したもので、C0.18~0.24%を含む第I類(A)ではCr1.8%(No.563)附近のものが強靱性が最も大であるが、C0.27~0.31%を含む第II類(B)ではCr1.1%(No.507)附近のものが最大となる。併しこのCr-Mn-Si鑄鋼は少量のMoを添加したCr-Mo-Si鑄鋼或はCr-Mo-Mn鑄鋼に比較すれば相當の遜色が認められる。第5圖はこのCr-Mn-Si鑄鋼を第2表に示す様な含Mo鑄鋼(Cr-Mo-Si, Cr-Mo-Mn鑄鋼)と比較した結果を示すものである。即ち鑄鋼に少



第 5 圖

量の Mo を添加すれば強靱性を著しく改善することが明らかである。従つて Mo と同族元素の W を添加した場合に就ても同様の効果があるものと考えられるので、Mn-Si 鑄鋼及び Cr-Mn-Si 鑄鋼に W を添加した Mn-Si-W 及び Cr-Mn-Si-W 鑄鋼に就て強靱性の影響を試験して見た。その結果は次に述べる通りである。

B. Mn-Si 及び Cr-Mn-Si 鑄鋼の機械的性質に及ぼす W の影響

第3表に示す様な成分の Mn-Si 鑄鋼 (Mn 1%, Si 0.6%) 及び Cr-Mn-Si 鑄鋼 (Cr 1%, Mn 1%, Si 0.6%) に W を 0.4~2.1 添加して W の強靱性に及ぼす影響を試験した。この様に試料の基本成分は Mn 1%, Si 0.6%

第 2 表

| 鋼 種 | 番 號 | C% | Cr% | Mo% | Mn% | Si% | P% | S% |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Cr-Mo-Si 鑄鋼 | 26 B | 0.20 | 1.07 | 0.35 | 0.68 | 1.03 | 0.008 | 0.014 |
| | 29 B | 0.28 | 1.05 | " | 0.68 | 1.01 | 0.006 | 0.013 |
| Cr-Mo-Mn 鑄鋼 | 320 | 0.27 | 1.20 | 0.25 | 1.34 | 0.27 | 0.010 | 0.020 |
| | 314 | 0.29 | 1.23 | " | 1.62 | 0.25 | 0.010 | 0.013 |
| Cr-Mn-Si 鑄鋼 | 563 | 0.18 | 1.88 | — | 0.94 | 0.73 | 0.004 | — |
| | 507 | 0.31 | 1.10 | — | 0.94 | 0.82 | 0.008 | 0.008 |

第3表 Mn-Si-W 及び Cr-Mn-Si-W 鑄鋼の化學成分

| 鋼種 | 番號 | C% | Cr% | Mn% | Si% | W% | P% | S% |
|---------------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Mn-Si-W 鑄鋼 | 403 | 0.17 | — | 0.91 | 0.51 | 1.05 | 0.008 | 0.030 |
| | 407 | 0.22 | — | 0.94 | 0.61 | 1.53 | 0.005 | 0.017 |
| | 404 | 0.18 | — | 0.87 | 0.53 | 2.09 | 0.005 | 0.023 |
| Cr-Mn-Si-W 鑄鋼 | 456 | 0.18 | 1.00 | 0.97 | 0.53 | 0.41 | 0.017 | 0.007 |
| | 452 | 0.20 | 0.91 | 1.00 | 0.57 | 0.77 | | |
| | 458 | 0.22 | 1.32 | 0.81 | 0.60 | 1.00 | | |
| | 460 | 0.22 | 0.96 | 0.86 | 0.34 | 1.57 | | |
| | 454 | 0.19 | 0.97 | 0.98 | 0.55 | 2.06 | | |

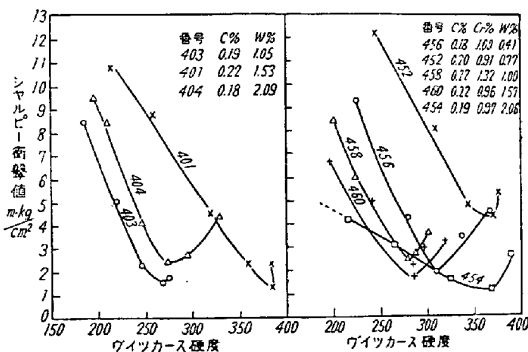
第4表 Mn-Si-W 及び Cr-Mn-Si-W 鑄鋼の焼戻に依る強靱性の變化

| 番號 | ヴィツカース硬度 | | | | | | シャルピー衝撃値 · m.kg/cm ² | | | | | |
|-----|----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 180°C | 300°C | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C | 180°C | 300°C | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C |
| 403 | 277 | 269 | 245 | 217 | 185 | | 1.77 | 1.39 | 2.35 | 5.74 | 8.64 | |
| 401 | 383 | 387 | 359 | 321 | 234 | 215 | 2.46 | 1.31 | 2.29 | 4.63 | 8.76 | 10.88 |
| 404 | 328 | 295 | 273 | 246 | 210 | | 4.40 | 2.40 | 2.56 | 4.15 | 8.36 | 9.52 |
| 456 | 368 | 338 | 310 | 280 | 207 | 224 | 4.48 | 3.90 | 1.98 | 4.43 | 5.58 | 9.42 |
| 452 | 375 | 371 | 345 | 307 | 244 | 199 | 5.39 | 4.46 | 5.12 | 8.08 | 12.18 | 12.34 |
| 458 | 302 | 276 | 288 | 278 | 225 | 203 | 3.67 | 2.51 | 2.66 | 4.74 | 6.10 | 8.58 |
| 460 | 320 | 286 | 288 | 294 | 240 | 198 | 3.24 | 1.73 | 2.24 | 3.38 | 5.08 | 6.70 |
| 454 | 387 | 367 | 326 | 308 | 268 | 215 | 2.78 | 1.16 | 1.78 | 2.26 | 3.09 | 4.25 |

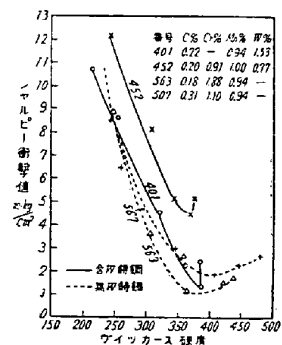
を標準とし、之に Cr を 1% 添加したものと、添加しないものとの 2 種類を作り、W の効果を試験すると共に Cr の有用性をも検討して見た。試料は之を Ac₃+100°C に 20 分間加熱油焼入後 180°~700°C に 1 時間焼戻して硬度及び衝撃値を試験した。その結果は第 4 表に示す通りである。この結果に依れば Cr を含有しない Mn-Si-W 鑄鋼に於ては W 1.5~2.0% のものが成績が良好であるが、1%Cr を添加した Cr-Mn-Si-W 鑄鋼に於ては W 0.8% 附近のものが最も優れている。第 6 圖 (A), (B) は衝撃値を縦軸に硬度を横軸に取つて硬度—衝撃値関係曲線を示したものである。之等の結果に依れば Mn-Si-W 鑄鋼 (A) では W 1.5%, Cr-Mn-Si-W 鑄鋼 (B) では W 0.8 附近のものが強靱性が最も大であ

る。而して Cr を含有しない Mn-Si-W 鑄鋼 (A) と Cr 1% を添加した Cr-Mn-Si-W 鑄鋼 (B) とを比較すれば Cr を添加した (B) 類が強靱性は著しく大である。

第 7 圖は W を添加した上記の Mn-Si-W 鑄鋼及び Cr-Mn-Si-W 鑄鋼と W を添加しない Cr-Mn-Si 鑄鋼 (本報告 A 参照) との強靱性を比較したもので、Cr を含有しない Mn-Si 鑄鋼に W を 1.53% 添加した No.401 は W を添加しない Cr-Mn-Si 鑄鋼の No.507 と殆んど同等の成績を示しているが、W 0.77% を含む Mn-Si-W 鑄鋼に Cr を 0.90% 添加した No.452 は著しく強靱性が大である。即ち、Cr-Mn-Si 鑄鋼に適量の W を添加すればその強靱性を増大することが可能であるから W は Mo の代用として相當の効果を發揮し得るものと



(A) Mn-Si-W 鑄鋼 (B) Cr-Mn-Si-W 鑄鋼
第 6 圖



第 7 圖

考えられる。抑々 Mo では 0.25~0.40% の添加で充分その目的を達し得るが、W に於ては 0.8~1.5% 程度を添加しなければ含 Mo 鑄鋼に匹敵する強靱性を發揮させることが出来ない。

IV. 實驗結果の考察

Cr を鋼に添加すれば Cr 單獨の場合にはマクロ組織を小にするが、Ni と共存する場合には樹品の發達を助長すると云われている¹⁾。又 Cr は鋼の變態速度を遅延せしめる作用が著しく Cr 1% 以上を添加すると著しく焼が入り易くなり、Cr 3% 以上になると所謂自硬鋼と稱し空中冷却しても硬化する様になる。又 Cr は鋼の靱性を低下すると云われている²⁾が、Kinzel-Miller³⁾ は Mn 1~2% を含む Mn 鋼に Cr を添加すると延性を改善すると報じている。

著者の研究結果によれば無 Ni、無 Mo の Cr-Mn-Si 鑄鋼は前述の様に必ずしも良好な成績を示さなかつた。従て著者は Mn-Si 及び Cr-Mn-Si 鑄鋼に Mo の代りに W を使用して見た。その結果含 W 鑄鋼は無 W 鑄鋼に比較して優秀な性質を示すことを知つた。元來 Mo と W は同族に屬する金屬であるから、Mo の代りに W を利用する事は當然豫想される處である。例えば Ni-Cr 鋼に Mo、W を添加すれば調質後の機械的性質は良好となり、又鋼の焼戻に對する抵抗が著しく増大する。尙 W は Mo 同様焼戻脆性に對する敏感性を減少せしめる利點も有している。併し W より Mo が効果的で Mo の 3 倍量の W を使用して始めて同様の性質が得られる状態である。

V. 結 言

以上の結果を要約すれば大體次の通りである。

(1) Cr-Mn-Si 鑄鋼では硬度は Cr 1.6% 附近迄は Cr の増加と共に急激に増加するが、それ以上 Cr が多くなれば増加の傾向が緩慢となる。又衝撃値は Cr の添加と共に減少する。Cr 含量の少いものは 300~400°C で第一焼戻脆性が現れるが、Cr 含量が 2% 以上になれば 600°C で焼戻しても衝撃値の恢復が極めて少い。この Mn-Si 鑄鋼に Cr を添加したものは Cr-Mo-Si 鑄鋼或は Cr-Mo-Mn 鑄鋼に比較すれば強靱性が劣る。

(2) Mn-Si-W 鑄鋼では W 1.5~2% のものが硬度、衝撃値共に優れている。Mn-Si 鑄鋼に W 1.5% を添加したものが最も強靱性が大である。之は Cr 1%, Mn 1%, Si 0.6% を含む Cr-Mn-Si 鑄鋼とほぼ同等の強靱性を示すが、これに Cr を約 1% 添加した Cr-Mn-Si-W 鑄鋼と比較すれば強靱性が劣る。

(3) Cr-Mn-Si-W 鑄鋼では W 0.8% 附近のものが硬度、衝撃値共に優れて居り、Cr を含有しない Mn-Si-W 鑄鋼 (2) と比較すれば強靱性が著しく大である。

結局 Cr-Mn-Si 鑄鋼それ自體では所期の強靱性を發揮せしめることが不可能で、之に少量の Mo 又は相當量の W を添加して初めて強靱性の向上が期待される。

(昭和 26 年 4 月寄稿)

文 献

- 1) D. J. Martin, J. L. Martin: Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng., 135 (1939), 245.
- 2) K. H. Müller, E. Piwowarsky: Arch. Eisenhüttenwes., 5 (1932), 483.
- 3) A. B. Kinzel, W. B. Miller: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., 18 (1930), 55.