

微量フェロチタン処理による特殊鋼の靱性改善に関する研究 (II)*

斎藤 利生**

STUDY ON THE TOUGHNESS IMPROVEMENT BY THE SMALL AMOUNT OF FERRO-TITANIUM ADDITION IN STRUCTURAL STEEL (II)

Toshio Saito

Synopsis: Refer to the Report (I) p. 490 June (1956) issue of Tetsu-to-Hagane.

(6月号495頁よりつづく)

IV. 実験第2: 実用鋼塊における実験

前報に報告したごとく小鋼塊に対する基礎的実験においては概ね良好な結果が得られたので、更に進めて2, 3の実用鋼塊について微量 Ferro-Ti 処理の効果を確認することとした。実験はまず1.5t 鋼塊, 2 charge について実験した後、更に大型の約5tの鋼塊を選び実用化への第1歩をかねて試験を行つた。

Ferro-Ti 処理の要領は実験第1と同じく Ti 投入量で0.1%として、鋼塊上注時に砕いた Ferro-Ti を鋳型内に添加した。この添加法で Ti の偏析が起らないかという疑問が一応持たれるので、鋼塊縦断面の各位置から分析試料を採つて Ti の偏析を調べたが、測定の結果では Ti は均一に入っており、またもし Ti の偏析があれば Ti と S との関係から Sulphur Print に濃淡のムラが現われる筈であるが、鋼塊の Sulphur Print はすべて均一であつてかかる添加方法によつて Ti の偏析の懸念は全く不要であることが判つた。

(1) 1.5t 鋼塊における実験

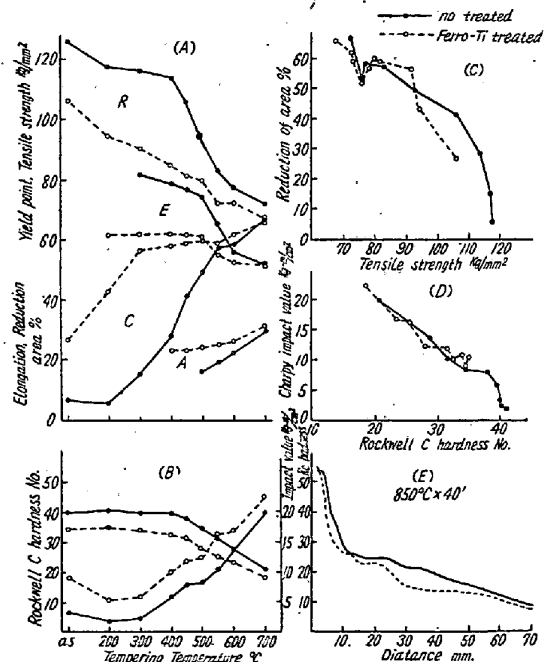
1.5t 鋼塊の実験としてはC量約0.3%の炭素鋼車軸材ならびに Ni-Cr-Mo 構造用鋼を試験材として行つた。炭素鋼を選んだのは本研究の対象を特殊鋼としているので比較のため行つたもので、Ni-Cr-Mo 鋼は前報の小鋼塊実験において最もよい成績を示したからである。

造塊は1.5t 鋳型2ヶをならべて、懸堰により2ヶ同時に上注して、その内何れかの鋳型中に鋳込時 Ferro-Ti の細片を投入した。投入時期は湯面が鋳型のほぼ半ば程度に達した頃全量を投入した。爾後両鋼塊は徐冷したのち縦断して断面の Sulphur Print を採取し、その後鋼塊の底部から試料を採り、鍛造して Jominy, 抗張衝撃等の各試験片を製作して Ferro-Ti 処理の影響を

比較した。

i) 0.3% 炭素鋼車軸材

Fig. 4 は0.3% 炭素鋼の各試験結果を示す。同図(A), (B) は試験片を850°C 油焼入後、各温度に1h 焼戻油冷して、抗張、硬度、衝撃の各値を測定した結果である。本鋼塊では微量 Ferro-Ti 処理による Ti の歩留りが割に高く、残留 Ti 量0.06%となつているためか、抗張力の低下は著しく、またこれに相応して伸、絞は著しく高くなつている。硬度も全般的に低くなつており、衝撃値は著しく高くなつている。この結果から抗張力に対する絞の変化および硬度に対する衝撃値の変化を



Chemical composition: C 0.32, Si 0.33, Mn 0.37, P 0.029, S 0.025, (Ti) 0.06

Fig. 4. Experimental results with 0.3% carbon steel.

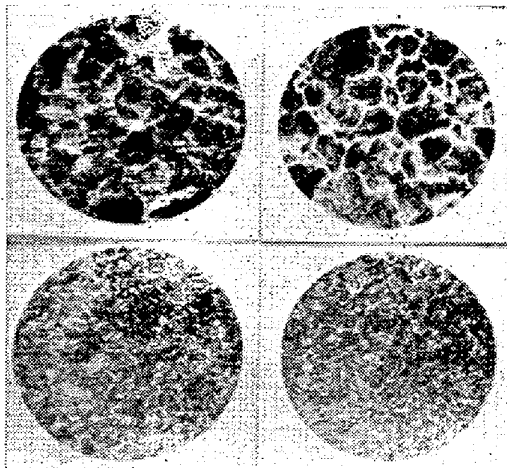
* 昭和30年9月本会講演大会にて発表

** 防衛庁技術研究所

調べると (C), (D) のごとくなる。両曲線は多少のずれはあるがほとんど重なっており、本材料では微量 Ferro-Ti 処理による靱性増加の効果はみられない。

Jominy 試験の結果は (E) のごとくで、Ferro-Ti 処理鋼が焼入性を相当低下することがうかがえる。

本材の顕微鏡写真は Photo 2 に示した。滲炭法による結晶粒度は Ferro-Ti 処理により僅か微細化しているのが認められ、また焼戻組織では両者とも同様の焼戻 Sorbite 組織を呈しているが、Ferro-Ti 処理により Ferrite がやや多くなっている傾向が見られる。



No treated Ferro-Ti treated

Upper: comparison of austenite grain size.
Lower: comparison of quenched and tempered structure.

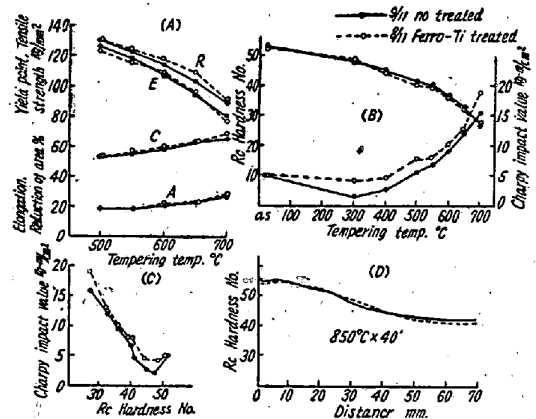
Photo. 2. Micro structure of carbon steel. ×200 (2/5)

以上の 0.3% 炭素鋼車軸材に対する微量 Ferro-Ti 処理の結果は、材力および Jominy 試験においては良好とはいえない。焼入性は低下し、強度も低くなるがそれに相当して衝撃値は高くなっている。すなわち靱性においてはほぼ同等でありまた結晶粒度の差も極めて僅かに過ぎないから、これは寧ろ残留 Ti 量が鋼中の C と結合して安定な TiC を形成したものが多く、結果として Fe₃C を減少せしめたためと考えるとよいであろう。いずれにしても炭素鋼に対しては微量 Ferro-Ti 処理による靱性増加の効果は期待できないことが認められたわけである。

ii) Ni-Cr-Mo 構造用鋼

Fig. 5 に Ni-Cr-Mo 構造用鋼の各種試験結果を示した。(A), (B) は試験片を 850°C から油焼入後各温度に焼戻した場合の焼戻温度と機械的性質との関係であるが、抗張試験において伸、絞はほぼ同等であつてしかも Ferro-Ti 処理を行つたものは 600~650°C の焼戻における抗張力がすぐれていることが注目される。硬度

の測定結果ではほぼ同様であるが衝撃値は Ferro-Ti 処理により著しく上廻つており、とくに 300°C における焼戻脆性は大幅に軽減されているが、550°C に炭化物の析出による脆性が現われている。(B) の結果から硬度に対する衝撃値の増減を調べると (C) のごとくで、微量の Ferro-Ti 処理によつて明瞭に靱性を高める効果が認められる。

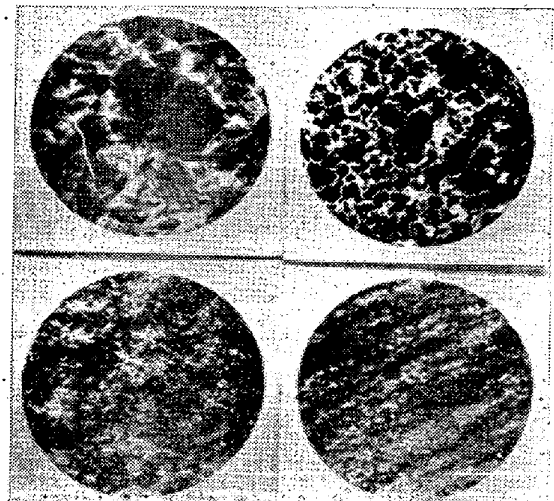


Chemical composition C Si Mn P S Ni Cr Mo (Ti) 0.32 0.28 0.53 0.022 0.024 1.53 0.77 0.34 (0.04)

Fig. 5. Experimental results with Ni-Cr-Mo steel.

Jominy 試験の結果は (D) のごとくで、前例の炭素鋼の場合のごとき焼入性の低下はみられず、寧ろ僅かながら焼入性を増加するとさえみれる得る。

両者の顕微鏡組織の比較は Photo. 3 に示した。結晶粒度は Ferro-Ti 処理により著しく微細化されて相当の差異を示しており、また焼戻組織も両者共同 Sor-



No treated Ferro-Ti treated

Upper: comparison of austenite grain size
Lower: comparison of quenched and tempered structure

Photo. 3. Microstructure of Ni-Cr-Mo structural steel. ×200 (2/5)

bite 組織であるが Ferro-Ti 処理鋼は組織極めて緻密であつて、顕微鏡組織の上からも靱性の高いことをうかがうことができる。

iii) 概括

以上の 1.5t 鋼塊 2 charge に対する実験では炭素鋼と Ni-Cr-Mo 鋼とでかなりの差を示している。すなわち 0.1% の僅かの Ti 投入でさえも、炭素鋼においては焼入性を減じ、抗張力を低下するため靱性においては変化ないとはいえ、利用するだけの値は認められない。これに対して Ni-Cr-Mo 鋼では、結晶粒度は著しく微細化され、靱性は向上し、しかもこれに伴うと考えられる焼入性の低下、抗張力の減少はみられない。すなわちこれらの現象が炭素鋼では Ti と結合し易い C のみに頼っているのに対し、特殊鋼では主として Ti と関係のない合金元素に依存しているためと考へてよいであろう。したがつて微量 Ferro-Ti 処理の利用は首題に掲げたごとく特殊鋼を対称とするのが妥当であると思われる。

(2) 大型鋼塊に対する試験

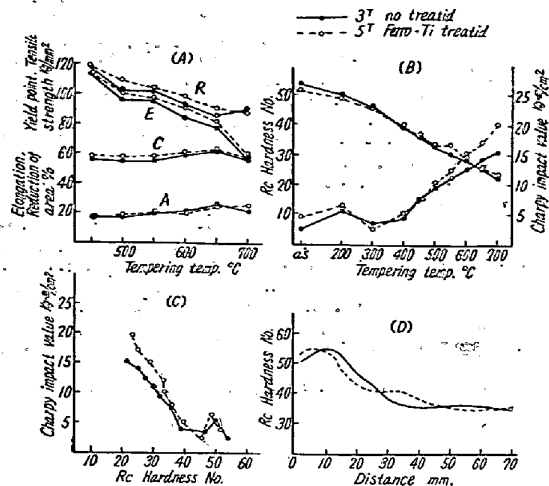
前述 1.5t 鋼塊の実験においても小鋼塊の場合と同様に Ni-Cr-Mo 鋼において頗る好成績が得られたので、ついで実用化への第 1 歩をかねてさらに大型の鋼塊に対する試験を行うため、Ni 鋼ピニオンリムならびに Ni-Cr-Mo 鋼翼車とに微量 Ferro-Ti 処理を行つてみた。Ferro-Ti 処理法は 1.5t 鋼塊の場合と同様に投入量で 0.1% Ti とし上注鋳込時の鋳型内に投入した。すなわち数本の鋼塊をとる際に同じ条件で鋳込まれる 2 本の鋼塊を選んで、大きい方の鋼塊に Ferro-Ti 処理を行つて、小さい方の無処理鋼塊と比較することにした。

Ferro-Ti 処理後は製品の工程にしたがつて作業する途中で、鋼塊の底部から試料を採取して鍛造ののち各種試験片を作製して試験に供した。

i) Ni 鋼ピニオンリム

Ni 鋼ピニオンリムの各試験結果は Fig. 6 に示した。抗張試験の結果は (A) のごとく Ferro-Ti 処理を行つた 5t 鋼塊が抗張力、降伏点、絞において無処理の 3t 鋼塊を上廻る成績を示している。硬度および衝撃値の測定結果は (B) のごとく、硬度は焼入温度 400°C 以上で Ferro-Ti 処理鋼が上廻っているが 550°C に明瞭な 2 次硬度が現われている。衝撃値では 300°C における脆性は Ferro-Ti 処理鋼がやや大きい、全般的に高い衝撃値を示しており、(C) の硬度と衝撃値との関係においては明瞭に Ferro-Ti 処理鋼塊が靱性においてすぐれていることがうかがえる。

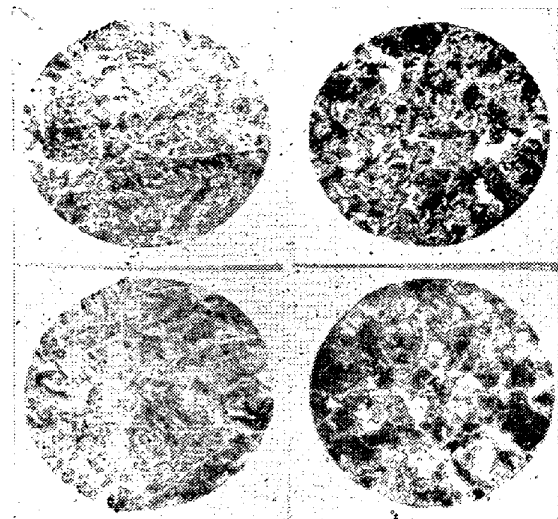
Jominy 試験の結果は (D) のごとく Ferro-Ti 処



Chemical composition

	C	Si	Mn	P	S	Ni	(Ti)
0.34	0.29	0.64	0.029	0.022	3.57	(0.04)	

Fig. 6. Experimental results of Ni pinion rim steel.



No treated Ferro-Ti treated
Upper: Ni pinion rim steel
Lower: Ni-Cr-Mo rotor steel

Photo. 4. Comparison of austenite grain size in actual ingots. ×200 (2/5)

理鋼塊が僅かに焼入性を低下している様子が認められる。また両者の結晶粒度は Photo. 4 に示したが、微量の Ferro-Ti 処理により粒度は著しく微細化されている。

Table 3 は両鋼塊から仕上がった製品の検査成績を比較したものである。この結果においてはとくに Ferro-Ti 処理を行つたものがよいという結果は現われていないが、鋼塊の大きさの差異による mass effect を考慮すれば、1 段小さい鋼塊の製品とほぼ同等の成績が得られているということは、すなわち微量 Ferro-Ti 処理が有効であると考えてよいのではあるまいか。

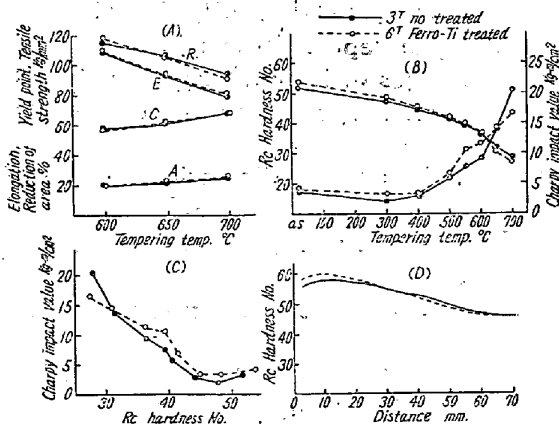
Table 3. Inspection data of Ni pinion-rim steel.

Type	Heat Treatment	Sampling position	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	A %	C %	F	Impact value (kg/cm ²)	Bend
1/3 I			54.000	90.000	16.0	35.0	-	25	180°
5 ¹ t Ingot Ferro-Ti treated	840 oil 650 oil	T	74.330	106.330	21.4	39.2	F ^c	43.7	180°
		B	64.000	102.740	24.5	42.5	C ^b	47.8	180°
2/3 I	850 oil 650 oil	T	93.130	103.070	22.8	51.0	C ^b	44.3	180°
		B	99.930	111.160	22.2	56.7	F ^b	51.7	180°

ii) Ni-Cr-Mo 鋼翼車

つぎに Ni-Cr-Mo 鋼翼車においては 3 t 鋼塊と 6 t 鋼塊とを選び、6 t 鋼塊の方に 0.1% Ti を投入して比較した。

前と同様に試料を作製して各種試験を行つた結果は、Fig. 7 に示した。(A) の抗張試験の結果は両者ほとんど同じ結果を示しているが、(B) の硬度および衝撃値の測定結果では、焼戻温度 650°C 以下では明瞭に Ferro-Ti 処理鋼塊が硬度、衝撃値ともに無処理鋼塊より高くなつており、したがつて (C) の硬度と衝撃値との関係においても前述の Ni 鋼と同様に Ferro-Ti 処理が靱性の向上に有効であることが認められる。



Chemical composition C Si Mn P S Ni Cr Mo (Ti)
0.35 0.25 0.48 0.026 0.032 1.55 0.87 0.38 (0.04)

Fig. 7. Experimental results with Ni-Cr-Mo rotor steel.

Jominy 試験の結果は (D) のごとく両鋼塊ともほとんど大差のない成績を示しており、また結晶粒度は Photo 4 に示したごとく Ferro-Ti 処理により著しく微細な粒度となつてゐることが判る。

両鋼塊から仕上がつた製品翼車の検査成績は Table 4 のごとくで、前例と同様に Ferro-Ti 処理がとくにすぐれているという結果はみられなかつたが、6 t 鋼塊と 3 t 鋼塊とにおいてほぼ同等の合格成績が得られている。

iii) 概 括

Table 4. Inspection data with Ni-Cr-Mo rotor steel.

Type	Heat Treatment	Sampling direction	E (kg/cm ²)	R (kg/cm ²)	A %	C %	F	Impact value (kg/cm ²)	Bend
1/4			34.9	47.6	16.0	40.0	-	35.0	180°
1/4 6 ¹ t Ingot	850 oil 670 oil	Tangential	37.0	48.5	18.7	40.3	F ^b	38.0	180°
		Radial	37.5	48.7	24.8	56.8	F ^b	42.9	180°
Ferro-Ti treated	840 oil 670 oil	Tangential	39.8	50.5	16.9	40.8	F ^c	37.8	180°
		Radial	39.4	50.3	22.1	50.0	C ^b	38.2	180°
3/4 3 ¹ t Ingot	840 oil 670 oil	Tangential	39.6	51.5	21.0	47.2	F ^c	37.9	180°
		Radial	38.8	50.9	20.8	49.2	F ^b	46.9	180°

製品に應用した例は以上の 2 例に過ぎないがこの 2 例において共通していい得ることは、微量の Ferro-Ti 処理によつて実験室的熱処理および試験においては靱性を増加する効果が著しいこと、焼入性はほぼ同等であること、ならびに結晶粒度が微細化されること等があげられる。

試験片による実験室的試験においては両鋼種ともに好結果が現われているのに、大型の製品に対してはさほど明瞭な結果が現われていないのは、主として、mass effect によるものではないかと思われる。すなわちさらに多数の例によつて統計的結果を求めれば、恐らく試験片による結果と同様の好成績が得られるものと考えられる。

実験第 1 において微量 Ferro-Ti 処理がとくに有効と考えられる鋼種は、Ni, Mn 等の元素を含む鋼種であることを推論したが、実用鋼塊における実験においても Ni 鋼および実験第 1 においてよい成績を示した Ni-Cr-Mo 鋼が同じようによい結果を示していることは、前述の推論の正しいことを立証したものと見えるであろう。

V. 結 言

鋼中に添加した Ti が S と特別の関係をもつることから、従来 S 害として考えられている特殊鋼の靱性低下の対策として微量 Ferro-Ti 処理の利用を考え、小鋼塊による各種構造用特殊鋼ならびに実用鋼塊における微量 Ferro-Ti 処量の影響を調べた結果つぎのことが明らかとなつた。

1. 特殊鋼の靱性増加元素として Ti は Mo, V 等より微量にしてこれに匹敵する効果がある。とくに Mn による脆性の軽減には最も有効と考えられる。
2. 鋼中に Cr, Mo, V 等の炭化物生成元素を多く含む鋼種に対しては効果は少なく、Ni, Mn 等の Ferrite に固溶し易い元素と共存した場合とくに効果的である。
3. 微量 Ferro-Ti 処理による鋼材の結晶粒微細化作用は著しい。

4. 炭素鋼に対しては本処理はほとんど効果は認められない。

5. Ni-Cr-Mo 鋼において本処理はとくに有効と考えられる。

本研究は著者が株式会社日本製鋼所室蘭製作所研究部在職中に行つたもので、御指導を頂いた常務取締役小林佐三郎博士、検査部長阿部富美男氏ならびに北海道大学萩原巖博士に厚く御礼申上げる次第である。また本研究の発表を許可された株式会社日本製鋼所に感謝するとともに、実験に熱心に協力された研究部松尾治男君その他

の各位に厚く御礼申上げる。(昭和 31 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) 萩原: 鉄と鋼, 28 年, 11 号, p. 1209
- 2) W. P. Fishel W. P. Roe & J. F. Ellis: J. of Metals, Aug, 1951 p. 674
- 3) 斎藤: 鉄と鋼, 39 年, 1 号, p. 29
- 4) W. W. Austin: Blast Furnace & Steel Plant, March 1952 p. 330
- 5) Priestly W. J.: Iron Age. 1921, 108 p. 1658
- 6) 山中, 大宮: 鉄と鋼, 41 年, 3 号, p. 302

軸受鋼の時効変形に関する研究 (I)*

服 部 喬**・浅見 莞爾**

THE DIMENSIONAL STABILITY OF BALL BEARING STEEL (I)

Takashi Hattori and Kanji Asami

Synopsis:

The dimensional stability of ball bearing steel was discussed from the different points of view by M. Cohen. (Trans. A.S.M., 1945, vol. 34, p. 216). Apart from his studies, the authors studied on the influence of the ordinary industrial oil quenching and tempering, including no sub-zero treatment, on the dimensional stability of ball bearing steel. Specially, they investigated the effects of the difference of cooling method, the temperature of quenching oil, the time of tempering, the secondary tempering (after the grinding) and the repeated quench.

The effects, afforded by these treatments to dimensional changes which occurred in aging at room temperature, were mentioned on the basis of austenite-martensite reaction and dislocation theory.

(a) If the specimen is arrested at the higher temperature, the greater dimensional changes will occur in aging at room temperature.

(b) The most parts of dimensional changes which may occur in aging at room temperature, reveal in the period of one and a half days after the quench.

(c) Rapid cooling in the cold water to the room temperature directly after the arrested quench gives less dimensional changes.

(d) The tempering directly after the arrested quench, which is prevailed in the industrial heat treatments of steel in order to avoid the cracks and distortions, gives the greatest dimensional changes in aging at room temperature.

(e) High temperature of the quenching oil will afford no good effect to the dimensional stability, but in the case of arrested quench, it will not be influenced by the temperature of quenching oil.

(f) The increase of tempering time and the secondary tempering will affect favourably the dimensional stability.

(g) Repeated quench, involving the increase of the content of dissolved carbide in austenitic matrix during the repeated heating, increases the retained austenite. Nevertheless, the result that the dimensional changes have occurred unexpectedly less in aging at room temperature is noteworthy in respect of the behavior of retained austenite.

I. 緒 言

軸受鋼の時効変形については M. Cohen⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾ の種々の角度からの研究があるが、まずサブ・ゼロ処理を行わない通常の油焼入後焼戻の操作が時効変形におよぼ

す影響、とくに焼入における冷却方法の影響についてき

* 昭和 29 年 4 月日本金属学会講演大会において発表

** 日本精工株式会社