

Si 3.5-7% を含有する強じんな Fe-Si 合金(銑)の開発*

太 田 鶏 一**

Development of Siteel (High-strength Fe-Si alloy containing 3.5-7% Si)

Keiichi Ota

Synopsis:

"Siteel", denominated by the author in 1959²⁾, is defined as follows: Siteel is a high strength Fe-Si alloy containing less than 0.025% C, more than 2.3% Si, some amount of Mn, Ni, Cr, Mo, etc., and the balance essentially Fe, in which the total amount of the Ni and Mn is varied so as to approach two times of the Si content to lower the Ac₃ transformation point below 750° (1400°F), thereby preventing the alloy from grain-growth which usually lowers the toughness.

This new alloy can be easily cast, rolled and cold-drawn and has many valuable characteristics which are superior to those of alloy steels such as NiCrMo structural steel SNCM 1 (AISI 4337) and 18-8 stainless steel SUS 32, (AISI 316). Consequently siteel can be beneficially used for various applications requiring high strength and toughness, and at the same time excellent corrosion and erosion resistances.

Siteel was produced on trial in some steel making plants, Kubota Iron Works and Japan Steel Works, with remarkable success.

In this paper, the general characteristics and some typical applications of four kinds of siteel are described, and new standards of 18-8 stainless steels containing 3-4% Si are proposed for realization of the industrial production of these high silicon alloys.

(Received Aug. 22, 1969)

1. 緒 言

Fe-Si 状態図の γ ループの極限である 2.3% 以上の Si を利用して強じんな高珪素 Fe-Si 合金を創りだそうという意図のもとに筆者が研究を始めたのは、第二次大戦も中期にはいりそろそろ Ni の貯蔵が底をつきいわゆる代用鋼の開発が緊急な研究課題として登場してきた昭和15年のことである。Si が 2.3% をこすと Fe-Si 合金のじん性が急に失なわれるのは結晶粒が異常に粗大化するため本質的にもろくなつたのではない。したがって γ ループを拡大し熱処理によつて結晶粒の微細化をはかれば 2.3% 以上の Si を有効元素として利用しうるはずで少なくとも 5% くらいまでは豊富なじん性をもつ Fe-Si 合金が存在するであろうというのが発想の源であった。

γ ループを拡大するには A₃ 変態点を下げることが必要でそれには C がもつとも効果があるが、C を合金すると微量でも著しくじん性を損うことがわかつていたので C の混入する恐れのない Ni をつかつて実験を始めた。結果は予想どおりで、Si 量の約 2 倍の Ni を添加して A₃ 変態点を 750°C 以下に下げることによつて 2.3% 以上の Si を含有する強じんな Fe-Si 合金がえられることがわかつた。そこで鉄と鋼の第 28 年、第 9 号(昭和17

年)に概要を報告し、強じん高珪素鋼の誕生の章で「この強じん高珪素鋼は溶解において研究を要する点があるが、質量効果をもたないこと、析出硬化によつて変形なしに H_v 550 以上のかたさがえられることなど、従来の C の働きに依存している強じん鋼のまねのできない貴重な特性があるから、完成の暁には相当広い範囲の用途を開拓しうるものと考え」述べた。

当時筆者は日本製鋼所の室蘭技術研究所に勤務していたので上司ならびに軍の了解をえて 10 t の小型平炉と 500 kg の高周波炉をつかつて、戦軍用防楯板、機関砲々身、ジュラルミン圧延用ロールなどの試作を行なつた。1.5% 以上の Ni の使用が禁止されていたので不足分を Mn で補つたが、フェロマンガンをはじめとするフェロアロイの C 量が高かつたのと、主原料につかつた washed metal に 0.08% の C を含んでいたので C 量を指定の 0.05% 以下に下げることができず、基礎研究ほどのすぐれた成績がえられず失敗におつた。

上記の報告で、溶解において研究を要する点があるがとことわつたのはこの点を指したもので、真空溶解法が実用化されるまでは成功のみこみはないと断念し研究を

* 昭和43年3月本会講演大会にて発表
昭和44年8月22日受付

** 関西大学工学部 工博

中断していた。昭和 25 年に関西大学で教鞭をとるようになったのを機会に、学生の卒業研究のテーマに採用し基礎研究を再開した。今度は Ni がふんだんにつかえるので Si の利用可能の上限を求めることから着手し 8% までは利用しうることをたしかめたが、それと同時に鍛造性を改善する目的で増量した Cr が鍛造性ばかりでなく強じん性、高温強度、耐食性に偉効があることがわかり、ますます実用合金としての自信を深めた。1959年に関西大学で英文の論文集 Technical Reports を発刊することになったので Denomination of Siteel の題のもとにこの高珪素強じん Fe-Si 合金を siteel (銑) と命名する旨を発表し¹⁾内外のおもな大学、研究所 154 箇所へ配った。

おりからわが国においても、真空溶解法、真空鑄造法、LD 転炉法の実用化が進み、金属 Si、金属 Mn、無炭素フェロクロムの入手も容易になり、C を 0.03% 以下におさえることは難事ではなくなった。時いたれりと新技術開発事業団へ開発課題として申請したのが認められ研究調査費の支給をえたので、待望久しい本格的試作による開発研究を行ない、おおかた所期の成果をあげることができた。

本報告は 3 回にわたって本会の講演大会で発表した「高珪素強じん Fe-Si 合金(銑)の開発に関する研究」を集約したもので、用途別に開発した 4 種類の高珪素強じん Fe-Si 合金(銑)の標準成分、特性、代表的な適用例を概説し、この種の高珪素合金を実用合金として開発し生産するために Si 3~4% を含有するステンレス鋼の JIS 規格の制定を切望することを述べる。

2. 銑の種類と一般的性質

高珪素強じん Fe-Si 合金(以下銑と称す)は構造用、耐食用、時効用、耐熱用の四種類を開発した。それらの標

準成分は Table 1 に示すとおりで、成分の決定にあたっては強じん性の確保を第一条件とし、次いでそれぞれの用途に適する特性を賦与することを考慮した。

強じん性を確保するためには C 量を 0.05% 以下に制限すると同時に、Si 量の約 2 倍に相当する (Ni+Mn) と約 3 倍の Cr を添加して A_3 変態点を 750°C 以下に下げ結晶粒の微細化をはかった。次いでそれぞれの用途に適する特性を賦与する目的で、構造用には Mo と V、耐食用には Cu を添加し、時効用と耐熱用には Cr を増量すると同時に W を添加した。なお成分の基幹となる Si 量は、強じん性の外に生産に重大な関係のある鑄造性、鍛造性、切削性、溶接性などを考慮してきめた。

Table 1 の標準成分からわかるように、これら一連の銑は溶態化の状態ではフェライトとオーステナイトが共存する二相組織で、両者の比は 20~60% にわたって変化している。オーステナイトのかたさは Hv 200-250 であまり変わらないが、フェライトは合金する元素の種類と量によつて Hv 250-500 の広い範囲に変わるから銑のかたさは Hv 250-380 にわたって変化する。ただしかたさは成分によつて一義的にきまり、強じん鋼のように焼戻温度によつて変えることはできない。したがつて Hv 400 以上のかたさを要する場合は冷間加工によるか時効硬化を利用する以外に方法がない。

後述するように、銑の機械的性質(以下材力と称す)は冷間加工を施すことによつて著しく向上し Hv 600 以上に硬化させてもなお十分なじん性を維持している。冷間鍛造、冷間圧延、冷間引抜、ショットピーニングなどの冷間加工が銑の材力増強に積極的に利用されるゆえんである。

時効については時効用銑の章で述べるように $700^{\circ}\sim 900^{\circ}\text{C}$ の高温の時効で Hv 650 のかたさがえられる特徴があるが、じん性が極端に低下するから引張応力を受け

Table 1. Standard chemical composition ranges of siteel*.

Kind of alloy	Siteel A	Siteel B	Siteel C	Siteel D
Used for	General constructive	Corrosion resisting	Precipitation hardening	Heat resisting
Chem. comp. (%)				
C	0.025 max	0.025 max	0.030 max	0.035 max
Si	3.5~4.5	4~5	4.5~5.5	5~7
Mn	1~3	1~3	1~3	1~3
Ni	4~8	6~10	8~12	10~16
Cr	8~12	12~16	16~22	20~28
Mo plus V	1~3	1~3	1~3	2~4
Cu	2 mix	2~4	2 max	—
W	—	—	1~3	2~4
Co	—	—	—	2 max

* These chemical composition ranges are applied for patents in Japan 41-20314, 41-38334, 42-71345 and 43-35609; U.S.A. SN 708, 530, SN 869, 340; Germany P 1758052.8 and England 20840/69.

るおそれのない用途にしか利用することができない。

銑の材力に共通する特色として引張強さに対するじん性の大きいことをあげることができる。じん性の中では伸びと衝撃値がきわだつて大きく、NiCr 鋼や CrMo 鋼で代表される強じん鋼の 2 倍以上の高い値をもっている。強じん性のすぐれていることは銑の生命であるから構造用銑の章で詳しく説明する。

Table 1 に示した銑はいずれも鍛造性が良好で、熱間の鍛造、圧延はもとより冷間の鍛造、引抜もできるが、鑄放の状態における豊富なじん性と抜群の鑄造性を活用して強じんな鑄物を製造することも銑の特長として推奨することができる。なお、Cr, Ni の含有量が高く、C 量が極めて低い関係で耐食性が良好で、もつとも耐食性の劣る構造用銑でも SUS 27 に比敵する耐食性がある。耐食性が優れていることは高温強度、耐酸化性が高いこととともに銑の貴重な特性であるから耐食銑の章で詳述する。

3. 構造用銑 (Sittel A)

構造用銑としては強じん性を重視することはいうまでもないが、鑄造性、鍛造性、溶接性、切削性がすぐれていることとともに価額を下げるために Ni, Mo などの高価な合金元素の節用につとめた。

Table 2 は代表的な構造用銑の材力を Ni Cr Mo 鋼と比較して示したもので、sittel A は強じん鋼の 650°C 付近の焼戻しに相当する 110 kg/mm² 前後の引張強さと強じん鋼の 2 倍におよぶ豊富なじん性をもっていることがわかる。

金属材料の強さとねばさを両軸にとると両者の間に双曲線に近い関係があるので、強さとねばさの積を quality factor と称し、それによつて強じん性を定量的に表わすことが提唱されている²⁾。強さには引張強さ (σ_B)、降伏点 (σ_s)、ねばさには伸び (δ)、絞り (ϕ)、衝撃値 (ρ) がふつうに用いられている。Table 3 は筆者が日本製鋼所に在職中に、径 20 mm の素材に完全な熱処理を施して測定した強じん鋼の焼戻温度による材力の変化を示すものである。この測定値を用いて σ_B と δ の関係を図示すると Fig. 1 になり、 σ_B と δ の積は焼戻温度によつて多少の差はあるが (鋼種に関係なく 300°C~400°C の焼戻しが 600°C 以上および 200°C の焼戻しより低い) 2200±300 の範囲にはいり、このことから鋼種をかえ熱処理を加減しても 3000 の線に達しえないことが想像できる。なお STOUGHTON の論文に示された quality factor A (σ_B と δ の積) の最大値が CrV 鋼の 2815 であることもこの事実を裏書するものと考えられる。

Table 2. Mechanical properties of sittel A and steel SNCM 1.

Chemical composition of sittel A tested (%):
C 0.018 Si 4.1 Mn 2.4 Ni 6.6 Cr 10.4
Mo plus V 2.2

Kind of alloy	Sittel A	Sittel B	Steel SNCM 1
Condition* Heat-treatment	As rolled 900°× 1 hr F C	As rolled 850°× 1 hr WQ	As rolled 850°× 1 hr OQ 650°× 1 hr OQ
Hardness, Hv	324	350	350
T.S., kg/sq. mm	105.0	116.0	112.5
Elong. in 3.54 D, %	52.0	48.2	21.3
R.A., %	68.3	70.2	56.4
Charpy I.V. kg·m/ sq·cm	28.1	32.4	15.2
Quality factors:			
T.S.×Elong.	5 490	5 600	2 400
T.S.×R.A.	7 240	8 150	6 350
T.S.×I.V.	2 960	3 860	1 710

(The highest value of quality factor in STOUGHTON's paper):

T.S.×Elong. 93.5×30.0=2815 (C 0.36%,
Cr 0.92%, V 0.20%)

T.S.×R.A. 170×51.6=8770 (C 0.33%,
Ni 3.55%)

* Test pieces are taken from round bars of 20mm diameter, hot-rolled from a billet of 200×200×2000mm.

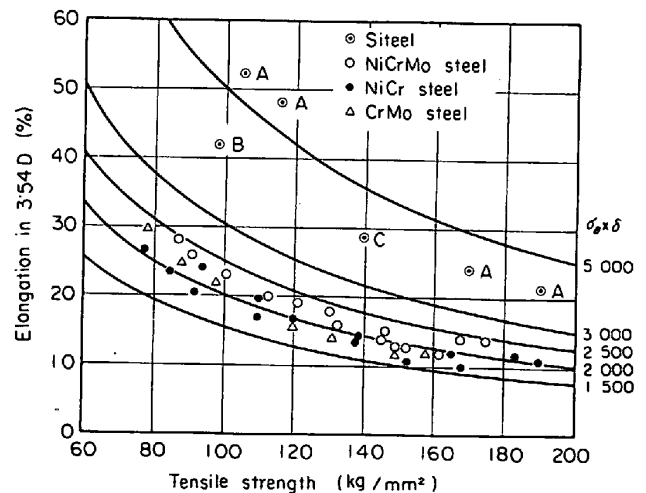


Fig. 1. Ultimate tensile strength and elongation diagram.

Table 2 に示した sittel A の測定値を Fig. 1 にプロットすると強じん鋼の 2 倍にあたる 5000 の線よりさらに上方にくる。sittel A の強じん性が飛抜けて大きいことを端的に示すものであるが、さらに注意すべきことはこの豊富な強じん性が焼入の状態だけでなく焼鈍の状態においても確保できることである。sittel A が熱処理にあつて事実上質量効果をもたないことを示すもので、

Table 3. Mechanical properties of structural alloy steels*.

Kind of steel	SNC 1	SNC 3	SN-CM 2	SN-CM 5	SCM 2
T.S., kg/sq. mm:					
Tempered at 690°	78	94	88	91	78
" 650°	85	111	100	112	88
" 600°	92	120	121	130	98
" 500°	110	139	132	146	120
" 400°	138	152	145	149	132
" 300°	165	168	152	162	150
" 200°	183	190	168	175	158
Elong. in 3.54 D, %					
Tempered at 690°	27	24	27	26	30
" 650°	24	20	23	20	25
" 600°	21	17	19	18	22
" 500°	17	14	16	15	16
" 400°	13	11	14	13	14
" 300°	12	10	13	12	12
" 200°	12	11	14	14	12
R.A., %:					
Tempered at 690°	67	67	68	66	72
" 650°	64	58	63	61	70
" 600°	60	50	58	56	63
" 500°	53	48	56	51	46
" 400°	44	39	50	43	48
" 300°	40	36	46	40	40
" 200°	33	38	46	42	44
Charpy I.V., kg·m/sq. cm:					
Tempered at 690°	21.5	17.5	19.0	18.5	23
" 650°	19.0	13.5	14.8	13.5	19
" 600°	16.0	9.5	11.5	10.0	15
" 500°	10.0	5.0	7.0	6.0	8
" 400°	3.5	3.5	5.0	4.5	5
" 300°	4.0	4.0	4.0	4.0	4
" 200°	4.5	4.5	5.2	5.0	5
T.S. × Elong.:					
Tempered at 650°	2 040	2 220	2 220	2 240	2 200
" 400°	1 790	1 670	2 030	1 940	1 850
" 200°	2 220	2 100	2 350	2 450	1 900
T.S. × R.A.:					
Tempered at 650°	5 440	6 440	6 300	6 830	6 160
" 400°	6 070	5 930	7 250	6 410	6 340
" 200°	6 040	7 220	7 730	7 350	6 950
T.S. × I.V.:					
Tempered at 650°	1 620	1 500	1 480	1 510	1 670
" 400°	480	530	730	670	660
" 200°	820	840	870	850	790

* These data were measured using specimens heat-treated with prudent care.

rotor shaft のような径 1m 以上もある大型の鍛材の中心部まで均等な材力に調質することができるという強じん鋼の追従をゆるさぬ長所である。

sitel A の衝撃値が大いことも銑に共通する材力上の特徴の一つで 30 kg·m/cm² をこすことがしばしばおこる。シャルピー試験機の容量は 30 kg·m がふつうだか

Table 4. Mechanical properties of cold-drawn wire of siteel A.

Chemical composition of siteel A tested (%):
C 0.022 Si 3.8 Mn 1.9 Ni 5.7 Cr 10.2
Cu 0.9 Mo plus V 1.6

Diameter of wire, mm*	6	4	2	4 400° × 1 hr A C
Heat-treatment (bluing)	—	—	—	—
T.S., kg/sq. mm	170	190	215	225
Elastic limit, kg/sq. mm	105	115	120	180
Elong. in 3.54 D, %	24	21	16	12
R.A., %	55	53	56	45
Shearing strength, kg/sq. mm	110	120	135	150
No of turn in twist**	25	28	30	21

* Cold-drawn from diameter 8mm to 6mm, 6mm to 4mm and 4mm to 2mm.

** Gauge length was taken 100×D of test-piece.

ら標準試験片では測定ができない。衝撃値が 30 kg·m/cm² をこすと予想される場合は JIS 3号試験片の幅を 5 mm に縮小した試験片を用い、実験的に求めた係数 2.2 を測定値にかけて補正することにした。

sitel A の低温ぜい性については簡単な実験を行なったにすぎないが、二相組織の関係ではつきりした遷移温度を求めることができなかった。-60°C 付近から衝撃値が下がり始めるが液体窒素の中でなお 5 kg·m/cm² の衝撃値があるから実用上は低温ぜい性の心配はいらないものとする。

Table 4 は sitel A の 110 mm 角のピレットを圧延して造った径 9.5 mm のロッドを素材として、8, 6, 4 2 mm と順次に線引して造ったワイヤの材力を示すもので、冷間加工によつて材力が向上することがわかる。400°C でブルーイングを施した 4 mm のワイヤは、弾性限 180 kg/mm², ねじり回数 21 の材力を有し発条用硬線としてのすぐれた特性を示した。

4. 耐食用銑 (siteel B)

耐食用銑は構造用銑の Si, Ni, Cr を増量すると同時に Cu 2~4% を添加して耐食性の増強をはかつたもので、鑄放の状態 NiCr 鋼の鍛材に比敵する強じん性と、各種の酸や塩類、特に塩酸と硝酸の混合液に対して SUS 32 の 10 倍以上の耐食性を兼備している。

Table 5 に代表的な sitel B の鑄放の材力を NiCr 鋼の鍛材と比較して示してある。供試材は遠心鑄造によつて造った外径 300 mm, 肉厚 30 mm の円筒で、1 050 °C で溶態化を行なつた状態で σ_B 85 kg/mm², δ 40 % ρ_c 18 kgm/cm² の材力を有し SNC 1 の材力規格を満足する高い値を示した。

Table 5. Mechanical properties of siteel B and steel SNC 1.

Chemical composition of siteel B tested (%):

C 0.018 Si 4.8 Mn 1.8 Ni 7.7 Cr 15.6 Cu 3.5 Mo plus V 1.9

Kind of alloy	Siteel B	Siteel B	Siteel B	Steel SNC 1
Condition* Heat-treatment	As cast 1 050° × 1 hrWQ	As cast 1 050° × 1 hrWQ	As cast 1 050° × 1 hrWQ	As rolled 850° × 1 hrOQ 650° × 1 hrOQ
Cold work, %**	—	44	44	—
Heat-treatment	—	—	1 050° × 1 hrWQ	—
Hardness, Hv	260	470	300	275
T.S., kg/sq·mm	85.5	156	98.6	85.0
Elong. in 3.54 D, %	39.8	15.5	42.0	23.3
R.A., %	52.6	38.0	65.8	64.5
Charpy I.V., kg·m/sq·cm	18.6	—	—	18.3
Quality factors:				
T.S. × Elong.	3 400	2 420	4 140	1 980
T.S. × R.A.	4 500	5 930	6 490	5 490
T.S. × I.V.	1 590	—	—	1 560

* Test pieces are taken from a centrifugal-cast cylinder with 300mm outer diameter and 30mm thickness.

** Cold-drawn from 8mm diameter to 6mm.

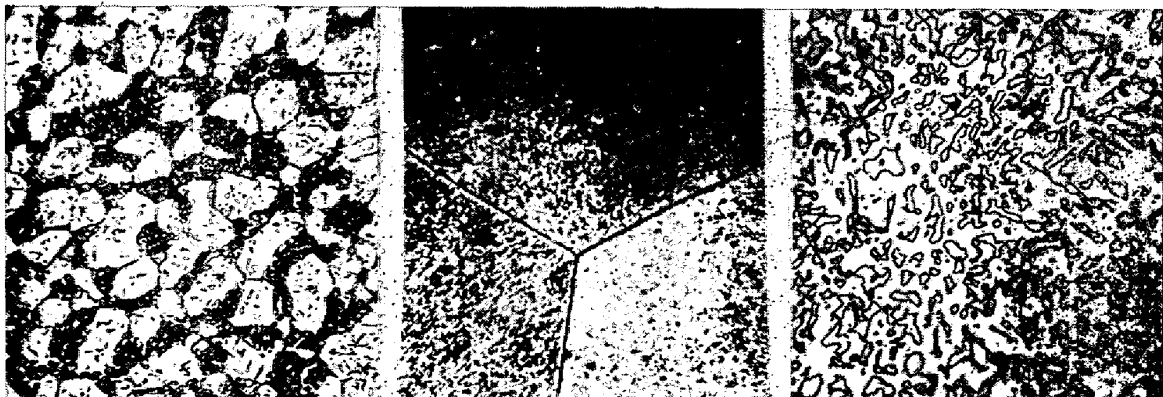
Table 6. Corrosion resistance of siteel B and 18-8 stainless steels.

Kind of alloy	Siteel B	SUS 32	SUS 28
Heat-treatment	1 050°WQ	1 050°WQ	1 050°WQ
Corrosion loss, g/sq·m/hr			
5% Sulfuric acid (boiling)	3.04	2.78	29.2
5% Hydrochloric acid (boiling)	5.53	12.9	84.7
2.5% Hydrochloric acid plus 2.5% Nitric acid (boiling)	2.08	32.6	219

siteel B は Cu の含有量が高く赤熱ぜい性をもっているから鍛造温度をきびしく規制することが必要で 1 100° C 以上の温度で鍛造すると割れを発生するおそれがある。Table 5 に示した実施例からわかるように、溶態化

の状態では豊富な粘性があるから冷鍛によつて成形するほうが安全で、寸法の精度と材力の向上が同時にえられる利点がある。供試材から削出した径 8 mm の丸棒を線引して造つた 6 mm の丸棒の材力は Table 5 に示すとおりで、冷鍛による材力の向上の著しいことを示すと同時に siteel B の引抜細線が各種のワイヤーロープ、特に強じん性と耐食性をあわせ要求される船舶用や釣橋用のワイヤーロープの素線として適していることを示唆している。近く下関海峡を始めとして鳴門海峡、瀬戸内海に長大な釣橋がかけられる模様であるが、siteel B がこれらの釣橋の建設用材として利用されんことを切望してやまない。

siteel B の耐食性を JIS 規程にしたがつて測定した結果は Table 6 に示すとおりで、硫酸に対する腐食量は 3g/m²/hr で耐硫酸ステンレス鋼 SUS 36 の規格に合格する値をえた。同じ要領で行なつた塩酸に対する試験で



Left: Solution-treated at 1 100° × 1 hr WQ and aged at 800° × 64hr AC.

Middle: Solution-treated at 1 300° × 1/2hr WQ

Right: Solution-treated at 1 300° × 1/2hr WQ and aged at 900° × 8hr AC.

Photo. 1. Micro-structure of siteel C forging. ×400 (4/5)

は SUS 32 の 2 倍, 塩酸と硝酸の混合液に対しては SUS 32 の 15 倍, SUS 28 の 100 倍に相当する驚異的な耐食性を示した. この事実は siteel B が 18-8 系ステンレス鋼に共通する塩酸や塩素に耐する弱点を大幅に改良したことを示すもので, 化学機械の分野で独自の用途を開拓しようものとする。

5. 時効用銑 (siteel C)

時効用銑は耐食用銑の Si, Ni, Cr を増量すると同時に W-1~3%, Cu 2% を添加し, 700° 以上の高温で時効硬化させることをねらった PH 合金である。

高珪素 PH 鋼としては PH-55 合金がよく知られているから, それと対比して説明することにする. PH-55 合金と siteel C とは成分が双生児のように似ているが, PH-55 合金が Iron Age に発表されたのが 1959 年の 4 月⁴⁾, siteel C が Technical Report に掲載されたのが 3 月で, 年を同じくして誕生したのも奇しき一致といえよう。

siteel C の材力は Table 7 の代表的な実施例が示すとおりで, 溶態化の状態では σ_B 98 kg/mm², δ 44%, ρ_c 27 kg·m/cm² という強じん鋼をはるかにしのぐ強じん性をもっている. 1100°C で溶態化を行なった組織は Photo. 1 に示すようにフェライトとオーステナイトが微細に入交った二相組織をしていて両者の比は約 2:3 になっている。

siteel C を 1100°C で溶態化後 700°C で時効を行なえば, Fig. 2 に示すように時間とともにフェライトが硬化し 16hr で Hv 660 に達し平均かたさも Hv 290 から 460 に上昇し弱磁性だったものが非磁性にかわる。

1100°C で溶態化後 700°C で 16hr 時効した siteel C の材力は Table 8 に示すとおりで, 圧縮試験では相当の粘性を示すが引張試験では 5% 以下の伸びで切断するから引張応力を受ける機械部品にはつかえない. ただし高温で使用する場合は別で, Table 7 と 8 を比較すればわかるように引張強さが 10~20 kg/mm² 増加する利点がある。

上述した時効による材力の変化は PH-55 合金とよく似ているが, きわだつた相違点に時効温度がある. PH-55 合金の時効適温は 482°C で 650°C 以上は使えないと報告されているが, siteel C の時効適温は 700°C で 900°C まで使用することができる. PH 鋼としてはいろいろの種類のもが開発されているが 900°C で時効硬化する PH 鋼は知られていないようなので siteel C を PH 90 と命名することにした。

siteel C の時効硬化の機構は複雑でなお調査の要があ

Table 7. Mechanical properties of siteel C and PH-55 C.

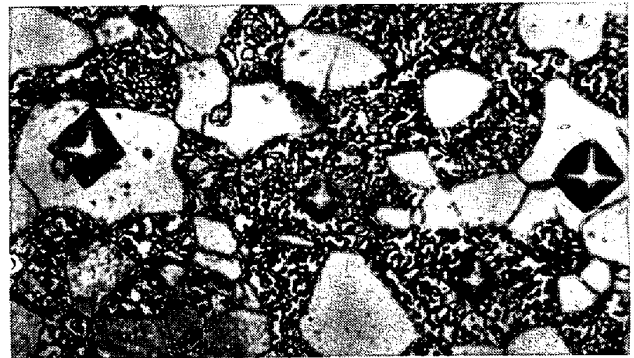
Chemical composition of siteel C tested (%)

C 0.028 Si 5.1 Mn 1.9 Ni 9.9 Cr 20.4

Cu 1.3 W 1.5 Mo plus V 2.4

Kind of alloy	Siteel C	Siteel C	PH-55 C
Solution-treatment	1100°× 1 hrWQ	1100°× 1 hrWQ	1100°× 1 hrWQ
Cold work, %*	—	44	—
Hardness, Hv	292	430	350
T.S., kg/sq·mm	97.5	140	114
Elong. in 3.54 D, %	43.8	28.5	15
R.A., %	73.6	58.0	20
Tested at 700°:			
T.S., kg/sq·mm	—	48	—
Elong. in 3.54 D, %	—	52	—

* Cold-drawn from 8mm diameter to 6mm.



Austenite (white matrix) Hv 330
Mixed phase (strip pattern) Hv 660
Mean hardness Hv 460

Photo. 2. Micro-structure of siteel C casting aged at 700°×16hr AC. ×800 (7/10)

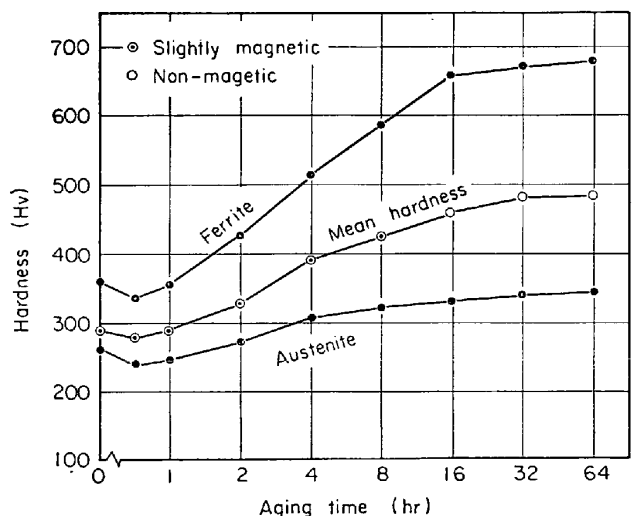


Fig. 2. Change of hardness of siteel C aging at 700° after solution-treated at 1100°×1hr WQ.

Table 8. Precipitation hardening properties of siteel C and PH-55 C.

Kind of alloy	Siteel C	Siteel C	PH-55 C
Solution-treatment	1 100° × 1 hr WQ	1 300° × 1/2 hr WQ	1 100° × 1 hr WQ
Aging	700° × 16 hr A C	900° × 8 hr A C	482° × 8 hr A C
Hardness, Hv	460	430	400
T.S., kg/sq. mm	115	143	130
Elong. in 3.54 D, %	3	12	2
Compressive strength, kg/sq. mm	252	320	—
Actual compressive Strength, kg/sq. mm	165	148	—
Contraction, %	30 (crack occurred)	50 (no crack)	—
Test at 700° :			
T.S., kg/sq. mm	54	63	35
Elong. in 3.54 D, %	22	28	20

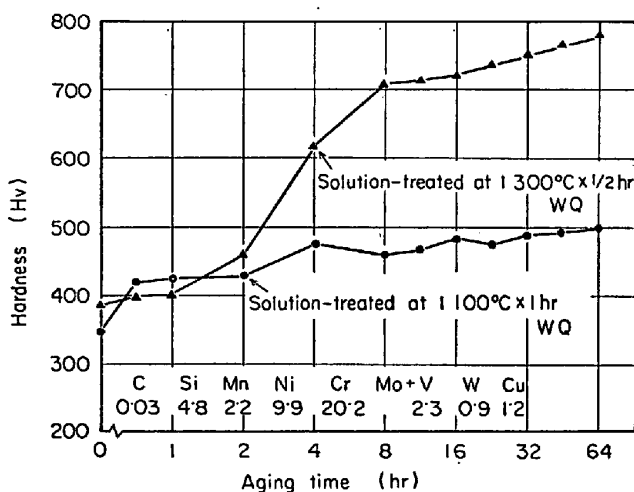


Fig. 3. Change of hardness of siteel C by aging at 500°C after solution-treated at 1 100° and 1 300°C.

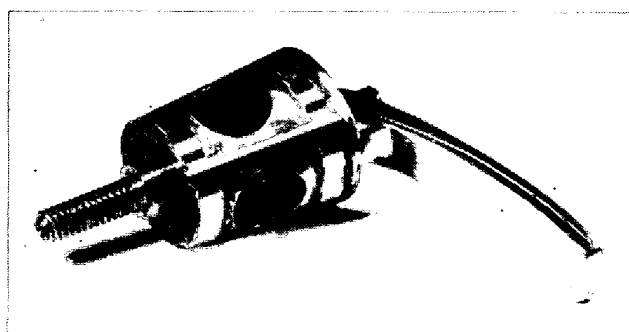
Hardness of valve Hv 180
Over-laid part Hv 360

Photo. 1. Stainless valve over-laid using rod of siteel D.

るが、X線解析などの結果からみて、時効の初期に Ni, Si を主成分とする金属間化合物 (大部分は Ni₂Si) が析

Table 9. Mechanical and abrasive properties of over-laid metal.

Chemical composition of welding rod of siteel D (%):
C 0.032 Si 6.1 Mn 1.5 Ni 14.8 Cr 23.6 W 2.8
Co 0.8 Mo plus V 2.4

Kind of alloy	Siteel D	Siteel D	Stellite 6
Hardness of over-laid metal, Hv			
1st layer	360	360	300
2nd layer	370	370	360
3rd layer	375	375	420
Hardening*	—	Shot- peening	—
Abrasion loss, g/km	0.14	0.05	0.11

* Hardened by sever shot-peening from Hv 375 to 630.

出し次いでフェライトのオーステナイトへの変化にともなつてσ相が析出し硬化するものと考えている。なお時効が完了すれば完全な非磁性 (50oe で導磁率 1.010) になるから高張力非磁性合金としての用途が期待できるのではないかと想像する。

PH-55 合金は鍛造性がとぼしく主として鋳物に使われているが siteel C は豊富な鍛造性をもち、鍛造、圧延はもちろん冷間引抜もできる。径 8 mm から 6 mm に引抜いたワイヤは Table 7 に示すように σ_B 140 kg/mm², δ 28%, ϕ 58% の材力があり高温特性もすぐれているから耐熱用の発条に利用しうるものと考えられる。

ここで siteel C の時効機構を研究中に発見した新しい熱処理について一言しておく。siteel C の A₄ 変態点は 1 200°C 付近にあるから 1 300°C で溶態化を行なえば δ 領域から焼入したことになり 1 100°C の γ 領域からの焼入とは違つたものになるはずである。結果は予想どおりで、1 300°C で溶態化したものは 21 00°C で溶態化した二相組織とは全く異質の Photo. 1 に示すような球状パーライトに似たマトリクス単相の組織になつた。筆者はこの熱処理を Delta Quench と命名し調査を進め結晶が粗大化するのを適切な冶金的手法によつて防止すれば γ 領域から焼入した場合よりすぐれた材力、耐食性がえられる有効な熱処理になることを知つたが、本題と関係が薄いので別の機会に報告することにして、ここでは Delta Quench の効用の一例として時効におよぼす影響を示す Table 8 と Fig. 3 をあげるにとどめる。

6. 耐熱用銩 (siteel D)

耐熱用銩は時効用銩の Si, Ni, Cr, W を増量すると同時に 2% 以下の Co を添加して高温特性の向上をはかつたもので、800°C において σ_B 67 kg/mm², 1 000

hr の rupture strength 15 kg/mm² の高温強度と抜群の耐酸化性を兼備している。

siteel D は高温強度が大きい関係で強力な鍛造機を必要とする難点があるが、鑄造性はきわめて良好で鑄放の状態における豊富なじん性と相まつて高温で使用する turbine blade のような複雑な形をした機械部品の精密鑄造に適している。

siteel D はまた表面硬化用の肉盛合金として利用することができる。stellite に比べて価額が安い利点のほかに、肉盛作業が容易なこと、自動溶接機が使えること、盛金の成分の稀しやくが少なく単相の盛金で肉盛の効果を発揮できること、盛金がじん性に富みハンマリングを施すことによつて Hv 600 以上に硬化させることができるなどの長所がある。Table 9 は 4 mm に線引した siteel D の心線を使つて CrMo 鋼の弁座に電弧によつて肉盛した盛金の特性を stellite 6 と比較したもので、siteel D の盛金はショット・ピーニングを施すことによつて耐摩耗性が著しく向上することがわかる。

7. 結 言

以上で本報告を終えるが、これら一連の高珪素 Fe-Si 合金の開発に JIS 規格が障害になつている実状を指摘し、規格制定に関係のある向きの考慮をわずらわしいと思う。

JIS のステンレス鋼の成分規格を見ると Si は 1%以下にきびしく制限されているから Si 4~5% を含有する siteel B がどんなに耐食性や材力がすぐれていても成分不良のらく印をおされるから製品として生産するわけにはいかない。一足飛びに Si の範囲を拡大するにはいろいろ困難な事情があることと思われるので、さしあたり 3% 以下に緩和したステンレス鋼と 4% 以下のステンレス鋼の暫定規格を制定していただきたいと思う。

終わりに臨み、30年の長きにわたり研究にはたまた試作に並々ならぬ援助をたまわつた日本製鋼所を始め、神戸製鋼所、久保田鉄工、四国金属工業の関係の方々ならびに本研究の発想に賛意を表され懇切な指導鞭撻をたまわつた今は亡き依国一、田中清治両先生に衷心からの感謝をささげる。

文 献

- 1) 太田鶏一: フェライトに及ぼす珪素の影響, 鉄と鋼, 第28年, 第9号 (昭和17年)
- 2) K. Ota: Denomination of siteel and its general characteristics. Tech. Reports of Kansai Univ., March (1959)
- 3) B. STOUGHTON and W. E. HARREY: Relative merits of some alloy steels. Proc. ASTM, 30 (1930)
- 4) N. S. MOTT: Four new stainless alloys. The Iron Age, April (1959)