

## 第 8 会 場 (性 質)

## (142) 鋼の諸性質におよぼす Ta の影響

(鋼中の特殊元素に関する研究—IV)

神戸製鋼所, 中央研究所

工博 成田 貴一・〇宮本 醇

## Effect of Tantalum on the Properties of Steel.

(Study on special elements in steel—IV)

Dr. Kiichi NARITA and Atsushi MIYAMOTO.

## I. 緒 言

原子力工業, 化学工業ならびに電子工業の発展とともに Ti, Zr, Nb, Ta, Y などの特殊元素の需要が増大し, これにともなつてこれら諸元素の金属あるいは中間化合物の他種工業への利用を本格的に検討すべき段階に到達している。

Ta は原子量が大きく化学冶金学的に若干の問題はあるが, Ti, Zr, Nb などと同様に N および C に対する親和力が非常に強く, 鋼の合金元素または添加元素として重要な意義をもっていると考えられる。そこで本研究においては, 鋼中の特殊元素に関する研究の一環として, まず鋼の基本的性質におよぼす Ta の影響について二, 三の実験をおこない, Ta の化学冶金学的挙動ならびに合金元素としての挙動を調べた。

## II. 供 試 材

100 kVA 塩基性高周波誘導溶解炉 (マグネシヤ・ライニング) を用いて電気炉製精鋼を融解し, これに Ferro-Mn および Ferro-Si を加えて脱酸したのち, 鋼浴の温度を約 1600°C に保持し, Ta を単体の形 (99.8% 切削片状) で 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20% および 0.25% を添加し, 約 5 分間鎖静したのち溶鋼を押湯付 100 kg 丸型鑄型に注入して供試鑄塊を溶製した。

このようにして溶製した供試鑄塊の一般化学成分組成を示すと Table 1 のとおりである。

## III. 実 験 法

前記のようにして溶製した鑄塊を縦方向に切断して二分し, その一つを鍛伸比約 15 に鍛伸し, 鑄造材および鍛伸材を用い, (1) 溶鋼または固態鋼中における O, S, C, N などの非金属元素と Ta の反応, (2) 鋼中における Ta の歩留り, (3) 鑄塊の凝固組織におよぼす影響, (4) 鋼の微細組織とくにオーステナイト組織におよぼす影響, (5) 鋼中非金属介在物およびガス成分におよぼす影響, (6) 鋼の変態点, 焼入性および材力の性質におよ

ぼす影響, (7) 衝撃遷移温度におよぼす影響, (8) 焼戻し軟化抵抗性ならびに焼戻し脆性におよぼす影響, (9) 歪時効性におよぼす影響 などについて検討をおこなつた。

## IV. 試験結果ならびに考察

## 1. 鋼中における Ta の歩留り

前記 I 項に述べたようにして溶鋼中に Ta を添加した場合, 出鋼材中における Ta の歩留り率は Table 1 に示したように約 60~70% であり, 同鋼種に対する Ta の歩留り率は周期律表の同じ属 (V-a 属) に属する V あるいは Nb の場合に較べてかなり低い。現在のところ Ta の脱酸力についてはあきらかでないが, 熱力学的計算結果によれば, V-a 属においては原子番号が大きくなるにしたがつてその元素の酸素に対する親和力が強くなる傾向があり, 溶鋼中における Ta の脱酸力は Si よりもむしろ強くなり, したがつて溶鋼中に Ta を添加した場合, 酸化によるその消耗が比較的大きく, 鋼中におけるその歩留りの低下をきたすものと考えられる。

## 2. 鑄造組織

鋼に Ta を加えると, 鑄塊組織はいずれも微細化し, Ta 量の増加とともに柱状晶は減少する傾向がある。またサルファー・プリント組織上, Ta は鑄塊内における硫化物の分布にはあまり大きな影響をおよぼさない。

## 3. オーステナイト組織

前記 II 項に述べたようにして調製した鍛伸材について, オーステナイト結晶粒度を測定した結果を示すと Fig. 1 のとおりである。

供試材はあらかじめ 900°C で 1 hr 焼準処理をおこなつたのち, 真空加熱法 (925°C・6 hr,  $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$  mmHg) によつて組織を現出させ, オーステナイト結晶粒度を測定した。この実験結果によれば, Ta 量が増加するにつれてオーステナイト結晶粒は細かくなり, たとえば Ta 量が 0.01% 程度ですでにオーステナイト結晶粒は粒度番号で約 7.5 になり, 0.095% では粒度番号 9.0 以上に達している。しかしながらさらに Ta 量が多くなつても結晶粒度の大ききには左程大きな変化は認められない。

つぎにオーステナイト結晶粒の粗大化温度におよぼす Ta の影響を調べるため, 鍛伸材について 925~1150°C の温度範囲にわたり, 各一定の温度下で  $10^{-4}$ ~ $10^{-5}$  mmHg 圧下に加熱し, 真空加熱法によつて粒界を現出させ, オーステナイト結晶粒度を測定して粗大化温度を

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

Specimen No.	C	Mn	Si	P	S	Ta	Added of Ta	Recovery of Ta
T-1	0.32	0.67	0.28	0.007	0.016	—	—	—
T-2	0.29	0.68	0.34	0.005	0.021	0.010	0.064	15.6
T-3	0.29	0.65	0.31	0.006	0.021	0.095	0.128	74.2
T-4	0.29	0.58	0.27	0.005	0.021	0.129	0.193	66.9
T-5	0.29	0.60	0.38	0.006	0.020	0.148	0.237	62.5
T-6	0.28	0.62	0.36	0.005	0.021	0.188	0.301	62.5

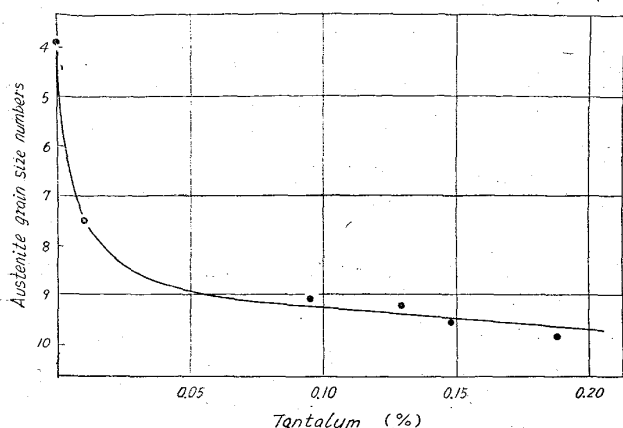


Fig. 1. Effect of tantalum on the austenite grain size.

求めた。粗大化温度は供試材のオーステナイト結晶粒度が粒度番号で5・0に達したときの温度でもつてあらわした。

その結果によればオーステナイト結晶粒の粗大化温度は Ta 量の増加とともに上昇し、たとえば Ta 量が 0・095% の場合、粗大化温度は約 1100°C であり、Ta 量が 0・148% の場合は 1130°C に達し、さらに Ta 量が多くなれば粗大化温度も徐々に上昇するがその程度はわずかである。以上のように Ta を加えることによつて鋼のオーステナイト結晶粒が微細化し、また結晶粒の成長が抑制されるのは、鋼中において TaC, Ta(CN) または TaN などの安定な化合物が析出し、これらの微視的析出物が鋼の変態に際して析出するオーステナイト相の結晶核となるためであり、またこれらの炭化物、窒化物が結晶粒の成長を抑制する結果、粗大化温度の上昇をきたすものと考えられる。

4. 鋼の清浄度ならびに非金属介在物

JIS 法に準じて清浄度の判定をおこなつた結果によれば、Ta を添加しても清浄度にはほとんど変化は認められず、Ta は鋼の清浄度に大きな影響をおよぼさない。また Ta 鋼中に存在する非金属介在物はそのほとんど大部分が熱間加工により変形しやすい A<sub>1</sub> および A<sub>2</sub> 系介在物であり、これらは硫化物 (Fe, Mn) S, 酸化物 FeO-MnO, SiO<sub>2</sub>, または鉄-マンガン-ケイ酸塩などである。しかしながら Ta 量の増加とともに微細な C 系または (A+C) 系介在物が析出するが、これらは主として Ta の酸化物であると考えられる。

5. ガス成分

鍛伸材について真空溶融法によつて O, KJELDOHL 法によつて N の定量をおこなつた結果によれば、前者は 30~50 ppm であり、後者は 60~70 ppm の範囲にあり、Ta 量の多い供試材ほど O は少なくなっていく傾向があるが、一方 Ta の脱窒作用は分析誤差の範囲内で認められない。

6. 変態点

差動鉄心型熱膨脹計を用い、供試材を 3°C/min の速度で加熱、冷却し、その変態点を測定し、Ta の影響を調べた。なおこの場合最高加熱温度は 920°C である。その結果によれば Ta を添加することによつて、Ac<sub>1</sub>, Ac<sub>3</sub>, Ar<sub>1</sub> および Ar<sub>3</sub> 変態点はいずれも上昇する傾向

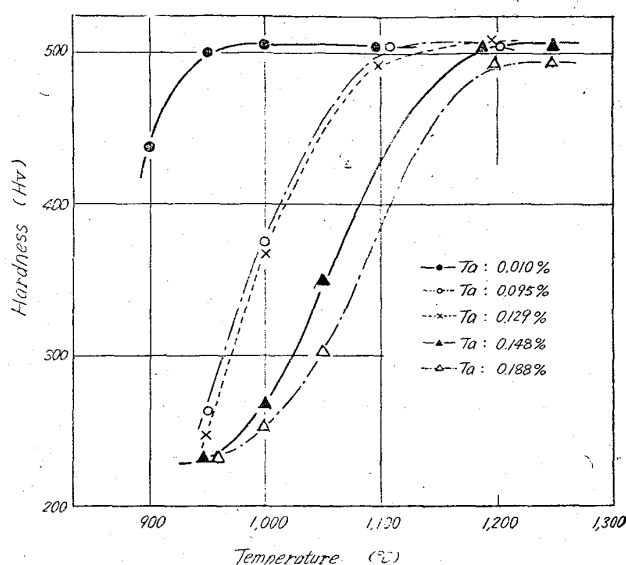


Fig. 2. Effect of tantalum on the hardenability of steel.

があり、たとえば Ta 量が 0・095% の場合 Ac<sub>1</sub> および Ac<sub>3</sub> 変態点はいずれも約 5°C 上昇し、Ta 量が 0・188% の場合には約 10~30°C 上昇する。

7. 焼入性

予備実験の結果によれば、本実験供試材はいずれも 1000~1100°C 以上の比較的高い温度より急冷しなければマルテンサイト組織 および焼入硬度がえられないので、つぎのような方法によつて鋼の焼入性を調べた。すなわち鍛伸材より 15×15×30mm の試験片を切出し、900°C で 1 hr 焼準処理をおこなつたのち、試験片を細い鉄線で縦型加熱炉内に懸吊し、A 気流中で 950°, 1000°, 1100°, 1200° および 1250°C の各温度に 1 hr 加熱保持したのち、水中に落下させて急冷した。

このようにして焼入した試験片について硬度を測定した結果を示すと Fig. 2 のとおりである。

すなわちこの実験結果よりあきらかなごとく、Ta 量の増加とともに鋼の焼入性は低下し、十分なる焼入組織 および焼入硬度をうるためには 1100°C 以上の温度で加熱して急冷する必要があることを認めた。

以上のように Ta を添加することによつて鋼の焼入性が低下する事実は  $\gamma$  域において、地鉄中における TaC または Ta(CN) の溶解度が比較的に小さく、しかもその固溶速度がきわめて遅いこと、ならびに Ta が C の拡散をいちぢるしく抑制する結果であると考えられる。

8. 材力の性質

前記 I 項のようにして調製した鍛伸材を 900°C で 1 hr 加熱して焼準したのち、JIS 4 号引張り試験片およびシャルピー衝撃試験片 (2mm V ノッチ) を作製し、降伏点、引張り強さ、降伏比、伸び、絞り、衝撃値ならびに硬度を測定した。その結果を示すと Table 2 のとおりである。

すなわち本実験の範囲内では Ta は鋼の伸び、絞り、硬度および引張り強さにはあまり大きな影響をおよぼさないが、少量の Ta を加えることによつて降伏点、降伏比および衝撃値はいちぢるしく上昇する。たとえば

Table 2. Effect of tantalum on mechanical properties of steel material,

Specimen No.	Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield point (%)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Hardness (HB)	Charpy impact value (kg-m/cm <sup>2</sup> )
T-1 (Ta: None)	34.2	56.6	60.4	35.0	59.3	137	7.4
T-2 (Ta: 0.010%)	40.7	55.4	73.4	34.6	60.9	140	10.5
T-3 (Ta: 0.095%)	41.3	55.4	74.5	33.2	61.2	145	14.8
T-4 (Ta: 0.129%)	42.8	53.1	80.5	35.2	61.4	136	13.4
T-5 (Ta: 0.148%)	42.0	53.4	78.6	36.0	62.4	142	13.8
T-6 (Ta: 0.188%)	41.3	52.3	77.5	35.3	59.7	146	15.3

0.095% の Ta の添加によつて降伏点は約 7 kg/mm<sup>2</sup>, 衝撃値は約 8 kg-m/cm<sup>2</sup> 上昇する。このような Ta のすぐれた特性を利用することにより、複雑な熱処理をおこなうことなく靱性の高い鋼をつくるのが可能であり、また調質処理材においても熱処理条件を適当に選択することにより、さらに靱性のすぐれた鋼をつくるのが可能である。

#### 9. 衝撃遷移温度

Ta の添加によつて鋼の衝撃遷移温度は低温側へ移行する傾向が認められる。たとえば Ta 量が 0.095% の場合、遷移温度 (15 ft·lb エネルギー) は -48°C であり Ta を含まない同鋼種の鋼に較べて約 30°C 低温側に移行している。同様な現象は焼準材または調質材においても認められる。

#### 10. 焼戻し軟化抵抗性および焼戻し脆性

1100° および 1200°C で焼入をおこない、700°, 650°, 600°, 550°, 500°, 470°, 440°, 410°, 350°, 300°, 250° および 200°C の各温度で焼戻し、常温における衝撃値ならびに硬度を測定し、焼戻し軟化抵抗および焼戻し脆性におよぼす Ta の影響を調べた。その結果によれば Ta は鋼の焼戻し軟化抵抗性を向上させる作用を有しており、わずかながら二次硬化現象ならびに焼戻し脆化現象が認められるが、焼戻し後の靱性はやや向上する傾向がある。

#### 11. 応力歪による歪時効性

前記 II 項に述べたようにして調製した鍛伸材を 900°C で 1 hr 加熱して焼準し、さらに 700°C で 6 hr の球状化処理をおこなつたのち、JIS 4号引張り試験片 (9.9 mm φ) を作製し、引張り試験機により降伏点以上に荷重を加えて 5% 歪をあたえたのち、荷重をとりさり 230°C の油浴中で 5, 10, 60 および 600 min 保持して時効させ、ふたたび荷重をかけた場合の降伏点の変化を測定し、それより時効量を求めた。本実験に用いた鋼種を考慮すれば、供試材中の Ta 量が本鋼種に対しては少なく、したがつて歪時効性におよぼす Ta の影響を如実に把握することはむづかしいが、本実験結果によれば Ta は鋼の歪時効性を減少する作用を有していることを認めた。

### V. 結 言

鋼中の特殊元素に関する研究の一環として、鋼の諸性質におよぼす Ta の影響について検討をおこなつた結果を要約すればつぎのとおりである。

(1) 鋼中に Ta を添加すると、微細な Ta の炭化物または窒化物が析出し、鋼のオーステナイト結晶粒は微細化する。これらの炭化物または窒化物はいずれも地鉄

に対する溶解度が非常に小さく、しかも固溶速度がきわめて遅いので結晶粒の粗大化温度をいちじるしく上昇させる。また、(2) 鋼に Ta を加えると結晶粒の微細化と相俟つてこれらの微細な析出物が転位の移動を拘束する結果、鋼の材力的強度とくに降伏強度が増大し、降伏比が大きくなり、常温ならびに低温における靱性が向上することを明らかにした。

このような Ta のすぐれた化学冶金学的性質を利用することにより新らしく優秀な材質を有する高温滲炭用鋼、構造用鋼ならびに構築用鋼あるいは珪瑯用鋼の開発が可能であると考えられる。

### (143) ステンレス鋼分塊圧延におよぼす Si 含有量の影響

(ステンレス鋼線材製造技術に関する研究—I)

神戸製鋼所, 神戸工場

水内 通・○相原 精一

#### Effect of Si Content on Hot Rolling of Stainless Steel.

(Technique for production of stainless steel wire rod—I)

Tōru MIZUUCHI and Seiichi AIHARA.

#### I. 緒 言

ステンレス鋼線材の多くは冷間伸線され、金網、コールドヘッダー、スプリング、溶接棒芯線などに使用されている。一般に線材は耐食性ほかに良好な冷間伸線性および圧造性が要請されている。したがつて AISI の規格鋼種でも Ni, Cr の成分バランス C, Si, Mn, P などの成分範囲がかなり限定されているばかりでなく、製品の表面疵は 0.1 mm 以下に規定されている場合が多い。ゆえに溶解で十分な成分調整を行なうとともに合理的な熱間加工をほどこし表面疵の少ない製品を製造しなければならぬ。

実際ステンレス鋼の分塊圧延ではしばしばクラックが発生し、歩留が大巾に低下することがある。ゆえに鋼塊均熱方法ならびに分塊圧延法はいろいろとくふうされているが、最も重要なのは成分の調整にある。すなわち、若干の成分含有量の変動は表面疵発生に大きな影響を与え鋼塊均熱および分塊圧延法を大きく左右するものである。

従来ステンレス鋼の各成分が高温捻回値におよぼす影響についての研究<sup>1)~3)</sup>はいろいろ行なわれているが、実