

- 5) 管の内外面疵は出易くなる。  
又、Reeling 部を無くすと、
- 1) 管の肉厚は波状を呈し、偏肉が甚だしくなる。又外径も小さくなるので伸び率は低下する。
  - 2) 表面の振れは小さくなるが影響は少ない。
  - 3) 所要電力、電力量及び前進速度は低下する。
  - 4) 穿孔中の歪率の最高値は幾分低下するが、分布の形はシャープになる。
  - 5) 管の内面疵には敏感に影響し、管材が不良な場合著しく疵が出易くなる。外面疵には影響が少ないが、やはり幾分疵が大きくなる傾向がある。
- 以上を総括して実際作業上の指針として、
- 1) 穿孔速度の増加、従つて製管能率の上昇を期待するならば、芯金は尖鋭型にする方が有利であるが、内面疵は出易くなる。内面疵を防ぐ為にはズングリした型の芯金が良い。その代り穿孔速度は低下する。従つて管材の事情に応じて適宜使いわけのべきである。
  - 2) 芯金後尾の Reeling 部は管の仕上り形状からも、

疵の発生防止上からも絶対に必要である。その長さは少くとも管の回転ピッチの1/2以上無くては均一に圧延されない。それ以上長ければ長い程良いが、1回転のピッチ以上は不必要である。

本実験はすべて日本特殊鋼管本社工場で行つたものであつて、終始理解ある御指導と御援助を賜つた須永己代次社長以下関係各位に対し厚く謝意を表する。

(昭和 29 年 2 月寄稿)

#### 文 献

- 1) 井上, 加藤: スチーフエル・マンネスマン式穿孔機による製管法の研究 (第1報), 鐵と鋼, (1952) 6月號
- 2) 井上, 加藤: 同上, (第2報) 鐵と鋼, (1952) 12月號
- 3) 井上, 加藤: 同上, (第3報) 鐵と鋼, (1953) 9月號
- 4) 井上, 加藤: 同上, (第4報) 鐵と鋼, (1953) 11月號

## 炭素鋼壓延材の高温酸化に関する研究 (I)

### (2, 3 の基礎實驗結果)

(昭昭 23 年本會第 35 回講演大會にて講演)

佐々木茂 式\*

## STUDIES ON OXIDATION OF THE CARBON STEEL FOR ROLLING AT HIGH TEMPERATURES (I)

### (Results of Some Fundamental Experiments)

Shigeichi Sasaki

#### Synopsis:

The present study was made with a view to improve the properties of the surface of rolled carbon steel. This report treats of the results of fundamental experiments made on the influences of heating conditions, sorts of steel and alloying elements on the oxidation of carbon steel (C 0.06~0.40%) at high temperature in the air and on the surface state of carbon steel. The oxidation degree at high temperature increased with lowering of heating rate. Rimmed steel was more easily oxidized than kiled steel at high temperature. Effect of Si, C and Cu on oxidation rate of steel was recognized, but that of C and Cu was lower than in the case of Si. The process of forming scale on the surface of carbon steel was as follows: the blackish cloud on metal surface occurred due to oxide film formed at about 400°C and this film grew into

\* 日本鋼管川崎製鐵所技研

black thick oxide film containing 54~63% FeO, then somewhat swollen thin scale mainly of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> developed on the film grew into bluish black thick scale containing 41~42% FeO and thin scale sticks to the surface of the thick scale. The Ni and Cu in steel formed an alloy-layer remaining on the surface of steel without causing any oxidation. An empirical formula showing the relation between temperature and oxidation degree of the samples at heating rates of 20° and 6°C/min was obtained, and the formula showing the interrelation among Cu and Ni contents in steel, oxidation degree and thickness of alloy-layer was presented.

## I. 緒言

加熱炉内に於ける鑛塊或は鋼片の焼減りに関しては従来より数多くの研究報告が発表されており、又鉄鋼の高温酸化性に関する理論的実験的研究報告も多い。本研究は、当社の製品の表面性質を改良するための資料を得ることを主な目的として始めたものである。その目的に沿うように炭素鋼の高温酸化に関する実験的な2, 3の基礎実験を実施して高温酸化性の鋼種による差異、並びに高温酸化性、地鉄表面状態等に及ぼす加熱条件、合金元素等の影響に就て討究し、又焼減り計算法、圧延材の形状及びサイズと焼減り量の関係、高温酸化による圧延材のスケール・オフの深さと加熱温度及び同速度等の加熱条件との関係に就て検討した。

なほ、講演内容に後日幾らか補足した点を附加したことをお断りする。

## II. 炭素鋼の空气中高温酸化性及び酸化増量

### (1) 試料の種類、化学成分及び実験方法

第1表に掲げた種類の試料を主に供し空气中高温酸化による酸化増量の大小程度、並びに加熱温度及び加熱速度と酸化増量の関係に就て主に検索し、又高温酸化後の表面の変化状態を観察した。

高温酸化実験のための加熱には、内容積 15×15×20 cm<sup>3</sup> の大型エレマ電気炉を主に用いた。加熱中に空気が

自由に炉内に流通するだけの隙間を有している。加熱温度は 400~1300°C 範囲にとり、加熱速度の影響を知るために 6° 及び 20°C/min の両条件を特に撰んだ。所定温度に加熱保持する時間は 5, 30 及び 60 分間とした。冷却はすべて炉外空冷とした。

試片は、原則として重土約 25g, 0.9×0.9×3.0cm<sup>3</sup> の長方体、若しくは重土約 60g, 2.0×2.0×2.0cm<sup>3</sup> の立方体として供試した。試片の表面はサンドペーパー磨仕上げを充分に行い既着の酸化膜及びスケールを完全に取れり供試した。実験前後の試片の重量増減は精密化学天秤を用いて測定した。

### (2) 高温酸化性に及ぼす加熱速度の影響

試料として第1表中のキルド転炉鋼 No.1 を用い、加熱速度を 6° 及び 50°C/min の両条件にとり、高温酸化性に及ぼす加熱速度の影響に就て実験した。第1図の如く、両条件の場合ともに高温酸化性は同じ傾向を示しているが加熱速度のおそい方の酸化増量 (y, g/cm<sup>2</sup>) が大きい。温度 1000~1100°C 間に異常酸化性を認めるがこの原因については後述する。

第1図の実測曲線は、1000~1100°C 間の異常性を考慮外におけば近似的に抛物線と見做すことができるから第2表の如く温度 (T°C) 及び酸化増量間の実験式が求まる。

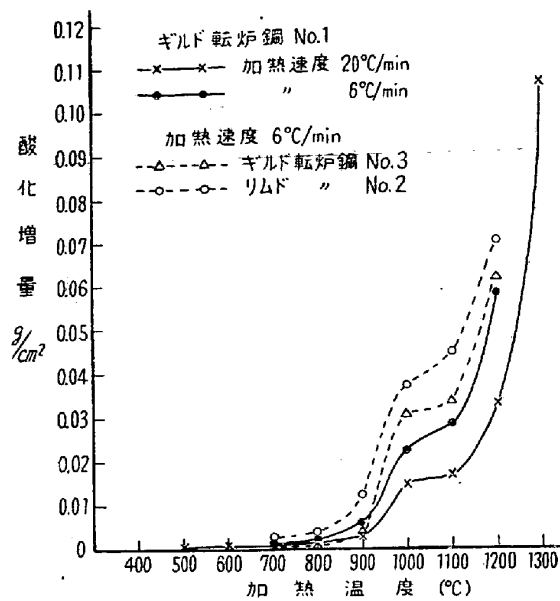
### (3) リムド鋼及びキルド鋼の高温酸化性の差異

リムド鋼及びキルド鋼の両者の高温酸化性の差異について明確な結果を報告している文献は割に少い。Preece

第1表 供試料の種類及び化学成分

試料種類	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	備考
轉爐鋼, No.1 (キルド)	0.13	0.25	0.40	0.055	0.030	0.12	tr	0.06	熱間歴延試料
〃 No.2 (リムド)	0.06	tr	0.41	0.060	0.032	0.37	—	0.07	〃
〃 No.3 (キルド)	0.09	0.16	0.45	0.071	0.033	0.36	—	0.14	〃
含ニッケル鋼 A	0.10	0.12	0.39	0.018	0.021	2.16	2.02	0.07	高周波爐熔製
含ニッケル鋼 B	0.17	0.04	0.32	0.030	0.034	0.28	2.30	0.05	〃
含銅鋼 C	0.10	0.08	0.27	0.025	0.024	2.27	0.10	0.06	〃
無 Si 鋼 No.1	0.27	tr	0.27	—	—	0.20	tr	—	特殊試料
〃 No.2	0.40	tr	1.04	—	—	—	—	—	〃

表註: 無 Si 鋼 No.1 及び No.2 の2試料は高温酸化に及ぼす炭素量の影響を調べる目的で平爐の精練初期及び終期に採取した特殊な炭素鋼であり、普通の範疇に入る一般成分を代表しない。



第1図 高温酸化性に及ぼす加熱速度の影響並びにリムド及びキルド両鋼種の高温酸化性の差異 (加熱保持時間5分間)

第2表 加熱温度對酸化増量の実験式

試料種類	加熱速度	実験式
轉爐鋼 No.1	20°C/min	$y = 5.4 \times 10^{-24} \cdot T^{7.1} \text{ g/cm}^2$
〃 〃 No.2	6	$y = 2.9 \times 10^{-30} \cdot T^{9.2} \text{ 〃}$
〃 〃 No.3	6	$y = 1.5 \times 10^{-24} \cdot T^{7.4} \text{ 〃}$
含ニッケル鋼鋼A	6	$y = 1.8 \times 10^{-28} \cdot T^{8.6} \text{ 〃}$
含ニッケル鋼 B	6	$y = 7.7 \times 10^{-26} \cdot T^{7.8} \text{ 〃}$
含銅鋼 C	6	$y = 2.5 \times 10^{-27} \cdot T^{8.3} \text{ 〃}$
	6	$y = 2.0 \times 10^{-27} \cdot T^{8.3} \text{ 〃}$

及び Cobb<sup>1)</sup> が、リムド鋼の高温酸化速度の大きいこと、その原因は炭素量の高低には無関係でリムド鋼自体の特性によるものであり、Si 含有の有無に関係あることを報じ、又他の研究者により試片の形状及び断面積対表面積の比等が影響するために両者の差異を実験によつて確かめ難くしていること、リム部の酸化速度が特に大きい点等が指摘されている。

本研究では両者間に差異が存在するか否かを確かめる目的で第1表中のリムド転炉鋼 No.2 及びキルド転炉鋼 No.3 を試料に撰び加熱速度 6°C/min, 保持時間5分間の条件で実験した。第1図の如く両者間に明瞭な高温酸化性の差異を認めることができ、リムド鋼はキルド鋼に比べて高温酸化速度の大きい性質を有することを確認できた。又同じキルド鋼の場合にも第1図中のキルド転炉鋼試料の No.1 及び No.3 の両結果から知られるように Si 量の高いほど高温酸化性は小さい傾向を有することを認めることが出来た。

1000~1100°C 間の異常酸化性は、上記の両試料の場

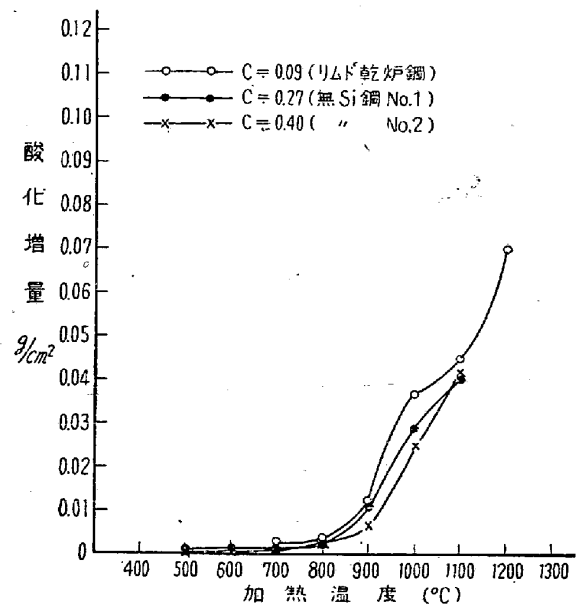
合にも同様に認められた。この現象は、鋼種或は鋼質によつて相異をみとめるのみならず、加熱条件或は又試片の寸法大きさ等によつて左右されて必ずしも常に認め得るとは限らない。この真因に就ては稿を改めて報告したい。

実測曲線から温度及び酸化増量の実験式を第2表の如く求めた。実験式を求めるに当つて、各試料間の相対的な関係は上記の異常酸化性により左右されることがないから包含させて算出した。

Si と同様に鋼の高温酸化性に顕著な影響を及ぼす Al の場合に関しては実験上の都合から今回は検討しなかつたが Al 0.01~0.02% 以下位では左程著しい影響を及ぼさないようである。

(4) 高温酸化性に及ぼす炭素量の影響

炭素量の範囲を拡げてその影響を調らべる目的で第1表の如く特別に平炉精錬初期及び終期に C 0.29 及び 0.40%, Si tr の無 Si 鋼 No.1 及び No.2 の2種試料を採取し、加熱速度 6°C/min 及び保持時間5分間の条件で実験した。第2図の如くC量の高いほど酸化増量が低く、高温酸化性は幾らか小さくなる傾向を認める。しかし、C量の多少により影響をうける程度は Si 量の影響に比べて遙かに弱い。



第2図 高温酸化性に及ぼす炭素量の影響

(5) 高温酸化性に及ぼす Ni 及び Cu 兩元素の影響

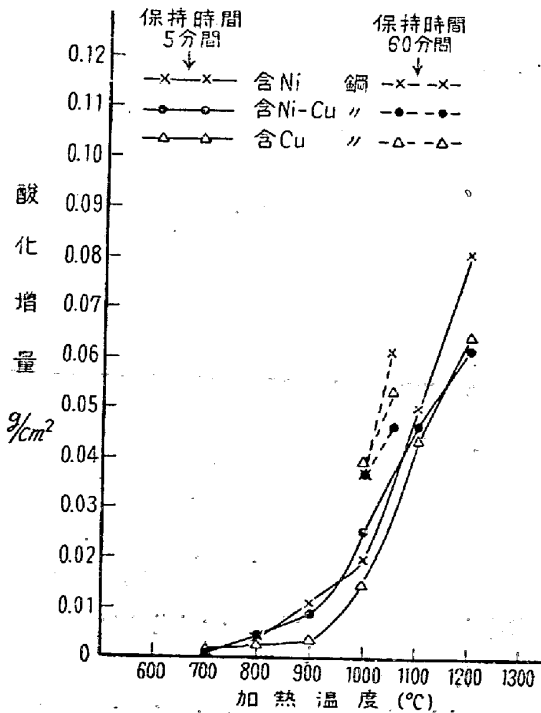
普通炭素鋼に少量含まれている Ni 及び Cu が鋼の高温酸化性及び地鉄の表面状態に及ぼす影響を明らかにする目的で第1表の如く約 2% の Ni 及び Cu 両成分

を含む試料 3 種を平炉鋼丸棒，銅線及び電解ニッケルを配合して 50kg 高周波炉を用いて特に熔製し，前同様に加熱速度 6°C/min，保持時間 5 分間及び 60 分間の条件下で実験した。

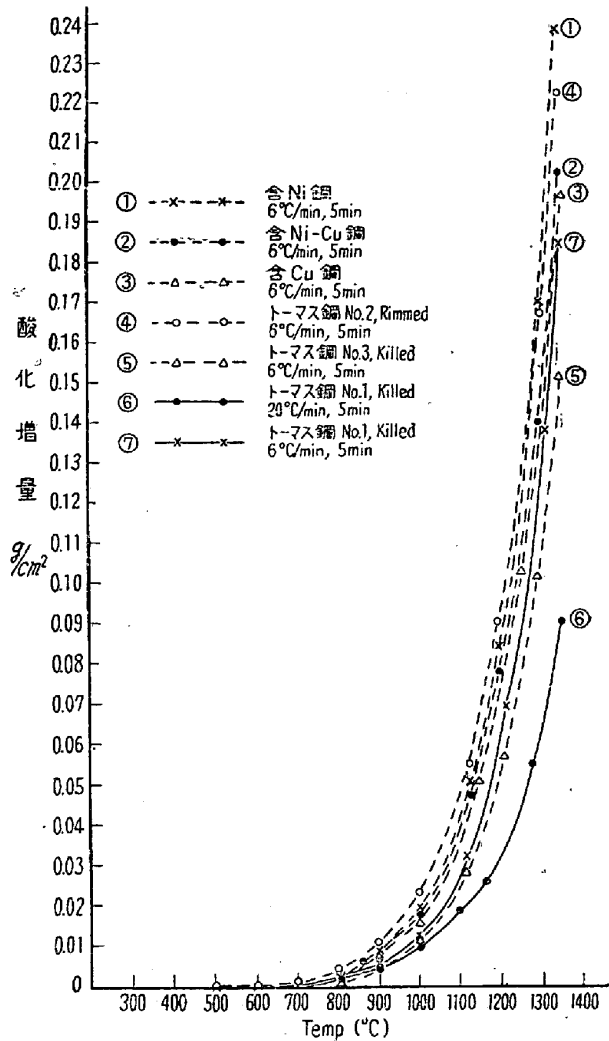
第 3 図の如く，5 分間保持の場合の各実測曲線から分かるように，1100°C 以下の加熱温度範囲で含銅，含ニッケル銅及び含ニッケルの各試料の順に高温酸化性は稍大きくなる傾向を示す。この順序は 1200°C に至ると含ニッケル銅，含銅，含ニッケルの順に変わる。加熱保持時間の長い 1000° 及び 1050°C，60 分間加熱条件の場合の順序は上記の 1200°C の場合と同様である。これ等の点から両元素は高温酸化性に微妙な影響を及ぼしていることが分る。次項に記する如く，高温酸化に伴って生成する合金層の組成，厚さ，密着状態或は又熔融温度等の如何によつて高温酸化速度が左右されているためである。含銅鋼の高温酸化性が他の試料に比べて小さいのは，Cu 分の高い，熔融点の低い合金層が比較的低温で生成され鋼面を被覆し易く酸化を阻むのによると考えられる。

実測曲線から求めた温度及び酸化増量の実験式は第 2 表の通りである。

第 2 表の各実験式から算出される温度範囲 600~1350°C 間の各試料の酸化増量曲線は第 4 図の如くなる。



第 3 図 含 Ni 含 Ni-Cu 及び含 Cu 各鋼の高温酸化性



第 4 図 温度對酸化増量實驗式から算出した 500~1350°C 温度範囲の各試料酸化増量曲線

所定条件で加熱し高温酸化した後の各試験表面状態を観察した結果は次の通りである。

黒色酸化膜及び青黒色スケールが地鉄表面に生成発達する順序は，加熱速度及び保持時間等の条件により多少の温度のずれを認めるが大体次ぎの如く言うことが出来る。先ず地鉄表面に“くもり”を生じ，更に酸化が進むに従つて厚目の黒い酸化膜となり，温度 600~700°C に至りその酸化膜の上層として極めて薄い薄片状スケールを認めるようになる。この薄片状スケールは幾分紫味を帯び下層の酸化膜と完全に分離し，膨らみを呈して僅かな動揺を加えるだけで容易に破れて脱落する。主に Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を主組成とする<sup>2)</sup>。膨らみの程度には試料の種類によつて幾らかの相異がある。酸化膜及び薄片状スケールの共存状態が 600~800°C 範囲の間で持続し，更に昇温し酸化が進むに従つて酸化膜の地鉄面への密着性が弱まり青黒スケールに発達する。同時に薄片状スケールは

(6) 高温酸化後の各試片の表面状態

この新たなスケール表面に漸次熔着し、地鉄面は極く薄い酸化膜で被われる。この段階の温度は、試料の種類により一定でないが約 800~900°C である。更に酸化が進むに従って 2~3 層から成る輝青黒色のスケールで被われた状態となり、地鉄面の肌は荒れ気味となる。

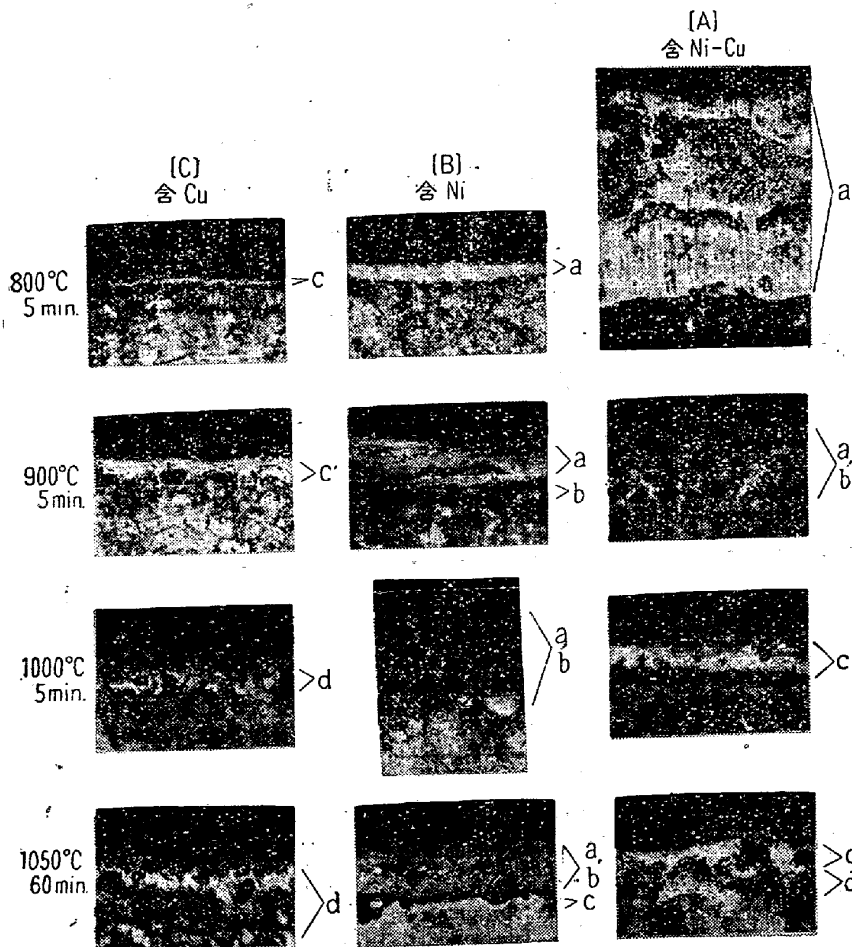
以上は地鉄面に全く酸化鉄層が存在しない場合の結果であるが、酸化鉄層が存在する場合に高温酸化による表面状態変化にどのような影響を及ぼすかという点に就て別個に実験した。酸化膜或はスケールとして酸化鉄層が既着するために約 600~700°C までは新たに同層を生成することなく、同上温度に至り薄片状スケールを生成しその後の酸化は酸化鉄層を既着しない場合と全く同様な過程を辿る事を明かにすることが出来た。

### III. 高温酸化による表面状態に及ぼす Ni 及び Cu 兩元素の影響

一般に電陽性合金元素は電陰性合金元素に比べて優先的に撰択酸化する性質を有し、Ni, Co, C, Mo 等の如き元素は圧延材、殊に薄鋼鋅用圧延材に少量含まれている

場合に圧延に当り欠陥の一因となること、又含銅鋼の場合には Cu が地鉄表面に濃化するために赤熱脆性、高温亀裂或は表面肌を荒れを起し易いこと等が報告されている<sup>3)~7)</sup>。又含銅鋼の肌荒或は赤熱脆性は少量の Ni を共存せしめることによつて減じ得る点に就て G.H. Clamer<sup>8)</sup> 及び Nehl<sup>9)</sup>等が発表しており、この方面の研究を多数見受けるところである。しかし、それら合金元素が地鉄及び酸化鉄層間の界面に合金層として、或は単に地鉄表面層に濃化した状態で存在するものであるかという点に就ては未だ確認されていない。本研究では、特別に Ni 及び Cu の含量の高い試料を調整して高温酸化速度に及ぼす兩元素の影響を調べると同時にこの点を確かめる目的で炭素鋼高温酸化に伴う鋼中兩元素の挙動、地鉄表面状態に及ぼす兩元素の影響に就て検討した。

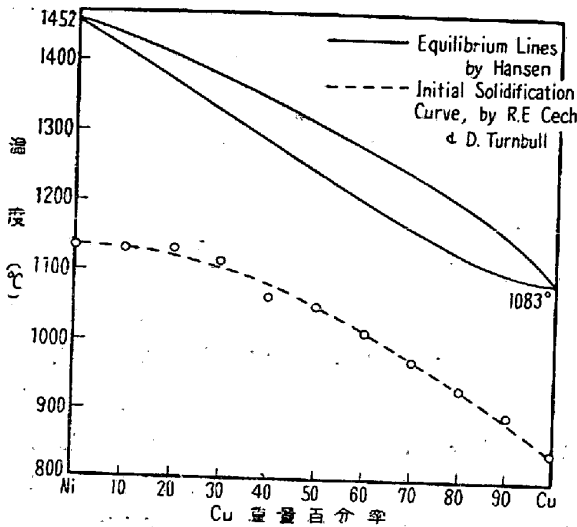
第5図顕微鏡写真の如く、Cu 及び Ni は未酸化のまま生成スケール中の合金粒、或は界面層としての合金被覆層の状態で残留し、明瞭に合金層を認めるに至る温度は兩元素の鋼中含量及び同比率如何によつて左右され Cu が多いほど低温側となり熔融状となる温度が低いこと、合金層の熔融化が進むに従つて地鉄表面層の結晶粒間に侵入して地鉄面に緊密に密着した状態の合金被覆層となること、粒間侵入程度は Cu が多いほど温度が高いほど激げしく地鉄表面層の組織は異常性を呈してくること、又合金被覆層の厚さは高温となり酸化が進むと共に増加すること等の諸点を明かにすることが出来た。



3% 硝酸アルコール腐蝕

a: 酸化鉄層 b: 合金粒 c: 合金層 d: 熔融合金層の地鉄への侵入  
第5圖 含 Ni, 含 Ni-Cu, 含 Cu 鋼の各試片界面層顯微鏡寫真 (×250)

第6図の Ni-Cu 二元状態図によると兩成分は如何なる割合でも固溶し、合金の凝固温度は Cu が増し Ni/Cu 比が小さいほど Cu の熔融点 1083°C に近づく。又、R. E. Cech 及び D. Turnbull<sup>10)</sup>によれば焼結始発温度は同図中の曲線の如く凝固温度より約 200~300°C だけ低い値が報告されている。上記の如く本実験結果はこれ等の点と略ぼ良く一致した傾向を示し、合金層は未酸化の Ni 及び Cu の微粒子の凝集焼結を経て熔融化して生成するものと考えられる。第3図の如く Ni の多い試料の場合に比較的低い温度でスケール中の合金粒を認め易く、合金層生成温度が高目であるのは Ni が



第 6 圖 Ni-Cu 合金の凝固及び焼結温度

高いために焼結熔融化が起り難いのに因る。

第 5 図中の含ニッケル銅鋼 A 試片 (800°C 加熱) の写真はスケールを全く取り除かないままの状態を撮つたもので金生成スケール層を示す, その他の試片の写真では剝離できるスケール層を取り除いた状態を示す。

合金被覆層の厚さは位置的な凹凸により一定していないが, 1050°C, 1hr 加熱後の含ニッケル及び含ニッケル銅の両鋼試片の場合で実測による厚さは平均 0.006~0.010mm 及び 0.008~0.014mm 程度であつた。

普通炭素鋼々材に含まれている両元素は本試料の場合に比べて遙かに僅少であり 1/10~1/20 程度かそれ以下と見做し得るが, 高温酸化が激げしく起る場合に同質の合金粒或は又合金層が同様に生成することを容易に予想し得るところである。

高温酸化に伴つて生成する合金層の厚さ (Z, cm) は, Ni 及び Cu 両元素が全く酸化することなく地鉄面に金属層として残留するものと仮定することによつて鋼に含まれる両元素の含量 (q = aNi + bCu, %) 及び酸化増量 (y, g/cm<sup>2</sup>) との関係として次式で表わすことが出来る。

高温酸化により酸化した鉄量 = x kg. 試片, 鋼片或は鋼塊の全表面積 = S cm<sup>2</sup>. 任意加熱条件の酸化増量 = y, g/cm. Ni 及び Cu の平均密度 = ρNi+Cu. 生成スケール層の酸化鉄組成 = f.

$$x = \{(\text{スケールの全 Fe 量}) / (\text{スケールの全 O}_2 \text{量})\} \times (y \times S) / 1000 \dots\dots\dots (1)$$

$$z = (x/S) \times q \times (1000) / \rho_{Ni+Cu} \dots\dots\dots (2)$$

(1) 及び (2) の両式から

$$z = \{(\text{スケールの全 Fe 量}) / (\text{スケールの全 O}_2 \text{量})\} \times (y \times q) / \rho_{Ni+Cu}$$

$$= f \times (y \times q) / \rho_{Ni+Cu}, (cm) \dots\dots\dots (3)$$

上式 (3) を用いて上記の両試料の場合に 1050°C 加熱 (加熱速度 6°C/min) で生成する合金層の厚さを算出した結果は, 夫々約 0.007mm 及び約 0.014mm となり実測による厚さに略ぼ近い数値が求められた。この点から本関係式は妥当性を有し, 又仮定が正当であることが分る。鋼塊及び鋼片を加熱炉或は均熱炉で加熱する場合に酸化増量及び両元素の鋼中含量が既知であれば生成する合金層の予想の厚さを求めることが出来る。

生成する合金層の厚さは, 同上関係式から高温酸化の著しいほど, 両元素の含量が高いほど大きくなる傾向のあることを定量的に理解できる。両元素含量の低い普通炭素鋼々材の場合にも加熱に際して高温酸化が激げしく y の値が大であれば厚い合金層の生成を招くこととなり, 又酸化を阻止出来るような炉内雰囲気で加熱を実施する所謂 Controlled Atmosphere 法によれば両元素の含量 q が高くとも両元素の影響は問題とならず合金層も生成しないと考えることが出来る。

#### IV. 總 括

空气中高温酸化実験結果の主な諸点を要約すれば下記の通りである。

- 1) 酸化増量は加熱速度のおそいほど大きい。
- 2) リムド鋼はキルド鋼に比べて高温酸化性大きい。その原因は Si 含有の有無にあるものと考えられる。又キルド鋼の場合, Si 量の高いほど高温酸化性は小さい。
- 3) C 量の高いほど高温酸化性は幾らか小さくなる傾向を認める。C 量の多少により影響される程度は Si 量の影響に比べて遙かに弱い。
- 4) 酸化鉄層が既着しない鋼の表面に酸化膜或はスケール等の酸化鉄層が生成発達する順序は, 先ず酸化膜による“くもり”を生じ, 更に酸化が進むに従つて厚目(約 0.1mm)の黒色酸化膜 (FeO = 54~63, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 45~36%) となり, 約 600~700°C の温度に至り酸化膜の上層として膨らみのある薄片状スケール (FeO = 2~15, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 96~85%) の発生をみる。更に高温に至ると酸化膜は青黒色スケール (FeO = 41~42, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 56~57%) に変わり薄片状スケールはこれに熔着し始める。酸化が更に進むと共に下層スケールは 2~3 層となり輝青黒色を呈し始め, 同時に地鉄面の肌が荒れ始める。
- 5) 鋼中 Cu は鋼の高温酸化速度を低める傾向を有する。Cu 分の高い熔融点の低い合金層が鋼面を被覆し酸化を阻止するのに因る。
- 6) 鋼中 Cu 及び Ni 両元素の鋼の高温酸化に伴う挙

動, 並びに地鉄表面状態に及ぼす影響は次ぎの通りである. 約 800°C 加熱により地鉄及び生成スケールの界面に合金の粒或は被覆層として沈積し始め, その傾向は高温となり酸化が進むに従つて顕著となる. 鋼中 Ni/Cu 比が小さいほど合金層の生成温度は低く地鉄表面層の結晶粒間に侵入し鋼組織を異常になし易い. 生成する合金層の厚さを鋼中両元素の含量, 酸化増量, 両元素の密度及び生成スケールの化学組織等との間の関係として表わせる関係式を誘導し, 又合金層の厚さ, 含量及び加熱条件等の関係に就て論述した.

7) 高温酸化実験結果から加熱速度 6 及び 20°C/min の場合の酸化増量対温度の実験式を求めた.

本研究に対し御懇切なる御指導と御鞭撻を賜つた菊池浩介所長に深甚な感謝の意を表する. (昭.29-2 月寄稿)

文献その他

1) A. Preece, A. T. Richardson & J. W. Cobb: First Report of the Alloy Steels Research Committee, 1936, p. 213  
 2) 本文註: 本文に記した実験と別個に大型試片を用い実験し明かにできた酸化層の化学組成は, 黒

色酸化膜 FeO=54~63, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=45~36%, 青黒色スケール FeO=41~42, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=56~57%, 薄片状スケール FeO=2~15, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=96~85% であつた.

3) 池島, 森島: 第 42 回日本鐵鋼協會講演大要録, 昭和 26 年 10 月, p. 52  
 4) 沖: 第 40 回, 第 41 回日本鐵鋼協會講演大要録 昭和 25 年 9 月, p. 17, 昭和 26 年 4 月, p. 57  
 5) 河合: “鐵と鋼”, 昭和 27 年, 第 38 年, 第 10 號 P. 8, 同誌, 昭和 28 年, 第 39 年, 第 3 號, p. 182  
 6) Schottky, Schichtel & Stolle: Arch. Eisenhüttenwes. 1930/31, 4, S. 541.  
 7) P. B. Michailoff-Michejeff: Nachr. Metallind., Moskou, 1932, Heft. 6 u. 8.  
 8) G. H. Clamer: Proc. Amer. Soc. Test. Mat. Bd. 10, 1910, p. 267  
 9) Nehl: St. u. Ei, 1933, 53, S. 773.  
 10) R. E. Cech & D. Turnbull: Journ. of Metals 1951, March, p. 242.

ガスタービン用耐熱鋼の研究 (III)

(昭和 28 年 10 月本會講演大會に講演)

小柴定雄\*・九重常男\*\*

INVESTIGATION OF HEAT-RESISTING STEEL FOR GAS TURBINES (III)

Sadao Koshiba, Dr. Eng., and Tsumeo Kuno

Synopsis:

The authors studied the effect of carbon, silicon and manganese contents on the aging of Ni-Cr-Co austenitic heat-resisting steel containing 15% Ni, 20% Cr and 15% Co.

The authors first examined the change of their hardness due to various heat treatments of each sample: i e, a solution-treatment and aging, and then observed the microstructure.

As the results of these experiments, they gave most moderate composition and heat treatment for Ni-Cr-Co austenitic heat-resisting steel, concluding that (1) C 0.3~0.4%, Si 0.5~1.0%, Mn 1.5~2.0%. (2) The solution-treatment at 1200~1250°C, and the aging temperature at 700~750°C, the aging time being 6~12 hours.

I. 緒 言

れる. 又最近その使用温度は益々高温となる傾向にあり

ガスタービン用耐熱鋼の重要性は先<sup>1)</sup>にも述べた如くガスタービンの性能は耐熱材料に左右されるとまで言わ

\* 日立製作所安來工場 工學博士

\*\* 日立製作所安來工場