

669.14.018.298.2:669.15'26-194:621.785.52.01
 ; 669.24:669.28:669.3

- 2) J. M. THORNTON: Materials in Design Engineering, Aug. (1960), p. 111
- 3) 堀田: 鉄と鋼, 40 (1954), p. 613
- 4) 堀田: 鉄と鋼, 42 (1956), p. 333
- 5) 堀田: 鉄と鋼, 44 (1958), p. 38
- 6) 堀田: 鉄と鋼, 47 (1961), p. 449
- 7) 堀田: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 573
- 8) 堀田: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 652

ゴットに分鑄した。電解鉄を使用した試料 CR5 も小型実験炉で溶解した。試料 CR6 は市販鋼 SCM21 種であり、試料 CR7 は同材を Ar 雰囲気中で約 500g を再溶解したものである。鋼塊は鍛造または冷圧により 300 mm ϕ および 0.10 ± 0.01 mm の板材にし、平衡炭素濃度測定用試料片は 0.10 mm の板を 20×20 mm 角に切断し、拡散係数測定用試片は丸棒より 30×25 mm ϕ にし、また浸炭ジョミニー試片は規格寸法に加工した。浸炭は前回と同様 Lindberg 社 150 mm ϕ の管状ガス浸炭炉を用いた。また C の分析は Wösthoff 式電気伝導法により、N は JIS 容量法により分析した。

(176) 1%Cr 鋼の浸炭特性におよぼす微量 Mo, Ni, Cu の影響

金属材料技術研究所

○倉部兵次郎・工博 荒木 透・宮地博文

Effect of Small Amount of Molybdenum, Nickel and Copper on Gas Carburizing Characteristics of 1%Cr Steel.

Hyojiro KURABE, Dr. Tōru ARAKI
 Hirohumi MIYAZI.

1. 緒 言

筆者らは鋼に対する微量不純金属の影響を調べるため主として肌焼鋼を対照とし、前回¹⁾は構造用低炭素鋼の浸炭特性に対する 1% 以下の Ni, Cr 複合添加の影響を報告した。本報は肌焼鋼として 1%Cr 鋼を選定し、ガス浸炭特性およびガス浸炭窒化層におよぼす微量の Cu, Ni, Mo の影響を検討した。JIS 規格によるとクロム鋼 (SC γ 系) の不純物としての Cu は 0.35% 以下、Ni は 0.30% 以下に規定されている。これらの不純物はオーステナイト中の C の物理化学的性質に対して Cr, Mo と反対の作用を示すため、その影響は無視できないものと考えられる。また製造履歴の違いをみるため供試材として市販鋼を採用した。Cr 鋼と Cr-Mo 鋼の関係もみるため 0.2%Mo の影響を調べた。

2. 試料および実験方法

試料は 7 鋼種あり、化学組成および溶解条件は Table 1 の通りである。試料 CR1 から CR4 は小型実験炉で 80kg 溶解し、Mo, Cu, Ni 量を変化させて 20kg イン

3. 実験結果と考察

3.1 平衡炭素量に対する不純物の影響

Fig. 1 は板厚 0.1 mm の試料を 3 段階のカーボンポテンシャル雰囲気中で 5 hr 間浸炭したときの平衡炭素分析量を表わしたもので、Fig. 1 a は A cm 線以下の γ 相域で浸炭したときの炭素量を示し、Fig. 1 b は A cm

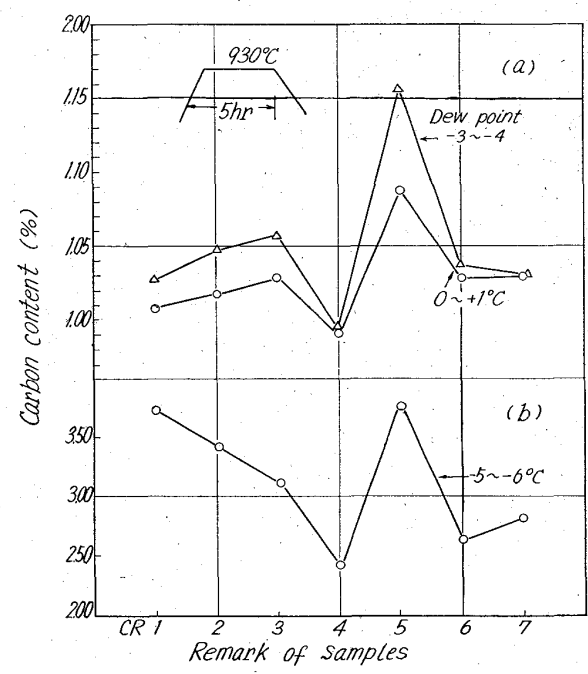


Fig. 1. Equilibrium carbon content in carburizing gas at various dew point.

Table 1. Chemical composition of steels used.

Mark	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	O	Grain size	Remarks
CR 1	0.13	0.22	0.73	1.04	<0.03	<0.03	0.08	0.0106	6	Constructional low carbon steel melted under air.
CR 2	0.13	0.20	0.73	1.05	0.12	<0.03	0.08	0.0114	6	"
CR 3	0.12	0.18	0.70	1.03	0.22	<0.03	0.08	0.0120	6	"
CR 4	0.12	0.18	0.68	1.00	0.22	0.25	0.29	0.0137	6	"
CR 5	0.05	0.19	0.73	1.05	<0.03	<0.03	<0.02	0.0052	6	Electrolytic iron melted under air.
CR 6	0.17	0.29	0.77	1.09	0.21	0.10	0.14	0.0035	9	Commercial steel.
CR 7	0.18	0.32	0.75	1.09	0.21	0.10	0.14	—	—	Commercial steel melted under argon.

線以上のカーボンポテンシャルで浸炭したときの値を示している。同一カーボンポテンシャル雰囲気における平衡C量は試料により異なる。その理由は γ 相のCの活量は共存元素によつて影響されるためである。この共存元素の影響は、各元素の相互作用母係数をもとに計算できる。この方法は多成分系からなる稀薄溶液の活量を求めるのに便利であり、 γ 相でのCの活量もCに対する各元素の相互作用母係数をもとに計算できる。しかしながら溶鋼における相互作用母係数の実測値は多数あるが、 γ 相での測定値は少ない。試料の基本成分Si, Mn, CrのバラツキによるCの活量の変化は実験結果に影響をあたえるため、Table 1の各試料につき計算した結果 $\pm 1\%$ 程度の違いで、Cの活量は同一と考へて支障ない。Moの影響は Fig. 1aのCR1, 2, 3で表わされ、0.2%Mo付加により平衡C量は約0.03%増加している。 γ 相のCに対するMoの相互作用母係数の測定値は不明であるが、溶鋼の測定値によると活量を低下させる作用を示しており、 γ 相でも同様な作用により浸炭のC量を増加させるものと考えられる。また浸炭温度930°CではMoを含む鋼は κ 炭化物[(Fe, Cr, Mo)₂₃C₆]の析出の可能性もあり、このことがC量を増加させる一因となることも考えられる。不純物としてのNi, Cuの影響は Fig. 1aの試料CR4で表わされ、CR3に比較するとNi, Cuの付加により0.04~0.06%C低下している。Niは γ 相におけるCの活量を増加するとされ、A. J. HECKLER²⁾はCの活量係数を次式で与えている。

$$\ln \gamma_C = 7.5N_C + (1.3 + 3.5 \times 10^3/T)N_{Ni}$$

しかし上式に0.25%Niを代入してC低下量を計算すると約0.01%となり、Cuの影響を考慮したとしても実測値よりかなり少ない。Cuに関する実測値はなく計算できないが、溶鋼における相互作用より判断して γ 中でもNiよりも強くCの活量を増加させると考えられるが一方、佐野ら³⁾によるとCuはCr, Mnと同様Cの活量を低下させる元素であることを報告しており、Cuの挙動については明らかでない。製造履歴の異なつた市販鋼CR6は小型実験炉で溶製した試料と変りなく、また溶解によつても変化は認められなかつた。電解鉄溶製鋼CR5の活量が最も低く、一般的不純元素がきわめて少ないことおよびガス含量などが原因と考えられる。Fig. 1bは各試料のセメントタイトの生成速度の違いを表わし、Moの増加により若干低下する。この一因としてMoによる γ 相中のCの拡散速度の低下が考えられる。また炭化物生成を阻止するNi, Cuは生成速度をおそくした。

3.2 Cの拡散係数に対する不純物の影響

浸炭には γ 相内のCの拡散が重要な因子であり、Fickの第二法則にしたがう。カーボンポテンシャル一定という条件のもと

に解けば、 $C(x,t) = C_0 \left\{ 1 - \phi \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right\}$ となり、Gaussの誤差函数表からDの値が決定できる。上式をもとに γ 相の炭素の拡散係数におよぼす微量のMo, Ni, Crの影響を調べた。拡散係数測定用試片の浸炭は浸炭温度930°C、露点-7~-8°C、処理時間16.5hrで行ない断面を軸方向に0.2mm毎に切削してC分析を行なつた。その結果をTable 2に示す。同表をもとに各試料の拡散係数を計算した結果をFig. 2に示す。図中の◎印はCyril WELLS⁴⁾による炭素鋼における測定結果を示したもので1%Cr鋼とほぼ同程度の値を示している。1%Cr鋼に0.2%Moを付加すると拡散係数は若干低下し、J. L. HAM⁵⁾も同様な結果を認めている。Cu, Niを含むCR4はCR3に比較してかなり増加した。Cyril WELLSによるとNiは拡散を促進するとし、CuもNiと同様な作用を示すと考えられるからこの結果は理解できる。市販鋼は最も低く結晶粒の微細化が大きく作用し

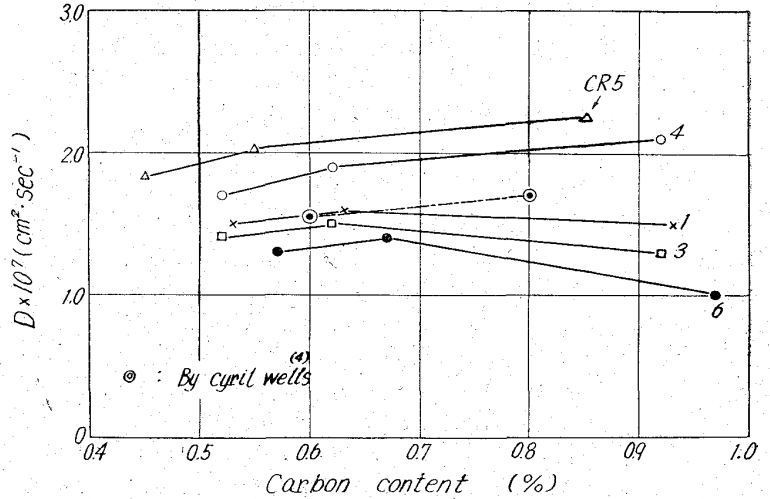


Fig. 2. Comparison of D values in carburized case at 930°C.

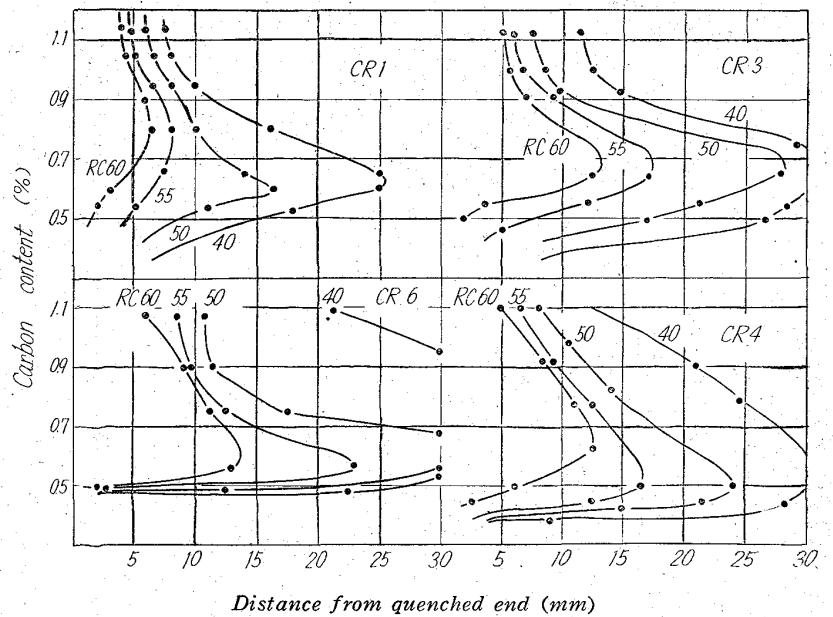


Fig. 3. Isohardness diagram of carburized CR 1, 3, 4, 6 specimens.

Table 2. Relation between the values of C-C₁ and distance from surface.

Sample	Distance from surface (mm)					
	CR 1	CR 3	CR 4	CR 5	CR 6	
C-C ₁	0.4	1.36	1.32	1.46	1.53	1.27
(%)	0.5	1.19	1.15	1.30	1.36	1.10
	0.8	0.66	0.61	0.78	0.85	0.55
C ₀ -C ₁ (%)	1.30	1.30	1.30	1.35	1.30	

Note C: Local concentration at distance from surface of sample.

C₁: Carbon of core.

C₀: Constant surface concentration.

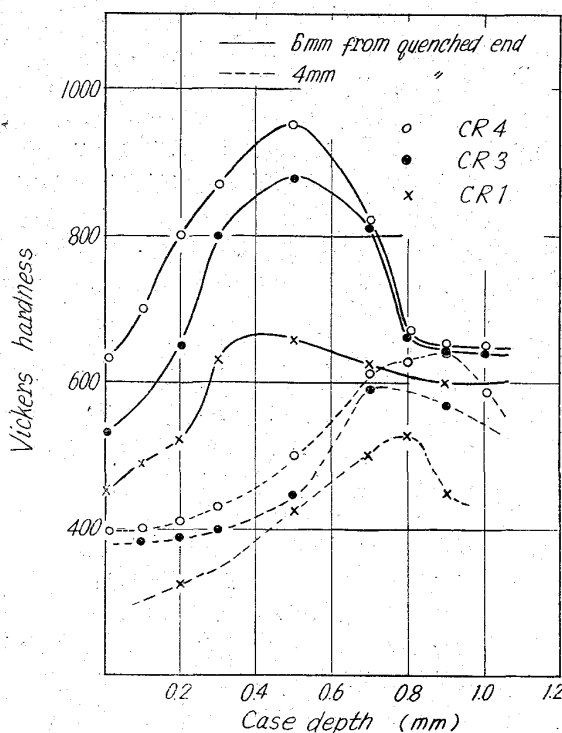


Fig. 4. Hardness curve of case at 6 mm and 14 mm from quenched end of jominy piece.

ているのである。また電解鉄溶製試料 CR5 が最も高い値を示したが、不純物が少ないということから常識的に肯定される結果である。

3.3 浸炭層の焼入性におよぼす影響

浸炭層の焼入性の比較は等硬度図⁶⁾によると便利である。その結果を Fig. 3 に示す。1%Cr 鋼の浸炭層の最大焼入性は0.6~0.7%C 域に存在し、0.2%Mo の付加は焼入性をかなり増加させる。Ni, Cu を含有する CR4 は最大焼入性C域を若干低C側に移行させ全体に焼入性を改善し、とくに高炭素側で顕著である。またジョミニ試片の焼入面から距離 6mm, 14mm における浸炭層断面の硬度曲線を示した。Fig. 4 はこの関係をさらに明りようにしている。微量の Mo はパーライト変態およびベーナイト変態をおそくし、焼入性を高めるが、そ

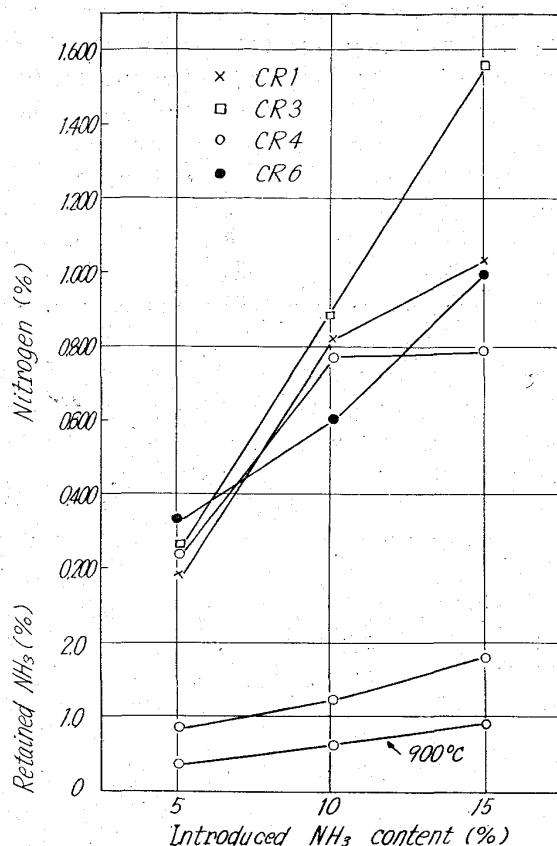


Fig. 5. Equilibrium nitrogen in carbo-nitriding gas at 830°C.

の効果は Cr 鋼よりも Ni 鋼に添加した方が顕著で⁵⁾、その原因の一つは炭化物の溶解速度の違いによるものと考えられ、微量の Ni, Cu も同様な効果を示し焼入性を増加させると考えられる。市販鋼の焼入性は細粒のためやや略なつた曲線をとつている。

3.4 浸炭層の飽和 N₂ 量に対する不純物の影響

つきに浸炭層に浸炭窒化を行つたときのN量に対する Mo, Cu, Ni の影響を調べた。ガス浸炭窒化の目的は浸炭層の耐磨耗性および耐疲労性を増加させる処理で工業的には浸炭ガスにアンモニアを 5~15% 程度混合させ、790~900°C で処理する。浸炭窒化条件として前もつて 1.30%C に浸炭した 0.1mm 厚の試料を処理温度 830°C, アンモニア添加量を 5%, 10%, 15% とし 10 hr 浸炭窒化した。アンモニア添加前の露点は 0 から 1°C で添加後は約 10°C 前後であつた。Fig. 5 はその結果を示す。平衡するN量は 0.2%Mo 付加により増加し、Ni, Cu の添加により低下し、その傾向は窒素ポテンシャルの高い程著しくみられる。塩浴を用いて明らかにした 700°C 以下の Fe-C-N 三元平衡状態図⁶⁾から類推すると処理後の本試料はε 窒化物の析出しない状態にあつた。γ相中のNの活量におよぼす第3元素の相互作用母係数⁷⁾によると Mn, Mo, Cr, V の順に活量を低下し、Ni は増加させる。Cu は溶鋼で Ni と同様な作用を示すことからγ相でも同じと考えられる。すなわち本実験結果も同一傾向を示した。母係数をもとに計算したN量の差は本実験値よりも小さく、原因としてC, またはセメタイトなどの影響が考えられる。

なお未分解の残留アンモニアは浸炭ガスを飽和した1N H₂SO₄溶液による吸収減量で測定し、Fig. 5に分析値を示した。この値は平衡値に比較すると若干高い。

4. 結 言

1%Crを含む肌焼鋼の浸炭特性におよぼす0.2%Mo、および0.2%Ni-0.3%Cuの影響を総括すると次の通りである。

1) ガス浸炭雰囲気中での浸炭層の炭素濃度は0.2%のMo添加により増加し、少量のNiとCuの付加により低下を示した。市販鋼と小型実験炉溶製鋼とに差は認められなかつた。

2) 930°Cにおける炭素の拡散係数は従来の測定と一致し、Moの添加により若干低下を示し、Ni、Cuでは増加がみられた。純度の高いCr鋼はさらに高い値を示した。また微粒の市販鋼は低い値を示した。

3) 浸炭層の焼入性は0.2%Moでかなり増加し、Ni、Cuの付加により高C域の焼入性の改善がみられた。

4) アンモニアを含むガス浸炭窒化雰囲気における窒化量はMoの付加により増加し、Ni、Cuの付加では逆に低下し窒素ポテンシャルの高い程顕著な傾向がみられる。

文 献

- 1) 倉部, 荒木, 吉松: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 562
- 2) A. J. HECKLEL, P. G. WINCHELL: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Met. & Pet. Eng., 227 (1963), p. 732
- 3) T. YOSHIDA, K. SANO: Memoirs Fac. Eng., Nagoya Univ., 5 (1953), p. 96
- 4) Cyril WELLS, Robert F. MEHL: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Met. & Pet. Eng., 140 (1940), p. 279
- 5) J. M. HODGE, J. L. GIOUE, R. G. STORM: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Met. & Pet. Eng., 185 (1949), p. 218
- 6) Erich Scheil, Wolfgang Mayr: Arch. Eisenhüttenw., 6 (1962), p. 285
- 7) 盛, 新名, 一瀬: 日本金属学会誌, 27 (1963), p. 49

(177) Cr-Mo および Ni-Cr-Mo 肌焼鋼 (JIS-SCM21 および SNCM21) の高温浸炭による変形について

(鋼の高温浸炭による変形に関する研究—II)

関西大学工学部

工博 森田善一郎・○中村康彦・中島弘紀

On the Dimensional Change of Cr-Mo and Ni-Cr-Mo Case Hardening Steels (JIS-SCM21 and SNCM21) after High Temperature Carburizing.

(Studies on the distortion of steels in high temperature carburizing—II)

Dr. Zen-ichiro MORITA, Yasuhiko NAKAMURA and Hironori NAKAJIMA.

1. 緒 言

筆者らは、前報¹⁾において、鋼の高温浸炭における重要な課題の一つである変形の問題をとりあげ、まず炭素鋼22種(JIS-S15CK)につき検討した。その結果、浸炭による変形は主として材料表面の浸炭による膨脹にもとづくものと考えられ、変形量は浸炭量に比例して増大し、同一浸炭深さの条件のもとでは浸炭温度の影響はきわめて少ないことが認められ、高温浸炭の実用にさいしては変形よりもむしろ結晶粒の粗大化の点で問題があることを指摘した。

今回は浸炭、焼入能の異なる鋼種と対比するため、Cr-Mo 肌焼鋼(JIS-SCM21) および Ni-Cr-Mo 肌焼鋼(JIS-SNCM21)につき前回と同様の実験を行なうとともに炭素鋼22種(JIS-S15CK)についてもさらに検討を加えた結果をここに報告する。

2. 実験方法

前報¹⁾と同様の標準試料を各鋼種につき作成し、浸炭条件(温度および時間)を変えて浸炭処理した場合ならびにさらに焼入および焼戻しを行なつた場合の変形量、表面硬さ、内部硬さおよび結晶粒度などを測定し比較検討した。実験試料の化学組成をTable 1に示す。

各試料とも、まずアルゴン雰囲気中で歪取り焼鈍をしたのち、浸炭炉を用いてRXガスにより浸炭を行なつた。すなわちSCM21, SNCM21両鋼種試料については前報と同様930, 980, 1050°Cの温度でそれぞれ1, 2, 3, 5hr またS15CK鋼種試料については同一浸炭深さにおける変形量を検討するためTable 2に示すような浸炭条件を定めてそれぞれ浸炭を行ない、いずれもガスを調節して試料の表面炭素濃度が1.0%になるようにした。

焼入、焼戻し処理も前報とほとんど同様で、試料はいずれもRXガス中で850°C, 30min加熱後同温度より油焼入(50°C)を行ない、つづいて空気中で150°C, 1hr焼戻しを行なつた。なお焼入時における試料の冷却槽への投入法その他の熱処理操作はすべて前報と同様である。

また試料の変形量および硬さの測定は、いずれも前報と同様1/100mm精度のマикроメーターならびにロックウェル硬度計を用いて測定し、浸炭深さは微小硬度計を用いて硬度分布より求めた。