

第67回(春季)講演大会講演論文集(II)

Technical Papers (Part II) for the 67th Grand Lecture

Meeting of The Iron and Steel Institute of Japan.

第 5 会 場 (性 質・分 析)

(90) 機械構造用炭素鋼(調質材)の諸性質におよぼす不純物としての Ni, Cr の影響

(鋼の諸性質におよぼす不純金属の影響に関する研究—II)

金属材料技術研究所

○吉松 史朗・理博 河田 和美
工博 荒木 透・工博 中川 龍一

Effects of Ni and Cr on Properties of Constructional Carbon Steel.

(Studies on effects of metallic impurities on properties of steel—II)

Shiro YOSHIMATSU, Dr. Tomomi KAWADA,
Dr. Toru ARAKI and Dr. Ryuichi NAKAGAWA.

I. 緒 言

普通鋼に残留する少量の Ni, Cr の影響を調べる目的で, さきに炭素量の異なる SC 材 3 鋼種の焼準材におよぼす少量の Ni, Cr の影響につき報告したが¹⁾, 今回は調質材における影響を調べる目的で S50C を選び, 0.9% までの Ni, Cr を単独, 複合添加してその諸性質におよぼす影響を調べた。

II. 供 試 材

Table 1 に各供試材の化学成分を示す。基本成分は市販 S50C とし, S 系列は Ni, Cr を単独にそれぞれ 0.3, 0.6, 0.9% を目標に, また D 系列は Ni, Cr のレベルを変えて上記成分を複合に添加し溶製した。溶解は

塩基性高周波溶解炉で 100 kg 溶解し, Ni, Cr の量を変化させて 50 kg イソゴットに分鑄し 2 鋼種とした。つぎに 1150°C に加熱後焼入性試験片用には 30mm 角, 疲労試験片用には 20mm φ, 引張, 衝撃そのほかの試験片用には 10mm φ まで鍛圧した。引張, 衝撃, 疲労の各試験片は, 840°C×30min 加熱後油焼入し 650°C×1hr 焼戻しを行ない直ちに水冷した。なお引張試験片は平行部 6mm φ×50mm, 衝撃試験片は 7mm 角 2mm V ノッチ, 疲労試験片は小野式平滑材にそれぞれ仕上げで試験に供した。

III. 実験結果および考察

1) 焼 入 性

供試材の焼入性の測定は, 一般に用いられている一端焼入法によつた。焼入温度は 840°C とし焼入法ならびに硬さ測定は JIS によつて行なつた。硬さ曲線のほか, 試験片上の 50% マルテンサイト点を測定し各元素の焼入性におよぼす影響を求めた²⁾。Fig. 1 はその結果を従来求められている結果と併記したものである。Ni の効果は単独添加材では非常に少なく, また Ni 0.6% までは複合添加材でもほぼ同一の焼入倍数の巾には入ると見てよい。本実験ではバラッキの巾を求めていないのでつきり差が存在するかどうかは明らかでないが, Cr の共存下では Ni の量が増すと Ni の焼入効果はやや上るようである。また Cr についてはやはり共存 Ni の量が多いと Cr の焼入効果はやや上昇するのではないかと思われる。

2) 焼 戻 性

各供試材の焼戻し硬さを 200~700°C の温度範囲で

Table 1. Chemical composition of the specimens. (%)

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Al
S 51	0.50	0.23	0.59	0.013	0.025	0.18	0.038	0.050	0.016
S 52	0.49	0.20	0.56	0.012	0.019	0.18	0.37	0.046	0.022
S 53	0.49	0.24	0.61	0.012	0.019	0.17	0.68	0.045	0.015
S 54	0.50	0.21	0.58	0.012	0.023	0.17	0.91	0.044	0.019
S 55	0.53	0.25	0.57	0.010	0.025	0.17	0.040	0.32	0.017
S 56	0.53	0.29	0.58	0.011	0.021	0.16	0.041	0.60	0.015
S 57	0.51	0.26	0.55	0.010	0.023	0.16	0.041	0.92	0.017
D 51	0.48	0.26	0.40	0.012	0.024	0.18	0.34	0.57	0.010
D 52	0.48	0.27	0.40	0.012	0.024	0.18	0.35	0.87	0.015
D 53	0.50	0.30	0.54	0.012	0.024	0.17	0.69	0.31	0.023
D 54	0.47	0.30	0.52	0.012	0.023	0.17	0.63	0.57	0.018
D 55	0.47	0.31	0.54	0.012	0.026	0.17	0.64	0.87	0.016
D 56	0.51	0.19	0.55	0.012	0.028	0.16	0.94	0.31	0.009
D 57	0.51	0.27	0.46	0.023	0.023	0.16	0.96	0.60	0.019
D 58	0.51	0.17	0.53	0.012	0.027	0.16	0.94	0.85	0.008

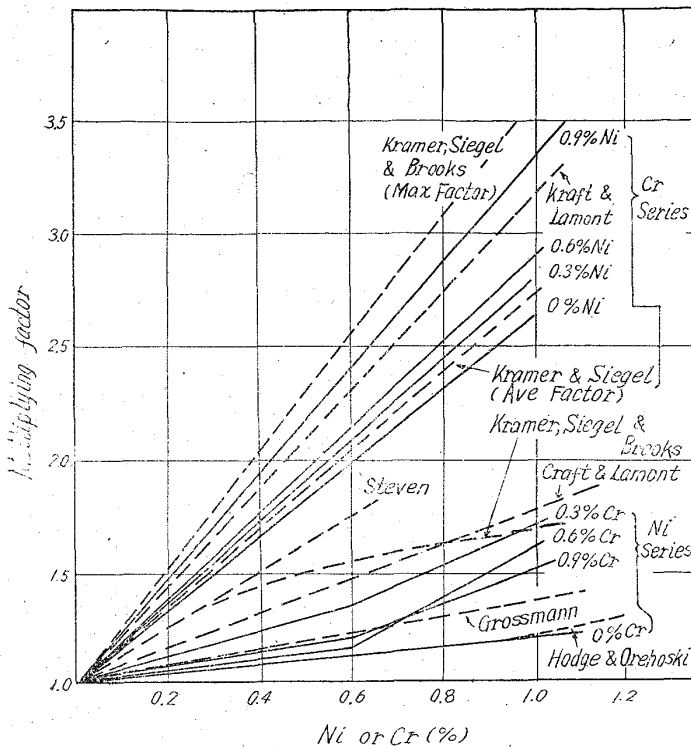


Fig. 1. Effect of Ni and Cr content on hardenability factor.

各1hr 焼戻して測定した結果、Ni は焼戻し抵抗をさほど示さないが、Cr はかなりの効果がある。Cr および Ni を各 0.9% 含む試料と基本材について、550~700°C の温度範囲で焼戻し硬さと時間の関係を求めてみると、Fig. 2 のようになる。一般的な Rate Process の関係 $Rate = K \exp(-Q/RT)$ によつて、今実用的な意味で HRC 20 を基準にとつて各焼戻し温度における所要時間をプロットし、基本材と Ni, Cr 各 0.9% 含む試料にお

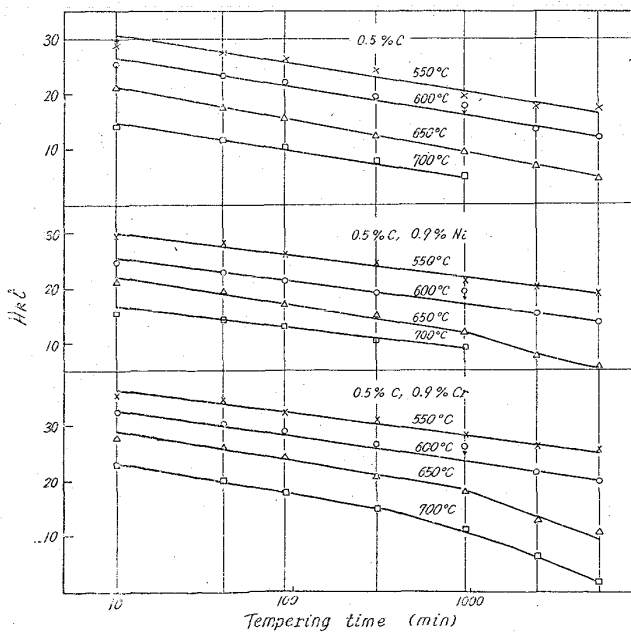


Fig. 2. Hardness changes of tempering at various time-temperature.

ける活性化エネルギーと思われる量を求めてみると基本材で約 61500 cal/mol, 0.9% Ni 材で 70500 cal/mol, 0.9% Cr 材では 80500 cal/mol となる。基本材ではほとんど α 鉄における自己拡散の値³⁾ に一致しているが、Cr 0.9% を含むとかなり大きい値を示す。

焼戻し温度と時間を一つの Parameter⁴⁾ にとり硬さとの関係を求めると比例関係を示すが、Parameter の値が大きくなるとこの直線性が失われてくる。この変化は Cr 系で著しく、Cr のような炭化物形成元素はむしろ直線性を示す範囲において軟化抵抗が著しく、ある Parameter (本実験では、 $(T(16.4 \times \log t)) = 17 \times 10^3$) 以上においては Cr が炭化物の方へほとんど拡散してしまう現象と、熱力学的に考えて表面エネルギーを小さくする方向すなわち粒内の炭化物あるいは小さい炭化物の再固溶によつて粒界炭化物の凝集、球状化が進行する過程とが影響をおよぼしあい、附随的に地の結晶粒の成長、再結晶がおこなわれ軟化が急速に進行する。かつ LIVSHITS らによると、Cr の存在によつて炭化物と平衡するフェライト中における C% を内部摩擦で測定した結果⁵⁾、Cr/C=2 at% までは急速に Cr の量とともにフェライト中の C が減少するとされている。その説によれば地鉄の軟化もわずかながら硬さの低下に一役かつていると考えられる。

基本材, 0.9% Ni, 0.9% Cr の 3 鋼種において、上記の Parameter がほぼ等しい値の試料すなわち 16, 17, 18×10^3 の焼戻しを行なつたものの炭化物を電顕で観察し任意に抽出して、その大きさをフェライトとセメントタイトの界面エネルギーの観点から定めた一つの size Parameter⁶⁾ によつて分類しその数の分配を Fig. 3 に示す。(0.9% Ni 材省略) 基本材では炭化物の成長がはつきり示されるが、Ni 0.9% の試料ではわずかに遅滞が認められた Cr 0.9% の試料では Parameter の値が小さいと非常に成長が妨げられるが、ある値以上では成

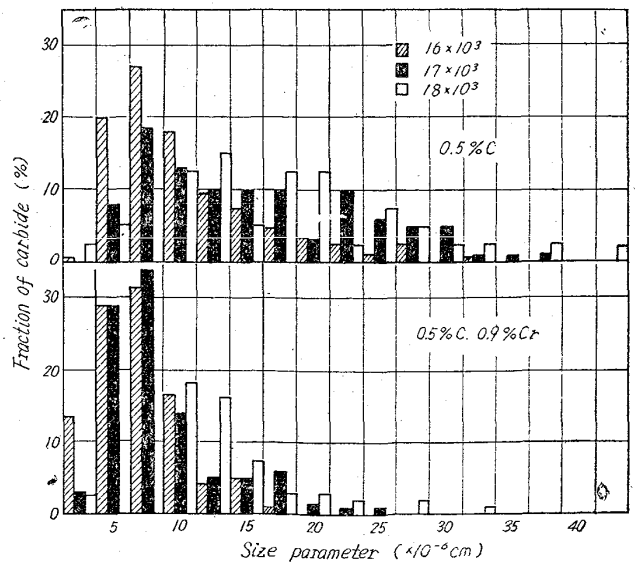


Fig. 3. Carbide size distribution at various tempering parameter.

長が速くなることが明らかに見られる。

また各供試材の焼戻し第 3 段階の炭化物析出温度範囲を Dilatometric に測定した結果、析出開始、終了温度ともに Ni, Cr の添加によつてわずかに上昇する傾向を示すがさほど顕著ではない。

以上の結果から焼戻し性に対する Ni, Cr の影響は、それぞれ炭化物の析出過程よりはむしろ凝集過程を制御する作用にあり、そのために軟化抵抗を示す。そして Ni の場合は地における C の拡散に影響を与え、成長速度を制御し、Cr の場合は炭化物—地鉄間の Cr の易動度に関連して易動度の低い間は地における Cr と C の interaction のために拡散が制御され軟化抵抗が大きい。高温長時間側では急速に炭化物の凝集がおこり、付随的に結晶粒の成長も進んで、軟化が進行するものと考えられる。

3) 引張り性質

引張り諸性質の結果は Fig. 4 に示す。引張り強さは Ni, Cr の添加量に比例して増加し、降伏強さも同様の傾向を示す。単独添加材では引張強さおよび降伏強さの増加量はそれぞれ約 12.5 kg/mm²/1%Cr, 13.5 kg/mm²/1% Cr および 6.0 kg/mm²/1% Ni, 6.5 kg/mm²/1% Ni であるが、複合添加材では 0.9% ベースにおいて、それぞれ 17.0 kg/mm²/1% Cr, 19.5 kg/mm²/1% Cr および 10 kg/mm²/1% Ni, 10.5 kg/mm²/1% Ni であつて増加量は添加量によつて相加的でないことを示している。絞り、伸びに対する影響は、焼準材の場合のように大きくあらわれずわずかに Ductility が低下する傾向を示す。したがつて調質材の引張り性質においては、0.9%までの Ni, Cr ではさほど悪影響はみられずむしろ引張り強さ、降伏比の上昇に有効である。

4) 衝撃特性

衝撃試験片は焼入性を考慮して 7mm 角の小寸法のも

のを採用した。試験片巾が小さくなると、一般に遷移温度は低下し標準寸法のものとの比較が問題となるが⁷⁾、本実験では吸収エネルギーを 35mm² の断面積当りで求めているので標準寸法のものとの比較はさける。遷移温度を TrE (最大エネルギーの半値の温度) で求め、最大エネルギーとともに Ni, Cr 含有量の影響をみると、最大エネルギーに対しては影響が少ない。TrE は単独添加材ではあまり影響があらわれないが、Cr はやや遷移温度を下げるようである。複合添加材では Cr は明らかに遷移温度を低下せしめ Ni も同様の効果を示すが Ni 0.6% 付近に極少点が存在するような傾向がみられる。

焼戻しマルテンサイトの脆性破壊はフェライトの粒界破断が大部分で一部劈開破断を示す⁸⁾。すなわち本実験の熱処理条件では Ni は基本材にくらべて粒界炭化物はやや少ないが、地鉄を固溶体強化せしめるので脆性域で悪影響があらわれると考えられる。Cr の場合はまだかなりの細かい炭化物が残留しておりそのため結晶粒が細かい。地の C も低下していると考えられるのでこれらの因子が重なつて脆性域を低温に移動せしめるのであろう。複合添加材における Ni の影響は Cr と共存で炭化物、結晶粒の成長をおさえる効果と Ni の地鉄におよぼす固溶体強化の影響とのかね合いで極少点が生じるのではないかと推測する。

5) 疲労特性

疲労試験は小野式回転曲げで行ない、1500 rpm の条件で S-N 曲線を求めた。結果の一部を示すと、

試料	疲労限 (kg/mm ²)	耐久比
0.5%C, 0.3%Cr, 0.6%Ni	39.0	0.50 ₈
0.5%C, 0.3%Cr, 0.9%Ni	40.0	0.50 ₉
0.5%C, 0.9%Cr, 0.9%Ni	44.0	0.50 ₉
0.5%C, 0.9%Cr, 0.6%Ni	43.0	0.50 ₉

疲労限は、Ni, Cr の添加により上昇する。耐久比は、Cr の添加によつてわずかに低下するが、さほど問題にするほどではない。したがつて特に Cr の場合は、添加量が増すと炭化物の大きさ、分配が変化するわけであるが、本実験の範囲では疲労特性に悪影響はあまりないと考えられる。

IV. 結 言

S50C に 0.9%までの Ni, Cr を単独、複合に添加し、調質材の諸性質におよぼす影響を調べた結果を要約すると、次のようである。

1) 焼入性におよぼす Ni の効果は、含有量が多い場合 Cr の共存で幾分異なるようであり、また Cr の効果も Ni を多く含む材料では焼入性を

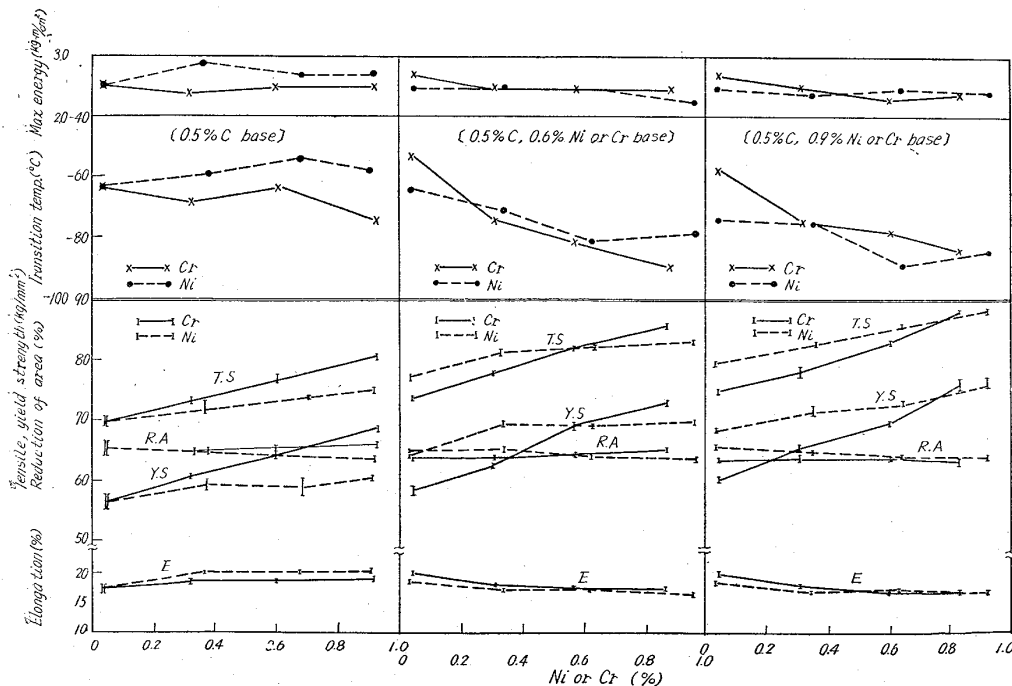


Fig. 4. Effects of Ni and Cr coligant on tensile and impact properties at single and duplex additions.

向上せしめる倍数が大きくなる。

2) 焼戻し抵抗は, Ni, Cr ともに増加の傾向にあるが, 炭化物凝集過程におよぼす影響のために特に Cr の添加によつて強くあらわれる。

3) 引張り特性は, Ni, Cr の添加量とともに向上し, 特に Cr の添加によつて引張り強さ, 降伏点, 降伏比はかなり上昇する。そして伸び絞りの減少は少ない。

4) 衝撃特性, 特に遷移温度は Ni の単独添加ではやや上昇し, また Cr との共存で Ni はある程度まで遷移温度を低下せしめる。Cr は全般に遷移温度を低下せしめる。

5) 疲労特性では, Ni, Cr ともに悪影響は認められない。

文 献

- 1) 吉松, 河田, 荒木, 中川: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 529
- 2) J. M. HODGE, M. A. OREHOSKI: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & pet. Eng., 167 (1946), p. 502
- 3) F. S. BUFFINGTON, I. D. BAKALAR, M. COHEN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 188 (1950), p. 1374
- 4) K. W. ANDREWS: Precipitation in steel, (1959), p. 292
- 5) L. S. LIVSHITS, S. I. PANICH, Ye, A. ASSONOVA: Phys. Met. and Metallography, 13 (1962) 4, p. 85
- 6) B. S. LEMENT, B. L. AVERBACH, M. COHEN: Trans. Amer. Soc. Metals, 47 (1955), p. 291
- 7) 作井, 中村, 布村, 藤原: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 672
- 8) A. M. TURKALO: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 218 (1960), p. 24

(91) 少量の Ni, Cr を含む構造用 低炭素鋼の滲炭性とその性質

金属材料技術研究所

○倉部兵次郎・工博 荒木 透・吉松史朗

Characteristics of Gas Carburized Low Carbon Construction Steel Contain- ing Small Amount of Nickel and Chro- mium.

Hyojiro KURABE, Dr. Tōru ARAKI
and Shiro YOSHIMATSU.

I. 緒 言

肌焼鋼の需要は自動車および機械工業の発達により近年とみに生産量も増加し, 滲炭作業面および材質面で多くの研究がなされている。肌焼鋼には添加元素の種類および添加量の多数の組合せがあるがまだ基礎的資料は十分でない。すなわち滲炭作業は滲炭および熱処理と一連作業からなるため, 鋼質, 滲炭性, 焼入性, 滲炭焼入層の物理的性質についての相互関係の究明に困難がある。ただし滲炭焼入層の性質は鋼質の差異により顕著な影響をうけることは明らかである。本実験では低炭素構造用鋼に微量の Ni, Cr を複合添加せる平炉溶製鋼および実験炉溶製試料について滲炭性, 滲炭層の焼入性および機械的性質を検討するとともに, 肌焼鋼として使用する場合の問題点についてあわせ調査した。

II. 供試材および実験方法

実験に用いた供試材の内 Table 1 の L-1 ないし L-7 は本協会共同研究会ラテライト研究部会鋼質分科会の試料として, 20 t 塩基性平炉で溶製されたものの一部で, 最終 30mm φ, 20mm φ, 8mm φ に熱間圧延した試料である。試料の Ni, Cr の複合添加量の組合せは 7 種類であり, その化学組成およびオーステナイト結晶粒度は表の通りである。結晶粒度は滲炭処理後の滲炭層と心部について瞬間酸化法により測定した。滲炭層のオーステナイト結晶粒は心部より若干細粒の傾向を示し, また試料 L-2 はやや粗粒を示し, 酸素量の高いことに関連している。焼入性試験に用いた標準ショミニー試験片は 30mm φ 材より切削加工し, 両面を 0.3mm 平面研摩し硬度測定面とした。また 20mm φ 材より 4 号シ

Table 1. Chemical composition and austenite grain size.

Specimen	Chemical composition								* Grain size	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	N	O	Case	Core
L-1	0.12	0.23	0.54	0.03	0.06	0.030	0.0057	0.0020	9.0	8.8
L-2	0.15	0.24	0.61	0.51	0.33	0.005	0.0056	0.0098	6.9	6.8
L-3	0.12	0.27	0.54	0.49	0.54	0.006	0.0046	0.0046	8.0	7.6
L-4	0.12	0.22	0.47	0.47	0.61	0.006	0.0039	0.0032	8.5	7.9
L-5	0.13	0.23	0.56	0.49	0.85	0.018	0.0033	0.0030	9.0	8.5
L-6	0.12	0.23	0.42	0.97	0.22	0.013	0.0051	0.0023	9.3	8.8
L-7	0.14	0.29	0.53	0.99	0.66	0.012	0.0038	0.0026	9.3	9.0
D-13	0.17	0.24	0.43	0.61	0.29	0.011	0.0086	—	~7	6.0
D-14	0.16	0.22	0.42	0.62	0.57	0.016	0.0074	—	//	5.6
D-15	0.16	0.23	0.41	0.62	0.84	0.011	0.0073	—	//	6.6

* Specimen carburized for 8 hr at 930°C.