

文 献

- 1) 倉部, 荒木, 吉松: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 562
- 2) 吉松, 河田, 荒木, 中川: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 529
- 3) 荒木, 谷地: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2019
- 4) 竹山: 機械試験所報告, 31号, p. 14
- 5) 白井: 機械試験所報告, 43号, p. 64

(192) 履歴の異なる機械構造用低炭素鋼における不純物としての Ni, Cr の影響について

(鋼の諸性質におよぼす不純金属の影響に関する研究—III)

金属材料技術研究所

○吉松史朗・工博 荒木 透
工博 中川龍一・三井達郎

Effect of Small Amount of Ni and Cr on Properties of Low Carbon Constructional Steels from Different Histories. (Studies on effects of metallic impurities on properties of steel—III)

Shirō YOSHIMATSU, Dr. Tōru ARAKI, Dr. Ryūichi NAKAGAWA and Taturō MITUI.

1. 緒 言

合金元素としての Ni, Cr の影響については、過去に

数多くの研究があるが 1%未満のいわゆる不純物の水準でフェライト+パーライト組織におよぼす影響を系統的に調べた研究は数少ない。このため戻り材よりの蓄積や、また将来ラテライト鉄の開発が進み鉄資源として脚光をあびた場合などを考えると、Ni, Cr など不純物の水準での影響を把握しておく必要がある。当所においては、機械構造用炭素鋼に関する研究をおこないその結果を発表してきたが^{1)~4)}、今回は低炭素鋼の製造履歴の異なる場合における Ni, Cr の影響について、総括的にその結果を眺めてみたい。

2. 供 試 材

供試材中D系列は市販S10Cを原料に Ni, Cr 0.3~0.9% 複合添加した実験炉溶製鋼(第1報参照) L系列は鉄鋼協会ラテライト委の共同研究試料で、20t 平炉溶製鋼であり Ni 0.5, 1.0% をベースに Cr を0.3~0.9%の範囲で添加し、4.4t 鋼塊より 60mm 角のピレットに圧延したものである。P系列はインドネシア産ラテライト鉄を直接還元した海綿鉄を 5t 塩基性電気炉で精錬したものをさらにD系列同様実験炉で Ni, Cr を添加して溶製したものである。またV系列は、当初ガス成分の影響をみる目的で、10kg 高周波溶解炉で真空溶製し 7kg の鋼塊を作成したものであるが、組織的に興味ある変化を示したのでその意味でつけ加えた。なお原料はD系列と同様である。

以上の各試料の化学成分を Table 1 に示す。D, P, V の各系列の鋼塊、L系列のピレットは 1200°C で 1hr 保持後 20mm φ までに鍛圧した。熱処理は 930°C ×

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

Specimen	C	Si	Mn	Ni	Cr	N sol ×10 ⁻⁴	N insol ×10 ⁻⁴	O ₂ ×10 ⁻⁴	Al
D11	0.16	0.22	0.38	0.05	0.04	85	3	107	0.01
D12	0.16	0.20	0.38	0.33	0.33	71	15	100	0.01
D13	0.16	0.22	0.41	0.28	0.56	66	28	114	0.01
D14	0.16	0.21	0.40	0.30	0.83	51	49	100	0.01
D15	0.17	0.24	0.43	0.61	0.29	86	6	100	0.01
D16	0.16	0.22	0.42	0.62	0.57	74	23	95	0.01
D17	0.16	0.23	0.41	0.62	0.84	73	31	111	0.01
D18	0.18	0.26	0.44	0.94	0.30	84	14	94	0.01
D19	0.18	0.23	0.41	0.94	0.54	80	23	107	0.01
D20	0.15	0.21	0.40	0.96	0.84	75	29	120	0.01
L 1	0.12	0.23	0.54	0.03	0.06		57	20	0.03
L 2	0.15	0.24	0.61	0.51	0.33		56	98	0.01
L 3	0.12	0.27	0.54	0.49	0.54		46	46	0.01
L 4	0.12	0.22	0.47	0.47	0.61		39	32	0.01
L 5	0.13	0.23	0.56	0.49	0.85		33	30	0.02
L 6	0.12	0.23	0.42	0.97	0.22		51	23	0.02
L 7	0.14	0.29	0.53	0.99	0.66		38	26	0.02
P 1	0.16	0.23	0.44	0.25	0.11	122	4		0.02
P 2	0.16	0.22	0.43	0.30	0.31	112	16		0.01
P 3	0.16	0.28	0.50	0.60	0.30	111	14		0.01
P 4	0.16	0.25	0.48	0.88	0.30	121	16		0.01
P 5	0.14	0.25	0.43	0.60	0.59	67	57		0.01
P 6	0.14	0.23	0.42	0.60	0.89	44	83		0.01
V 1	0.20	0.32	0.24	0.61	0.31	8	3	3	0.02
V 2	0.21	0.32	0.22	0.60	0.58	8	5	8	0.01
V 3	0.22	0.33	0.24	0.59	0.87	11	5	4	0.01
V 4	0.23	0.33	0.24	0.87	0.30	10	5	3	0.01

30min 保持後 D, L, V 系列は空冷, P 系列は炉冷した。

3. 実験結果および考察

3.1 鋼質ならびに顕微鏡組織

Table 1 から, 酸可溶, 不溶の窒素と Cr の添加量との関係をみると明らかにある相関がみられる。これは M_3C 中に固溶する量の増加も若干考えられるが, 成田¹⁾らのいう特定の窒化物として析出している可能性が大きい。このような変化は, 組織感受性の強い性質には当然影響を与えることが予想される。

顕微鏡組織の代表例を Table 2 に示す。フェライト粒度は任意の線分で載つた平均の大きさをもつて示しているが, いずれの場合も Ni, Cr の影響よりは Al 量もしくはその他の因子の影響の方が強いように思われる。一方パーライト量 (Sp: ポイントカウントで測定した面積率) は, D 系列では影響が明白で, 0.9% 未満の成分範囲で 17% Sp/%Cr, 12% Sp/%Ni 程度の増加をみる。これは Cr 0.6% を含む試料の別途実験からそれぞれ 0.12% C, 0.1% C の効果に相当する。ただし Ni, Cr とも 0.3% 以下ではほとんど測定誤差範囲で, あまり影響が現われない。一方平炉鋼では, Ni, Cr ともに影響が少なくおおよそ 7% Sp/%Cr 程度で, Ni の影響は

Table 2. Effect of Ni and Cr on microstructure

	Ni (%)	Cr (%)	Pearlite (%)	Ferrite G.S. (mm)
D	0.3	0.9	22.5	17
	0.6	0.3	16.6	16
	0.6	0.6	21.9	17
	0.6	0.9	26.4	17
	0.9	0.9	29.5	16
L	0.5	0.5	15.3	14
	0.5	0.6	13.6	19
	0.5	0.9	14.7	13
	1.0	0.6	13.8	13
P	0.3	0.3	12.4	15
	0.6	0.3	13.7	23
	0.9	0.3	12.9	14
	0.6	0.6	11.7	15
	0.6	0.9	14.8	26
V	0.6	0.3	32.0	17
	0.6	0.6	35.0	17
	0.6	0.9	69.5	12
	0.9	0.3	22.2	10

検出できなかつた。この系列は D にくらべて C 量がやや低いこと, およびガス成分の少ないことが影響のあらわれにくい原因であろう。P 系列は空冷で中間段階組織があらわれやすく炉冷試料としたが, そのため一部パーライトの形態に変化がみられる。また窒素量の多いことも一因であるためか, 粒界に連なつたパーライトが認められる。このため Ni, Cr の影響は明らかでなくおおよそ 10~17% 程度の範囲で変化している。V 系列はガス成分の減少によるパーライトの異常な増大による縮退現象が認められ, Cr はこの現象を増大せしめ, Ni はややパーライトコロニーを小さくせしめるようである。

3.2 引張特性

引張試験は各鋼種とも JIS 4 号片で 4mm/min の速度でおこなつた。得られた結果の一部を Table 3 に示す。さきに IRVINE²⁾ らが統計的に炭素鋼の引張性質を定量化した式* によつて, D, L, P 系列の基本材についてくると Table 4 のごとくなる。ここで求めた相違値から各鋼種間で一般的に窒素量が多いほど強度が大きく延性は低下することが明らかである。ただし IRVINE らの実験と本実験との間には unknown factor を含めた相違があることを付記する必要がある。

組織上 Ni, Cr の影響が明らかに認められたのは, パーライト面積率 (Sp) である。この点に注目してこれが引張特性にどのような影響を与えるかを調べるために, 別途平均的な組成として Cr 0.6% 添加した試料で C を 0.05~0.18% 変化せしめ実験をおこない, 引張強さは 0.36 kg/mm²/% Sp の増加, 絞りは 0.29%/Sp の減少が認められることがわかつた。これは IRVINE らの factor より低値を示しているが, 共存する Cr の影響と考えられる。また本来影響がないと思われる降伏強さはわずかに増加する傾向を示す。そこでわれわれの求めたパーライト量の引張強さへの寄与を各試料についてあてはめると, 実験値のバラツキを考慮して実測値とほぼ一致する。しかし D 系列についてよく観察すると Cr は地鉄を軟化せしめる傾向がみられその大きさは約 3~4 kg/mm²/% Cr と推測される。Ni の効果については, はつきり傾向があらわれていないため不明である。

この傾向は P 系列では認められるが, L 系列ではあらわれていない。これは Cr によるパーライト量の増加が著しくないことに関係していると考えられる。これらと異なり V 系列ではパーライトの絶対量が多く, パーライト自身の strain-hardening rate が Cr 量とともに減少していくため(縮退現象により)と思われるが, その上昇率は低い。

Table 3. Difference between calculated and observed tensile properties of the base specimen.

	Calculate T.S. (kg/mm ²)	Observe T.S. (kg/mm ²)	ΔT.S.	Cal' Y.S. (kg/mm ²)	Ob' Y.S. (kg/mm ²)	ΔY.S.	Cal' R.A. (%)	Ob' R.A. (%)	ΔR.A.
D 11	43.2	44.8	1.6	24.9	25.7	0.8	71.3	65.4	-5.9
L 1	44.2	41.7	-2.5	29.0	28.8	-0.2	74.7	71.8	-2.9
P 1	43.7	46.3	2.6	29.2	27.4	-1.8	74.8	60.9	-13.9

* T.S. (kg/mm²); $30.1 + 2.8(\%Mn) + 8.4(\%Si) + 0.40(\%P) + 0.80(d^{-1/2})$

Y.S. (kg/mm²); $10.6 + 3.3(\%Mn) + 8.6(\%Si) + 1.80(d^{-1/2})$

R.A. (%); $78.5 + 5.4(\%Mn) - 0.53(\%P) - 0.34d$

Note d; ferrite mean free path (mm), p; pearlite percents.

Table 4. Effect of Ni and Cr on tensile and fatigue properties and strain aging.

	Ni (%)	Cr (%)	T.S (kg/mm ²)	Y.S (kg/mm ²)	R.A (%)	S.A index (%)	σ_w (kg/mm ²)	$\sigma_w/T.S$
D	0.3	0.9	48.9	29.5	68.9	12.9	24.0	0.49
	0.6	0.3	49.3	31.1	66.0	15.1	27.0	0.55
	0.6	0.6	49.4	30.5	67.5		26.0	0.53
	0.6	0.9	50.0	30.5	68.9	9.5	25.5	0.51
	0.9	0.9	51.1	31.7	70.9	3.3	26.0	0.50
L	0.5	0.5	46.3	31.6	75.0	10.2	26.5	0.57
	0.5	0.6	44.0	28.3	75.7	10.7	24.0	0.55
	0.5	0.9	46.2	31.7	77.5	6.3	24.5	0.53
	1.0	0.6	49.1	34.1	77.2	11.0	27.5	0.56
P	0.3	0.3	45.6	28.2	63.7		24.0	0.53
	0.6	0.3	48.5	32.1	66.3	11.0	25.0	0.52
	0.9	0.3	48.9	32.2	65.5		26.0	0.53
	0.6	0.6	45.8	30.1	69.0		24.0	0.52
	0.6	0.9	46.5	31.2	71.9	0.2	23.0	0.49
V	0.6	0.3	50.4	25.6	64.3	1.6	23.5	0.47
	0.6	0.6	50.5	29.0	65.9		23.0	0.46
	0.6	0.9	57.9	33.7	66.6	0.3	25.0	0.43
	0.9	0.3	52.8	28.6	68.8	2.9	24.0	0.45

S.A index: Strain aging index.

σ_w : fatigue limit by rotary beam bending.

絞りについて同様の処理をすると、ここではパーライト量の増加による減少にたいして各系列とも Ni, Cr は地鉄の延性の上昇に確実に寄与していることがわかる。Ni にくらべ Cr の効果は大きくあらわれている。

降伏強さは D, L, P 系列とも Ni はすべて上昇に寄与していることが示され、1% Ni で約 4kg/mm² 程度の増加が期待できる。V 系列ではパーライトの減少がき

いているため Ni の効果はあらわれていない。一方 Cr の影響は、D, L, P 系列ともに測定値の上からは見られないが、後述の衝撃遷移温度におよぼす影響から考えて Cr は地鉄の固溶効果よりは浸入型元素との相互作用によつて転位の frictional force⁹⁾を減少せしめ地鉄を軟化する効果が考えられる。しかし static な引張試験の場合、組織上のもう一つの因子であるパーライトの層間距離とかその量の寄与をも考えなければならぬから、これらの効果がバランスして Cr の影響が現われないかもしれない。V 系列では明らかに後者の因子が大きいためにかえつて降伏強さの上昇が認められる。

3.3 歪時効特性

歪時効におよぼす Cr の影響については、あまり効果を期待できないため¹⁰⁾報告が少ない。本実験では平行部 6mm ϕ × 50mm の試片を用い引張試験によつて 5% 歪を与え、100°C × 3hr の時効をおこなつて再度引張つた時の降伏応力と 5% 歪時効時の応力との差を求めその増加率をもつて歪時効指数とした。Table 3 に結果を示すが、D, L, P 各系列とも Cr によつて同程度に時効性を減少するが、非時効性を示すには少なくとも Cr 1% 以上が必要である。

3.4 衝撃特性

各系列の JIS 3 号試験片で求めた衝撃特性を Fig. 1 に示すが、D, L, P 系列については、Ni は遷移温度の降下に有効であり、Ni の固溶効果として理解できる。一方 Cr の影響は Ni 以上に遷移温度の降下に有効で 1% Cr で少なくとも 60~70°C 降下せしめる。従来焼準材における 1% 未満の Cr の影響として提出されている値は¹¹⁾その多くはおそらく bainitic な組織を含む場合で、中間段階組織とフェライト、パーライトが混在する場合は衝撃特性を劣下するために Cr の悪影響があらわれたものと考えられる。低炭素鋼で完全なフェライト+パーライト組織を有する場合は Cr の添加によつて確実に遷移温度は低下しかつ最大吸収エネルギーは上昇するということがいえる。V 系列では同様に Ni Cr ともに遷移温度を低下せしめているが、この場合はパーライトの形態による影響とみられる。

3.5 疲労特性

疲労特性は、平滑材の回転曲げ疲労によつて 1500 rpm の条件で疲労限を求めた。その結果の一部を Table 3 に示す。

D, L, P の各系列と前報¹⁾の結果を総合すると、低炭素鋼のフェライト+パーライト組織では Ni は確実に疲労限を上昇せしめ、Cr は低下せしめる効果を持つが 1% 未満では回転曲げ疲労耐久限度比 0.5 までは保証できる。

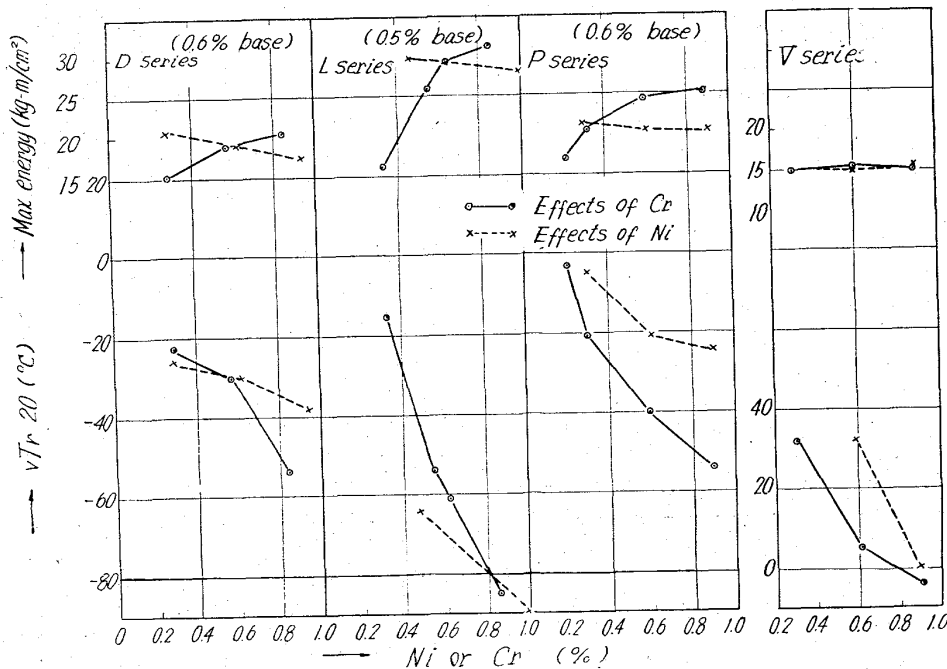


Fig. 1. Effects of Ni and Cr contents on impact properties.

文 献

- 1) 吉松, 河田, 荒木, 中川: 鉄と鋼: 49 (1963), p. 529
- 2) 吉松, 河田, 荒木, 中川: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 559
- 3) 倉部, 荒木, 吉松: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 562
- 4) 荒木, 谷地: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 2019
- 5) 成田, 那須, 佐々木: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1873
- 6) 菊池, 堀川: 鉄と鋼, 37 (1951), p. 366
- 7) A. ROSE, A. WICHER, H. KETTELER: Arch. Eisenhüttenw, 34 (1963), p. 617
- 8) K. J. IRVINE, F. B. PICKERING: J. Iron & Steel Inst (U.K.), 201 (1963), p. 944
- 9) J. HESLOP, N. J. PETCH: Phil Mag., 3 (1958) p. 1128
- 10) W.R.D. JONES, G. COOMBS: J. Iron & Steel Inst (U.K.), 174 (1953), p. 9
- 11) 例えば, 木原: 溶接学会誌, 25 (1956), p. 689

調査した.

2. 供 試 材

100 kVA 塩基性高周波炉を用いて電気炉精製鋼を溶解し, フェロマンガンをおよびフェロシリコンを加えて脱酸した後, V (フェロバナジウム), Nb (フェロニオブ) Ta (金属タンタル) または Al (金属アルミニウム) を添加し, 押湯付 100kg 丸型鋳型に注入して供試鋼塊を得た. 各鋼塊は各種寸法 (最大30mm φ) に鍛伸し供試した. Table 1 に 1000°C 焼ナラシ処理をほどこした各供試材の化学成分を示す. チャージ No. 7 は比較材である.

3. 試 験 方 法

V, Nb および Ta による鋼の機械的性質改善は, これらの元素の炭化物または窒化物による細粒化作用と析出硬化作用とによつてもたらされるが, これら二つの作用はともに熱処理条件と密接に関連している. したがつて今回も前報と同様, オーステナイト化温度は最高1200°C とし, 焼ナラシまたは焼ナマシ処理をほどこした後, 機械的性質 (引張試験, シャルピー衝撃試験) と顕微鏡組織を調査した. 一方本供試材程度の比較的焼入性の劣る鋼種は SAC 試験によつて焼入性を比較することができるので, 同試験によつてこれら少量添加元素が焼入性におよぼす影響を調査するとともに, 焼入焼モドシ状態においてこれらの元素の影響を検討した.

4. 試験結果ならびに考察

4.1 オーステナイト結晶粒度

Table 1 に明らかなごとく, V 鋼は N insol の含有量が他の供試材に比較して著しく高い. V, Nb および Ta 窒化物としての N は N insol に含まれるから, 前記の事実は, 前報と同様, 中炭素鋼においても V は窒化物形成の傾向が大きい, Nb, Ta は窒化物より炭化物形成の傾向の方が大きいものと考えられる.

Fig. 1 は一端焼入法によるオーステナイト結晶粒度測定結果である. Nb および Ta はオーステナイト結晶粒の粗大化防止に非常に有効であることが認められるが, これは Nb および Ta の炭化物による作用と考えられる. V 鋼の粗大化温度は Al 鋼よりやや低い, 粗大化温度以上でのオーステナイト結晶粒は全供試材中で最も小さい.

4.2 引張試験

900~1200°C の各温度に 2 hr 保持した後空冷または炉冷処理をほどこして, 常温において引張試験 (JIS 4号, 12mm φ, 引張速度は毎分 5mm) をおこなつた.

Fig. 2 に試験結果を示す. 焼ナラシ状態では V 鋼が著しく高い強度を示し, 他の 4 供試材の間には大差が認められない. これは原子濃度で比較したとき V 鋼の V 含有量が高いこと, V 化合物のオーステナイト (γ) への固溶

(193) 中炭素鋼の機械的性質におよぼす少量の V, Nb および Ta の影響

神戸製鋼所, 中央研究所

鈴木 章・金田次雄・新名英司○梶 晴男

Effect of Small Additions of V, Nb and Ta on the Mechanical Properties of Medium Carbon Steels.

Akira SUZUKI, Tsugio KANEDA, Eiji NIINA and Haruo KAJI.

1. 結 言

Nb および V が低炭素鋼の強度を顕著に増加することはかなり多数の報告¹⁾²⁾に示されており, これらの元素の強化機構についてもほぼ満足すべき説明が与えられている. 著者らは前報³⁾において, 少量の Nb または V を含有する低炭素鋼の機械的性質が熱処理によつてどのように変化するかを調査し, Nb および V の影響をフェライト結晶粒度および Nb, V 化合物の析出硬化によつて説明した. フェライト+パーライト組織を有する鋼において, フェライト面積率が減少するにつれて Nb, V 添加の効果も小さくなると考えられるが, 中炭素鋼程度ではなおかなりの効果が期待できるので, 本報では 0.35% C-1.30% Mn 鋼の機械的性質におよぼす少量の V, Nb および Nb と同様の作用を有するといわれる Ta の影響を

Table 1. Chemical composition of steels tested (%).

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ta	Al	ΣN	N sol.	N insol.
No. 2 (Nb steel)	0.34	0.28	1.32	0.005	0.006	0.04	—	—	0.002	0.0084	0.0069	0.0015
No. 5 (V steel)	0.34	0.30	1.28	0.006	0.006	—	0.11	—	0.005	0.0074	0.0023	0.0051
No. 7 (Al steel)	0.34	0.31	1.31	0.006	0.005	—	—	—	0.024	0.0080	0.0069	0.0011
No. 9 (Ta steel)	0.35	0.27	1.25	0.007	0.007	—	—	0.13	0.003	0.0062	0.0056	0.0006
No. W(Nb-Ta steel)	0.34	0.31	1.32	0.005	0.007	0.05	—	0.08	0.004	0.0078	0.0074	0.0004