

1によると, liquid 中の Cu% が増加するにしたがい dihedral angle が小さくなるということは, 界面エネルギー γ_{SL} が低下して, relative interfacial energy γ_{SL}/γ_B が 1/2 に近づき, austenite grain boundary cracking に要する破壊応力が低下することを示しているのがよく判る. なお Table 1 の最右端 (σ_2) には, 前記高温引張試験より求めた真応力 (Max. load を一様伸部断面積で除した) 値を参考のため併記した.

V. 結 言

熔融相として liquid Cu-Pb alloy を使用し, これと接触する鋼材の脆化について試験した. その結果 liquid 中の Cu% が増加するにしたがい, 屈曲試験では亀裂の発生がいちじるしくなり, 引張試験では抗張力伸びがいずれも低下して明瞭な脆化が認められ, また, dihedral angle は小さくなつて結晶粒界破壊の応力が漸次低下することが推定された. 通常の破壊は, 鋼材の欠陥に起因して破壊して行く場合が多いと考えられるが, この種の脆化現象はそれと異なり, 熔融相が接触しているために, 亀裂面の界面エネルギーが低くて, 結晶粒界エネルギーのほとんど 1/2 に近く, したがって結晶粒界破壊に要するエネルギーが非常に低値となつて, 金属の表面から結晶粒界にそつて破壊して行くものと推定される. そして亀裂の先端に熔融相が補給される限り,

低い応力下で亀裂が進行して行くと考えられる.

本研究には, 大阪大学教授美馬源次郎博士, 足立彰博士の御教示を賜わり, また住友金属工業株式会社和歌山製造所小田助男所長, 高椋正雄技術部長, 研究試験課長下川義雄博士には本実験の便宜と御激励を頂き厚く御礼申し上げます. (昭和35年3月寄稿)

文 献

- 1) H. SCHOTTKY, K. SCHICHEL & R. STOLLE: Arch. Eisenhüttenw., 4 (1931), 541~547
- 2) R. EBORALL & P. GREGORY: J. Inst. Metals, 84 (1955), 88~90
- 3) W. D. ROBERTSON: J. Metals, 3 (1951), 1190~1191
- 4) C. S. SMITH: A.I.M.E. Institute of Metals Division (1948), 15~51
- 5) D. MCLEAN: Grain Boundaries in Metals. Oxford at the Clarendon Press (1957), 99~100
- 6) N. J. PETCH: Progress in Metal Physics, 5 (1954), 37~39
- 7) 藤田英一: 転位論の金属学への応用, 日本金属学会編 (1957), 189
- 8) K. K. IKEYUE & C. S. SMITH: Metals Transactions 185 (1949), 762~768
- 9) L. H. VAN VLACK: J. Metals, 3 (1951), 251~258
- 10) M. HANSEN: Constitution of Binary Alloys, (1958), 610

熔鉄の窒素の溶解度におよぼすニッケル, コバルト,

モリブデン, クロム, バナジウムの影響*

(熔鉄の窒素の溶解度について—II)

前 川 静 弥**・中 川 義 隆**

Effect of Nickel, Cobalt, Molybdenum, Chromium and Vanadium on the Solubility in Liquid Iron.

(Solubility of nitrogen in liquid iron and iron alloys—II)

Shizuya Maekawa and Yoshitaka Nakagawa

Synopsis:

The solubilities of nitrogen in liquid Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Mo, Fe-Cr, and Fe-V alloys were measured at 1600~1750°C under 760mmHg pressure by the same method as in the report-I (ib., Tetsu-to-Hagané, Vol. 46 (1960), 748).

* 昭和35年4月本会講演大会にて発表 ** 株式会社日本製鋼所室蘭製作所研究所 理博

The results obtained were as follows;

- (1) The solubility of nitrogen in the liquid iron was decreased with increasing nickel and cobalt content. But the solubility was increased with increasing molybdenum, chromium and vanadium content.
- (2) The effect of alloying elements on the activity coefficient of nitrogen in liquid iron was summarized as follows:

$$\left. \begin{array}{ll} \log f_N^{(Ni)} = +0.007 \cdot \%Ni & Ni < 5\% \\ \log f_N^{(Co)} = +0.005 \cdot \%Co & Co < 7\% \\ \log f_N^{(Mo)} = -0.013 \cdot \%Mo & Mo < 7\% \\ \log f_N^{(Cr)} = -0.057 \cdot \%Cr & Cr < 5\% \\ \log f_N^{(V)} = -0.11 \cdot \%V & V < 8\% \end{array} \right\} \begin{array}{l} 1600 \sim 1700^\circ C \\ 1600 \sim 1750^\circ C \end{array}$$

I. 緒 言

第1報¹⁾の熔融純鉄、Fe-Si、Fe-Mn 系にひきつづき Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Mo、Fe-Cr および Fe-V 系熔融合金の窒素溶解度の測定結果について報告する、

II. 実験方法

Fe-Ni、Fe-Co、Fe-Mo、Fe-Cr および Fe-V 系の熔融合金に一気圧の窒素ガスを接触せしめ、一定時間ごとに分析試料を採取し、窒素量を定量して窒素飽和溶解量を求めた。実験装置および実験操作順序などは前報とまったく同様なので省略する。合金元素として添加する金属の純度はできる限り良いものを用いた。

添加金属の純度はつぎのごとくである。

金属名	Ni	Co	Mo	Cr	V
%	99.28	99.57	99.93	99.0	99.78

また、ニッケル、コバルト、モリブデン、クロムおよびバナジウムの分析は学振鉄鋼迅速分析法によつて行なつた。

III. 実験結果

(1) Fe-Ni および Fe-Co 系熔融合金の窒素溶解度
ニッケルおよびコバルトは原子番号も接近し、ともに元素周期律表中の第8属に属し、それぞれの鉄合金中では似たような挙動を示すものと推定される。

1600~1700°C の温度範囲の場合 Fe-Ni 系は約 90 分 Fe-Co 系は約 100 分で完全に飽和量に達している。窒素の溶解度とニッケルおよびコバルト量との関係を Fig. 1 に示す。

すなわち、ニッケルおよびコバルト量の増加にともなつて窒素の溶解度は減少している。しかしその程度は僅

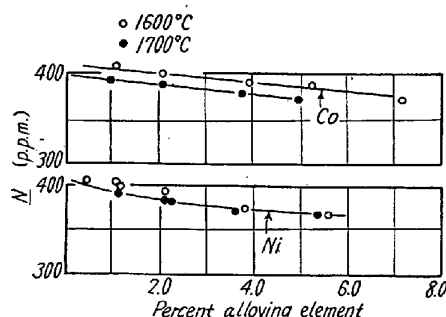


Fig. 1. Effect of nickel and cobalt content on the solubility of nitrogen in liquid iron.

少である。また温度による溶解度の差異は明らかでなかった。

(2) Fe-Mo および Fe-Cr 系熔融合金の窒素溶解度

モリブデンおよびクロムはともに元素周期律表の第6属に属している。それぞれの鉄合金中では似たような挙動を示すものと推定される。

1600~1700°C

の温度範囲の場合 Fe-Mo および Fe-Cr の両系とも 80 ~ 90 分で飽和溶解量に達している。

窒素の溶解度とモリブデンおよびクロム量との関係を Fig. 2 に示す

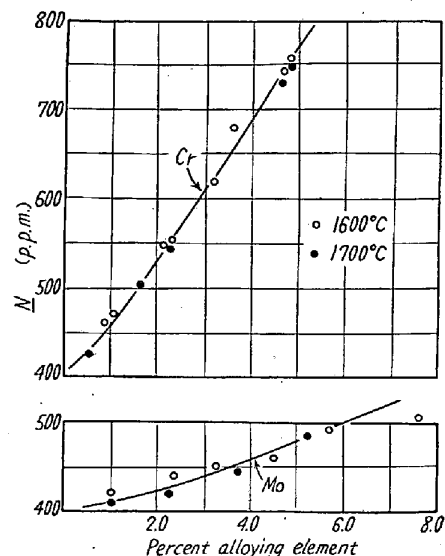


Fig. 2. Effect of molybdenum and chromium content on the solubility of nitrogen in liquid iron.

すなわちモリブデンおよびクロムの増加にともなつて窒素の溶解度は増加している。とくにクロム量の増加による窒素溶解度の増加割合はいちじるしい。また、温度による溶解度の差異は明らかでなかつた。

(3) Fe-V 系熔融合金の窒素溶解度

本系の熔融合金においては、1600°C 以上の温度では約40分程度で飽和溶解量に達している。窒素の溶解度とバナジウム量との関係を Fig. 3 に示す。

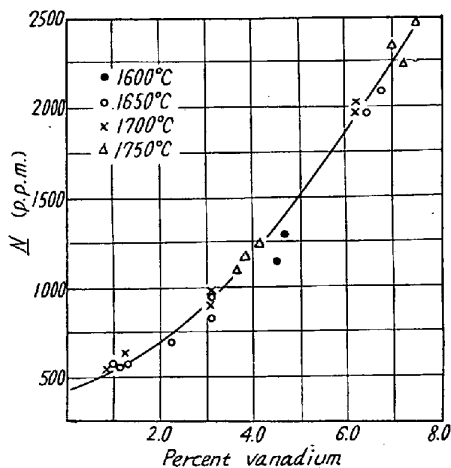


Fig. 3. Effect of vanadium content on the solubility of nitrogen in liquid iron.

すなわち、バナジウムの増加とともに急激に窒素溶解度は増加する。また、温度による溶解度の差異は明らかでない。

IV. 実験結果の考察

(1) 窒素の活量係数におよぼすニッケル、コバルト、モリブデン、クロムおよびバナジウムの影響

第1報¹⁾と同じ要領で $f_N^{(Ni)}$, $f_N^{(Co)}$, $f_N^{(Mo)}$ および $f_N^{(V)}$ を求め、それぞれの対数とニッケル、コバルト、モリブデン、クロムおよびバナジウム量との関係を求めると Fig. 4~6 に示すごとくである。

すなわち、 $\log f_N^{(Ni)}$ —ニッケル量、 $\log f_N^{(Co)}$ —コバルト量、 $\log f_N^{(Mo)}$ —モリブデン量、 $\log f_N^{(Cr)}$ —クロム量および $\log f_N^{(V)}$ —バナジウム量は、それぞれ直線関係を示している。

よつてこれらの関係より

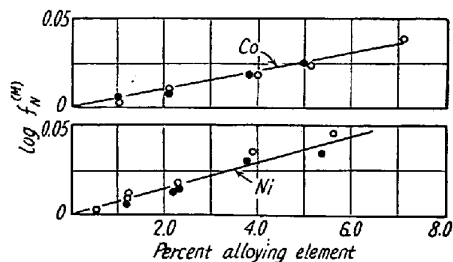


Fig. 4. Effect of nickel and cobalt content on logarithms of the activity coefficient of nitrogen.

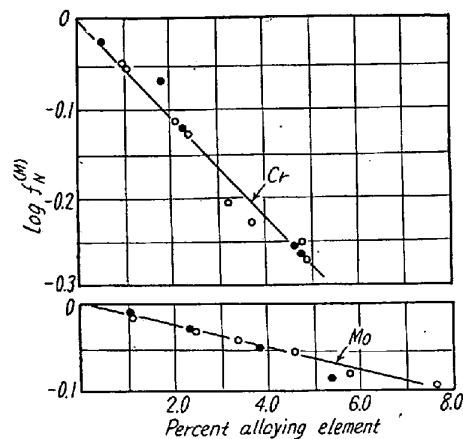


Fig. 5. Effect of molybdenum and chromium content on the logarithms of activity coefficient of nitrogen.

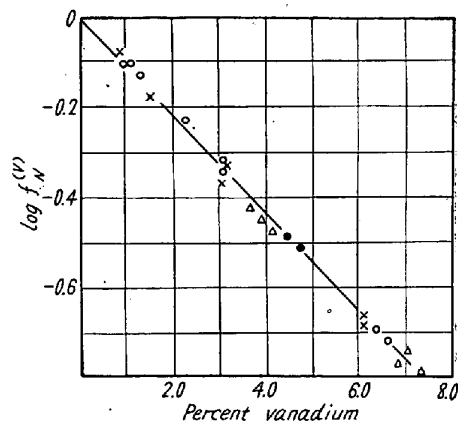


Fig. 6. Effect of vanadium content on the logarithms of activity coefficient of nitrogen.

$$\left. \begin{aligned} \log f_N^{(Ni)} &= +0.007 \cdot \% \text{ Ni} \\ \log f_N^{(Co)} &= +0.005 \cdot \% \text{ Co} \\ \log f_N^{(Mo)} &= -0.013 \cdot \% \text{ Mo} \\ \log f_N^{(Cr)} &= -0.057 \cdot \% \text{ Cr} \\ \log f_N^{(V)} &= -0.11 \cdot \% \text{ V} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} 1600 \sim 1700^\circ \text{C} \\ 1600 \sim 1750^\circ \text{C} \end{array}$$

が得られる。

(2) 従来の研究結果との比較

(i) 窒素の溶解度

窒素の溶解度におよぼすニッケル、コバルト、モリブデン、クロムおよびバナジウムの影響に関するおもな既往研究の結果と本研究の結果との比較を Fig. 7 a および b に示した。

図中、実線は本研究結果を示した。本研究の結果は、ほかの研究結果とかなり異なっているが合金元素量の変化に対応する溶解度の変化割合は、ニッケルおよびバナジウムの場合は VASHYAP²⁾ ら、コバルトの場合は Sch-

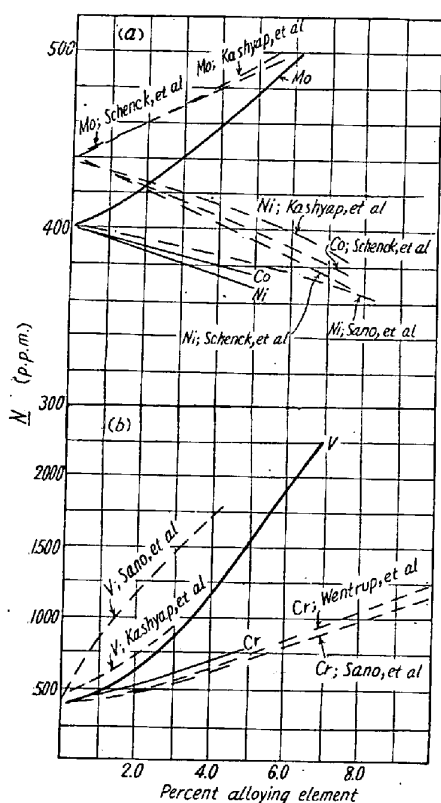


Fig. 7. Effect of alloying elements on the solubility of nitrogen in liquid iron alloys at 1600°C.

ENCK ら、クロムの場合は佐野らおよび WENTRUP らの結果に近い。

(ii) 窒素の活量係数

(i) Fe-Ni 系

本系の熔融合金についての的場、不破²⁾は斉藤³⁾佐野、
蓑輪⁴⁾および WENTRUP, REIF⁵⁾の実験結果より

$$\log f_N^{(Ni)} = 0.005 \cdot \%Ni \quad 1600 \sim 1650^\circ C$$

$$\log f_N^{(Ni)} = 0.004 \cdot \%Ni \quad 1600^\circ C$$

および

$$\log f_N^{(Ni)} = 0.002 \cdot \%Ni \quad 1600^\circ C$$

をそれぞれあたえている。

LANGENBERG⁶⁾は

$$\log f_N^{(Ni)} = 0.009 \cdot \%Ni \quad 1600^\circ C$$

を示している。

また、KASHYAP, PARLEE⁷⁾の実験結果の図上より筆者らが求めた関係は

$$\log f_N^{(Ni)} = 0.007 \cdot \%Ni \quad 1700^\circ C$$

である。

SCHENCK, FROHBERG および GRAF⁸⁾はその実験結果と KASHYAP, PARLEE⁷⁾の結果とより

$$\log f_N^{(Ni)} = 0.0095 \cdot \%Ni \quad 1600^\circ C$$

をあたえている。

以上の結果のうち、比較的新しい実験結果にもとづく値は筆者らの示した式と大体よく一致している。

(ii) Fe-Co 系

本系の熔融合金についての実験はあまりないが SCHENCK, FROHBERG および GRAF⁸⁾は

$$\log f_N^{(Co)} = -0.0072 \cdot \%Co \quad 1550 \sim 1650^\circ C$$

で表らわして、筆者らの式と多少相違しているが、実験の精度などよりして、大体よく一致していると考えられる。

(iii) Fe-Mo 系

本系についての KASHYAP, PARLEE⁷⁾の実験結果の図上より筆者らが求めた関係は、

$$\log f_N^{(Mo)} = -0.098 \cdot \%Mo \quad 1700^\circ C$$

であり SCHENCK, FROHBERG および GRAF⁸⁾は

$$\log f_N^{(Mo)} = -0.0043 \cdot \%Mo \quad 1550 \sim 1650^\circ C$$

を示している。

これに対して筆者らの式は KASHYAP, PARLEEの場合に近い。

(iv) Fe-Cr 系

的場、不破²⁾は従来の多くの実験結果を整理して

$$\log f_N^{(Cr)} = -0.045 \cdot \%Cr \quad 1600^\circ C$$

また斉藤³⁾の実験結果より

$$\log f_N^{(Cr)} = -0.060 \cdot \%Cr$$

をそれぞれ導いている。

筆者らの式は後者の式に近い関係を示している。

(v) Fe-V 系

本系の熔融合金について佐野、蓑輪⁴⁾の実験結果の図上より

$$\log f_N^{(V)} = -0.19 \cdot \%V \quad 1600^\circ C$$

また KASHYAP, PARLEE⁷⁾の結果より同様に

$$\log f_N^{(V)} = -0.095 \cdot \%V \quad 1700^\circ C$$

を求めることができる。

筆者らの式は後者の場合とかなり近い関係を示している。

V. 結 言

以上、熔鉄中の窒素の溶解度におよぼすニッケル、コバルト、モリブデン、クロムおよびバナジウムの影響について実験した。

その結果、熔鉄中の窒素の溶解度はニッケル、コバルトの存在によつて減少しモリブデン、クロムおよびバナジウムによつて増加する。その増加はバナジウムの場合

Table 1. Values of the interaction parameter $e_N^{(X)} = \log f_N^{(X)}$ at 1% X.

Alloying element X	e_N^X	Temperature °C	Range of element X (%)	Worker
Ni	0.007	1600~1700	< 5.0	This research LANGENBERG ⁶⁾ KASHYAP, PARLEE ⁷⁾ WENTRUP, REIF ⁵⁾ SAITO ⁸⁾ *2 SANO & MINOWA ⁴⁾ *2
	0.009	1600	< 20.0	
	0.007*1	1700	< 10.0	
	0.002			
	0.005	1600~1650	0~100	
	0.004	1600	< 16.0	
Co	0.005	1600~1700	< 7.0	This research SCHENCK, FROHBERG, GRAF ⁸⁾
	0.0072	1550~1650	< 24.0	
Mo	-0.013	1600~1700	< 7.0	This Research KASHYAP, PARLEE ⁷⁾ SCHENCK, FROHBERG, GRAF ⁸⁾
	-0.0098*1	1700	< 10.0	
	-0.0043	1550~1650	< 18.0	
Cr	-0.057	1600~1700	< 5.0	This research MATOBA & FUWA ²⁾ SAITO ⁸⁾ *2
	-0.045			
	-0.06	1600~1650	< 13.11	
V	-0.11	1600~1750	< 8.0	This research SANO & MINOWA ⁴⁾ KASHYAP, PARLEE ⁷⁾
	-0.19*1	1600	< 3.75	
	-0.095*1	1700	< 10.0	

*1: Calculated from figure in thase paper.

*2: Reproduction from reference²⁾

にもつとも大きくクロム、モリブデンの順序である。

また、以上の各合金元素 1% における熔鉄中の窒素に対する相互作用助係数 $e_N^{(X)}$ を既往の研究結果とともに示すと Table 1 のごとくである。

(昭和35年4月寄稿)

文 献

- 1) 前川, 中川: 鉄と鋼, 46 (1960), 748
- 2) 的場, 不破: 学振資料 19 委 5593 (1959)
- 3) 斎藤: 日本金属学会誌, 14 (1950), p. 1

- 4) 佐野, 菱輪: 同上, 21 (1957), p. 569
- 5) H. WENTRUP & O. REIF: Arch. Eisenhüttenw., 20 (1949), p. 359
- 6) F. C. LANGENBERG: J. Metals, Aug. (1956), p. 1033
- 7) V. C. KASHYAP & N. PARLEE: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met & Pet. Eng., 212 (1958) p. 86
- 8) H. SCHENCK, M. G. FROHBERG & H. GRAF: Arch. Eisenhüttenw., 29 (1958), p. 673

軸受鋼の熱処理過程における炭化物の組成について*

瀬 戸 浩 蔵**

Composition of Cementite during Various Heat-Treatment Processes on Ball-Bearing Steel.

Kōzō Seto

Synopsis:

As the fundamental concept to get the uniform martensite that was effective to the life of ball bearing, the author considered the behavior of cementite during various heat-treatment processes to arrive at the spheroidizing annealed structure on the manufacturing process.

The primary-eutectoid net-work cementite was sharp and the Cr content in it decreased with

* 昭和 34 年 11 月本会講演大会にて発表 ** 山陽特殊製鋼株式会社