

Ni-Cr-Mo系鋳鋼の機械的性質に及ぼす合金元素および熱処理の影響

Influence of Alloying Element and Heat-treatment on Mechanical Properties of Ni-Cr-Mo Cast Steel

高田 恒夫* 前殿 裕章* 野瀬 誠司**

Tsuneo Takada, Hiroaki Maedono, Seiji Nose

この論文の目的は、Ni-Cr-Mo系低合金鋳鋼において、添加元素であるC, Si, Ni量の配合比ならびに熱処理温度（焼戻し温度）に着目し、それらを組み合わせた結果を統計的に解析することで、高硬度ならびに高靱性を兼ね合わせた新規材料の開発である。

本実験における対象部材はカーシュレツダに用いられるハンマとし、その結果として、いくつかの知見が得られたので報告する。

The purpose of this thesis is as follows: Looking at the mixing ratio of C, Si, Ni and the heat-treating temperature (tempering temperature) in Ni-Cr-Mo low alloy cast steel, this research statistically analyzes the result of combining them and attempts the development of a new material which has both high hardness and high toughness. The applying object is a hammer used for the car shredder. As a result, this thesis reports some findings obtained by us.

1. 緒言

合金鋼鋳鋼品は、合金元素の量や熱処理温度を変えることで、高硬度や高靱性など種々の用途に合わせた材質特性を持たせることができる。しかし、一般的には高強度、高硬度を持たせた材料は耐摩耗性に優れている反面、逆に靱性に乏しい。一方、高靱性を狙った材料は、強度、硬度が低いため耐摩耗性に乏しくなる傾向を示す。この傾向は、相反するものであり、この両者の特性である、高強度、高硬度と高靱性を兼ね備えた材料を開発することは、製品の寿命延長に大きく寄与することは言うまでもない。

そこで本研究では、高硬度と高靱性を兼備させたカーシュレツダ用ハンマ材を開発するため、低合金鋳鋼であるNi-Cr-Mo系鋳鋼において、添加元素であるC, Si, Ni量の配合比ならびに熱処理温度（焼戻し温度）に着目し、これらの要因がおよぼす材質特性について統計的な解析を行った。

2. 開発材の目標値

カーシュレツダ用ハンマ材に対する開発材の目標値を下記に示す。

- a) 引張強さ : $\geq 1765 \text{ N/mm}^2$
- b) 伸び : $\geq 4.3\%$
- c) 硬さ : $\geq 51 \text{ HRC}$
- d) 衝撃値 : $\geq 17 \text{ J/cm}^2$

3. 実験方法

3.1 溶製

供試材であるNi-Cr-Mo系鋳鋼の溶製は、C量を0.28、

0.35、0.42%の3水準、Si量を0.30、0.80%の2水準、Ni量を1.20、1.80%の2水準に変化させ、その他の元素は一定とし100kg高周波誘導溶解炉を用い、肌砂がクロマイドサンドである80T-Yブロックに注湯した。供試材の化学組成を表1に示す。

表1 化学分析結果
Table 1 Chemical composition

No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
1	0.30	0.21	0.86	0.017	0.007	1.17	1.12	0.49
2	0.29	0.15	0.83	0.017	0.007	1.13	1.80	0.51
3	0.30	0.70	0.90	0.017	0.007	1.11	1.16	0.51
4	0.30	0.70	0.88	0.017	0.008	1.11	1.76	0.50
5	0.36	0.15	0.88	0.019	0.008	1.13	1.20	0.48
6	0.35	0.20	0.83	0.019	0.009	1.10	1.72	0.47
7	0.35	0.73	0.90	0.018	0.008	1.06	1.17	0.47
8	0.35	0.72	0.92	0.019	0.008	1.07	1.76	0.50
9	0.42	0.21	0.88	0.019	0.008	1.09	1.20	0.50
10	0.41	0.18	0.84	0.018	0.007	1.08	1.70	0.50
11	0.40	0.73	0.93	0.019	0.007	1.07	1.20	0.52
12	0.41	0.70	0.90	0.019	0.007	1.07	1.77	0.50

3.2 熱処理

供試材の熱処理は、表2に示す熱処理条件にて行った。また、昇温は全て100℃/hである。

表2 熱処理条件
Table 2 Condition of Heat-treatment

	保持温度 K	保持時間 ks
焼鈍 (炉冷)	1273	10.8
油焼入れ	1223	5.4
焼戻し (放冷) (5水準)	473, 573, 673 773, 873	21.6

* 開発室 素形材技術センター

** 鋳物事業部 鋳物技術部 技術開発G

3.3 材質特性

下記の4項目について材質特性の調査を実施した。

- 1) 引張試験
- 2) シャルピー衝撃試験
- 3) 硬さ試験(ロックウェル硬度)
- 4) 耐摩耗性試験(加圧摩耗試験)

4. 実験結果

4.1 引張試験

4.1.1 引張強さ

図1に各試料の引張強さを示す。引張強さは、C量の増加および焼戻し温度が低温側へ移行するほど高くなる傾向を示す。また、同一C量で比較した場合においては、Si、Ni量の増加に伴い引張強さは高くなる傾向を示す。

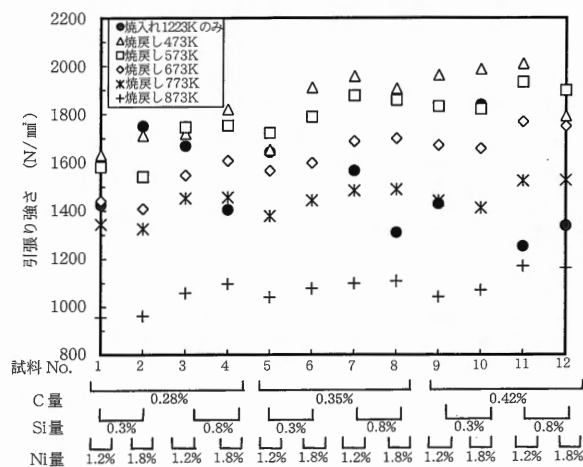


図1 各試料における引張強さ
Fig.1 Tensile strength of each test piece

4.1.2 伸び

図2に各試料の伸びを示す。伸びは、C量の増加に伴い低下する傾向を示し、焼戻し温度が高温側へ移行するほど高くなる傾向を示す。

4.2 硬さ試験

図3に各試料の硬度を示す。硬度は、C量の増加に伴い高くなる傾向を示す。また、Si量の増加により硬さが高くなる傾向が認められる。

4.3 シャルピー衝撃試験

図4に各試料のシャルピー衝撃値を示す。衝撃値は、C量の増加に伴い低下する傾向を示す。

4.4 耐摩耗性試験

図5に各試料の耐摩耗性を示す。耐摩耗性は、C量の増加ならびに焼戻し温度が低いほど耐摩耗性が向上することがわかる。

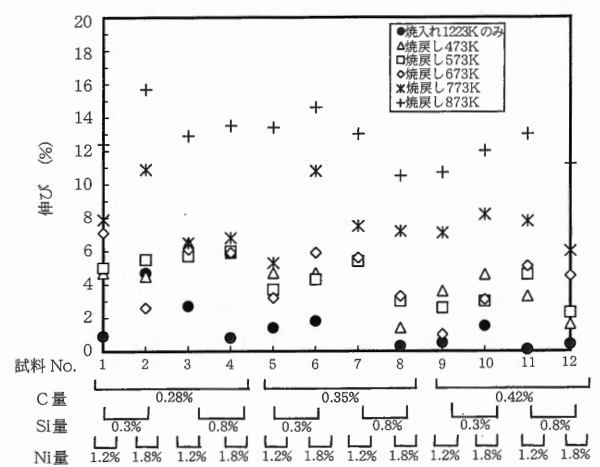


図2 各試料における伸び
Fig.2 Elongation of each test piece

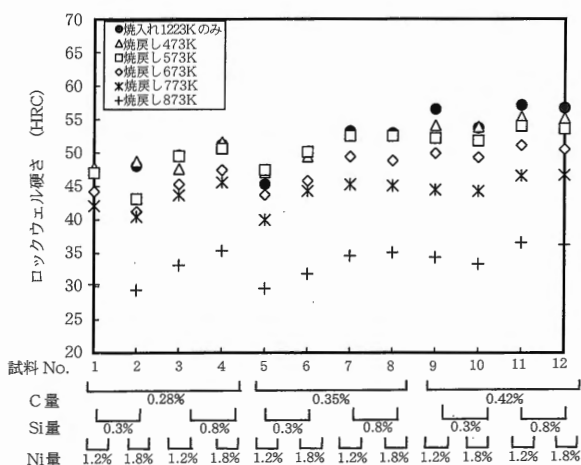


図3 各試料におけるロックウェル硬さ
Fig.3 Rockwell hardness of each test piece

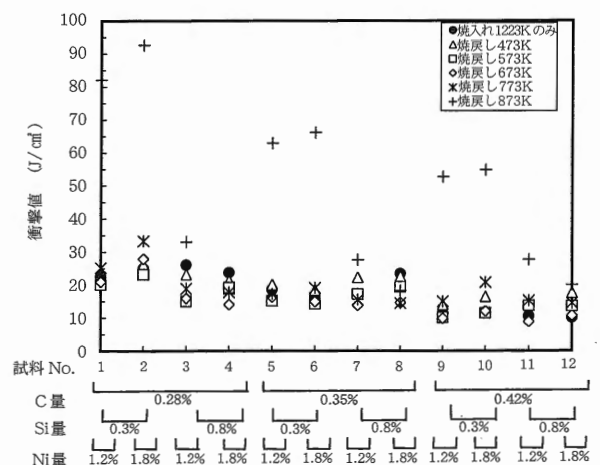


図4 各試料における衝撃値
Fig.4 Impact value of each test piece

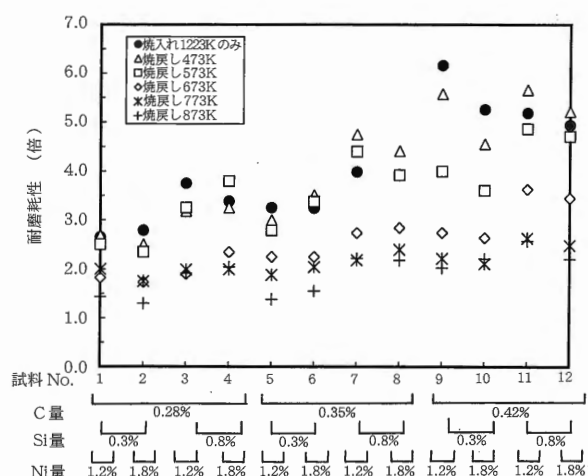


図5 各試料における耐摩耗性
Fig.5 Wear resistance of each test piece

4.5 顕微鏡組織

図6、図7に目標組成0.35%C-0.8%Si-1.2%Niの各焼戻し温度における顕微鏡組織を示す。各々の組織は硬さとの関係から、焼入れのみ、および473K焼戻し材では、マルテンサイトとベイナイトの混合組織を呈し、573~873K焼戻し材では、焼戻し温度が前者と比較し高温であるため、ソルバイト組織も見られる。

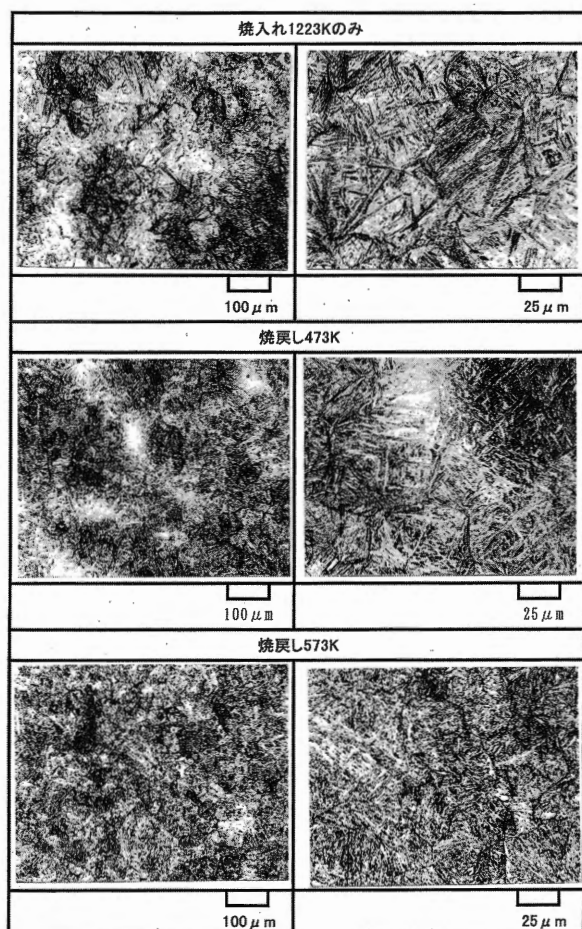


図6 顕微鏡組織(試料No.7:0.35%C-0.8%Si-1.2%Ni)
Fig.6 Microstructure(Test piece No.7:0.35%C-0.8%Si-1.2%Ni)

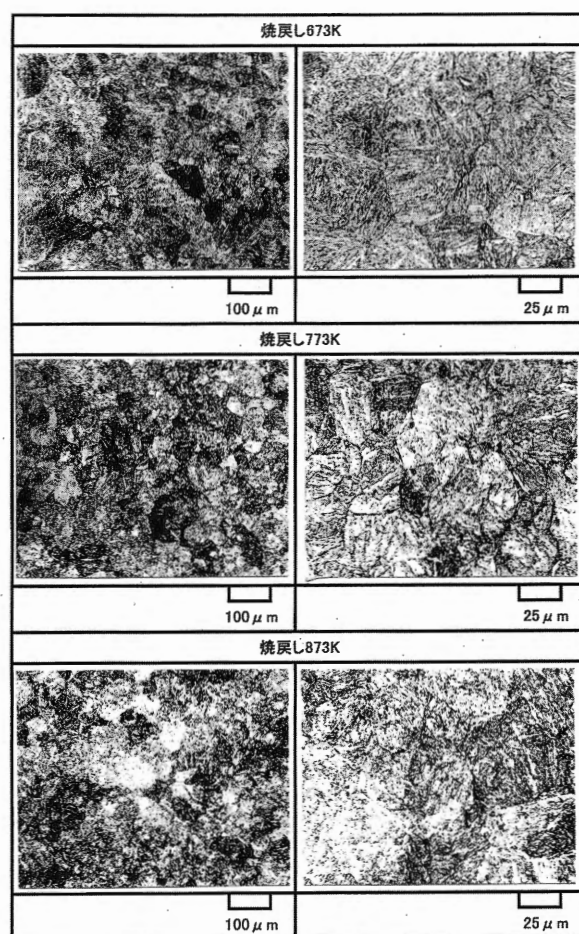


図7 顕微鏡組織(試料No.7:0.35%C-0.8%Si-1.2%Ni)
Fig.7 Microstructure(Test piece No.7:0.35%C-0.8%Si-1.2%Ni)

5. 総括的考察

第4章で得られた実験結果を、NAIS System¹⁾を用いて解析を行った。NAIS Systemとは、内挿法によって、多因子問題を数少ない実験数で解決しようとするものであり、その結果は等高線図によって表される。

なお、本章では、強度的に低かった焼戻し温度873Kを除き、焼戻し温度473~773Kのデータを基に最適条件の解析を行った。

5.1 材質特性別の解析

5.1.1 引張強さ

図8に引張強さの解析結果を示す。

5.1.2 伸び

図9に伸びの解析結果を示す。

5.1.3 硬さ

図10に硬さの解析結果を示す。

5.1.4 衝撃値

図11に衝撃値の解析結果を示す。

5.1.5 耐摩耗性

図12に耐摩耗性の解析結果を示す。

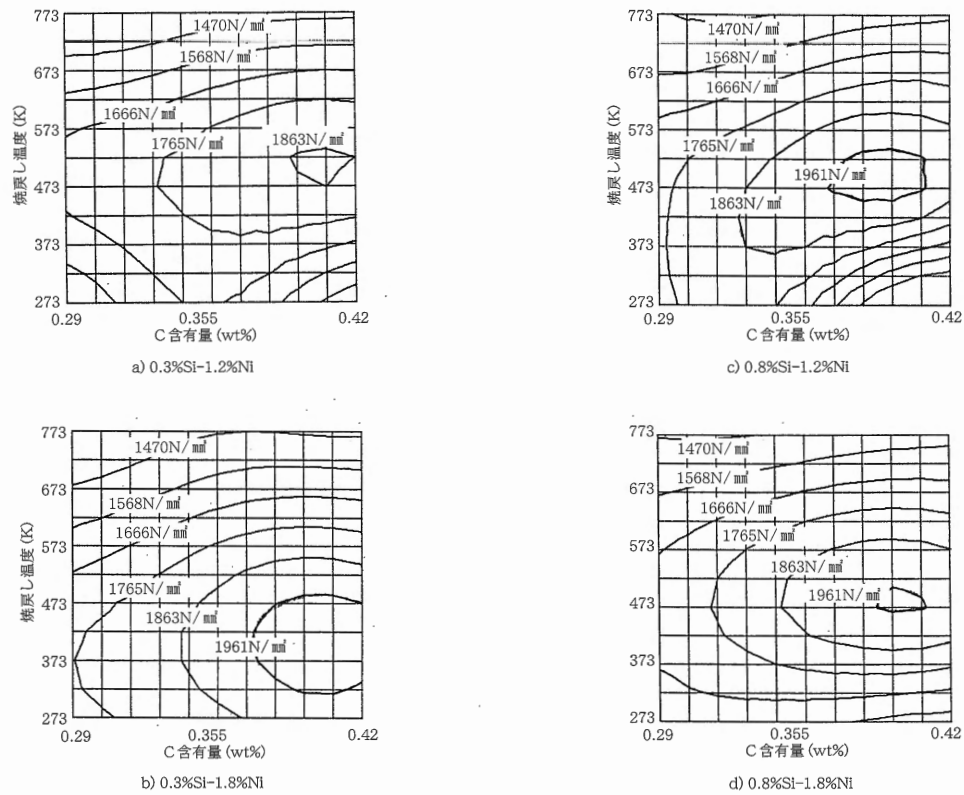


図8 各試料のNAIS Systemによる引張強さの統計的解析結果
Fig.8 Results of statistical analysis for tensile strength by NAIS System of each test piece

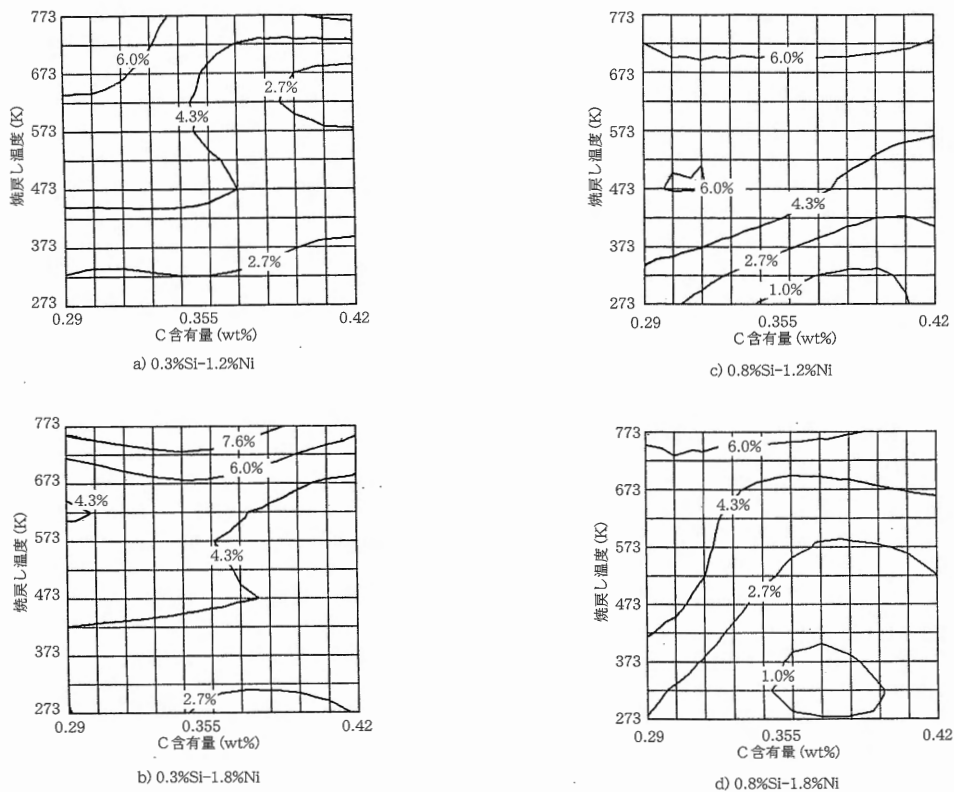


図9 各試料のNAIS Systemによる伸びの統計的解析結果
Fig.8 Results of statistical analysis for elongation by NAIS System of each test piece

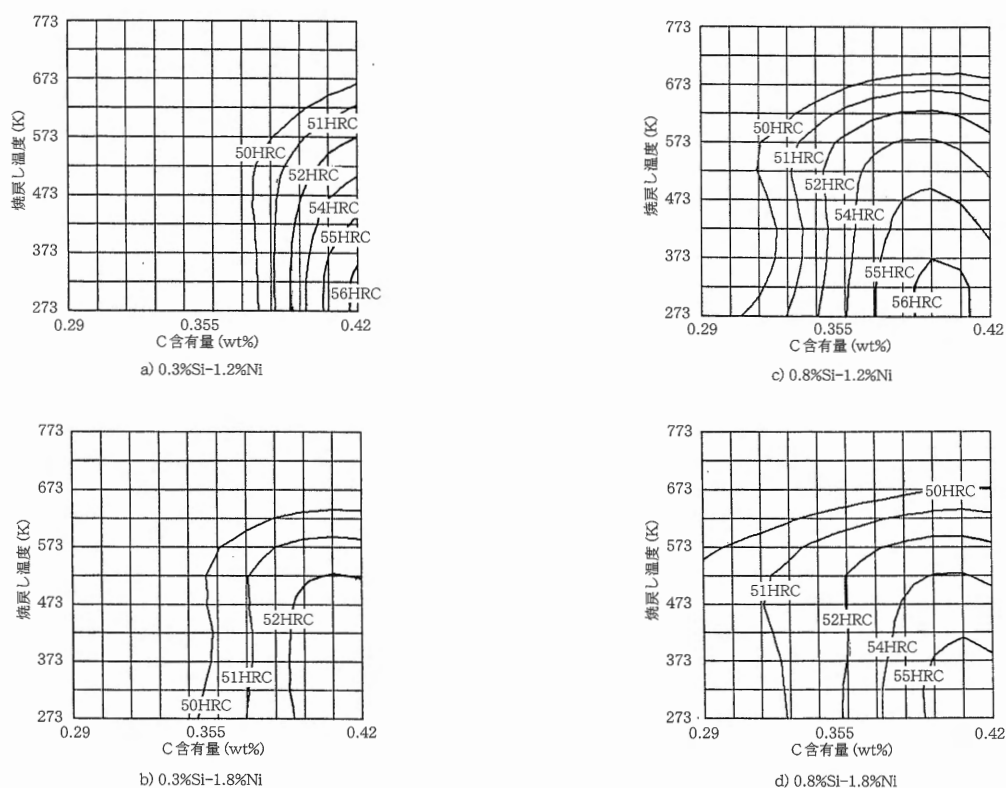


図10 各試料のNAIS Systemによるロックウェル硬さの統計的解析結果

Fig.10 Results of statistical analysis for Rockwell hardness by NAIS System of each test piece

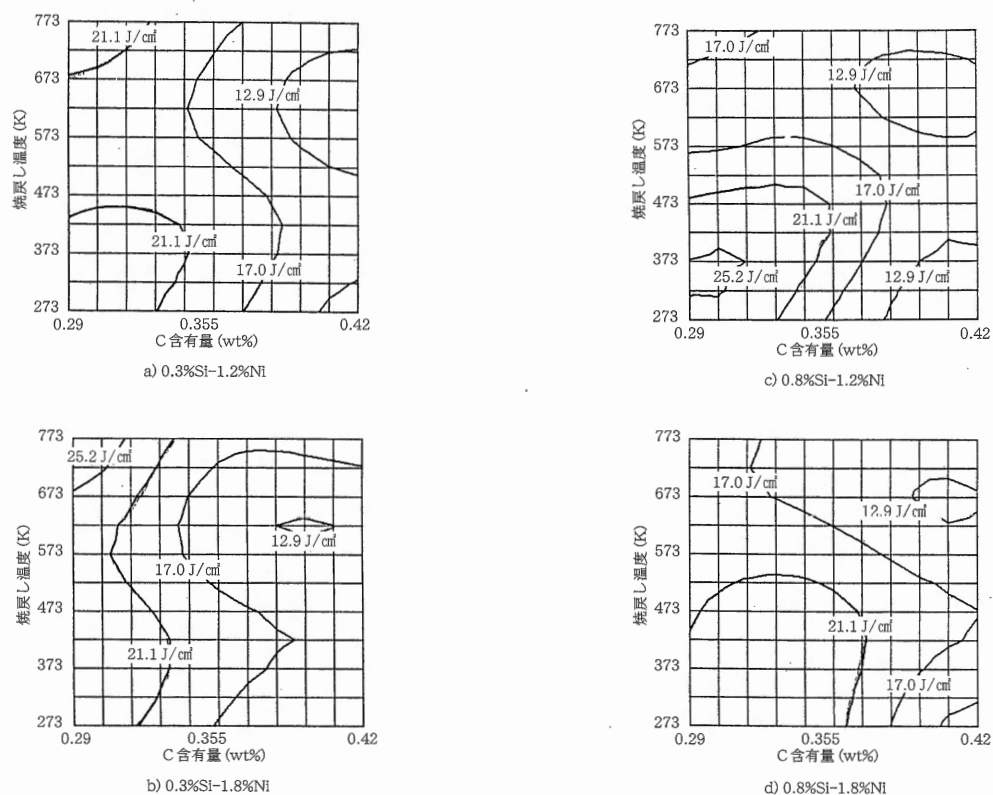


図11 各試料のNAIS Systemによる衝撃値の統計的解析結果

Fig.11 Results of statistical analysis for impact value by NAIS System of each test piece

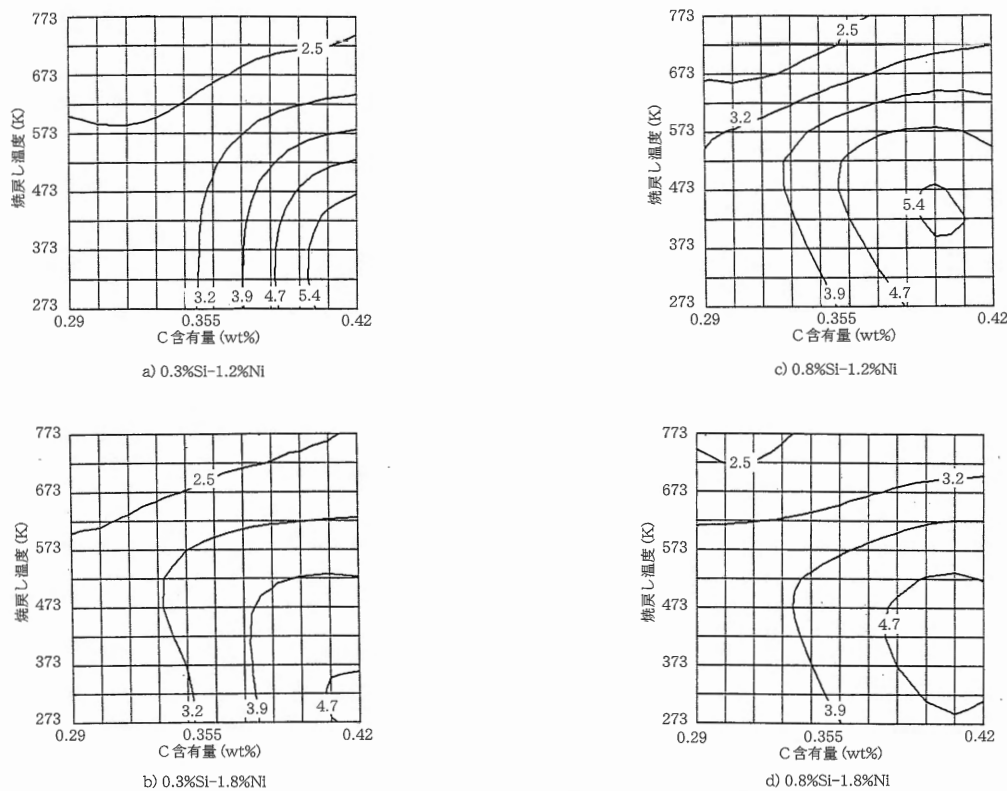


図12 各試料のNAIS Systemによる耐摩耗性の統計的解析結果

Fig.10 Results of statistical analysis for wear resistance by NAIS System of each test piece

5.2 総合的解析

上記解析結果をもとに、第2章で示した開発材の目標値に適合する条件を検索するため、各条件ごとに相関図の作成を行った。その結果を図13～図16に示す。各図中の矢印方向は、各材質特性値の増加する方向を示している。図13～図16から、開発材の目標値を満足する結果が得られたものは、図14の0.3%Si-1.8%Ni時および図15の0.8%Si-1.2%Ni時であった。また、両者のうち、図15の0.8%Si-1.2%Ni時の方がC量の範囲が広く工業的に適すると考えられる。

従って、本実験で得られた開発材の目標値を満足する

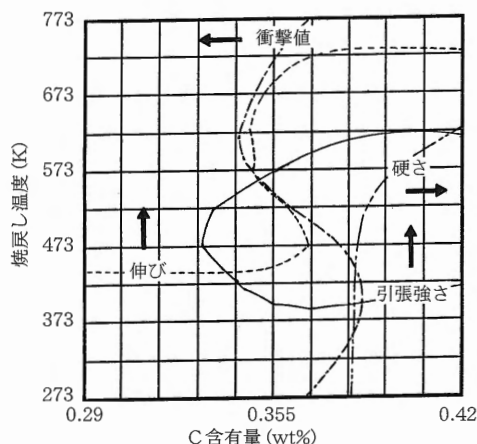


図13 0.3%Si-1.2%Niにおける各材質特性の相関図

Fig.13 Correlation of material characteristics for 0.3%Si-1.2%Ni

最適条件は、0.33～0.38%C-0.8%Si-1.2%Ni-1.2%Cr-0.5%Moで焼鈍時間1273K、焼入れ温度1223K、焼戻し温度が396～593Kとなる。

また、その際の耐摩耗性は図17から加圧摩耗条件下で3.2～4.7倍（対SS400）であると推測される。

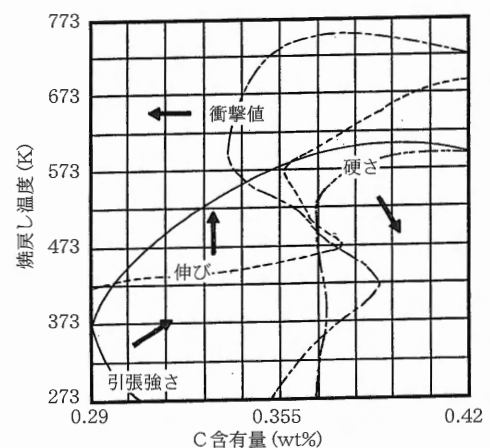


図14 0.3%Si-1.8%Niにおける各材質特性の相関図

Fig.14 Correlation of material characteristics for 0.3%Si-1.8%Ni

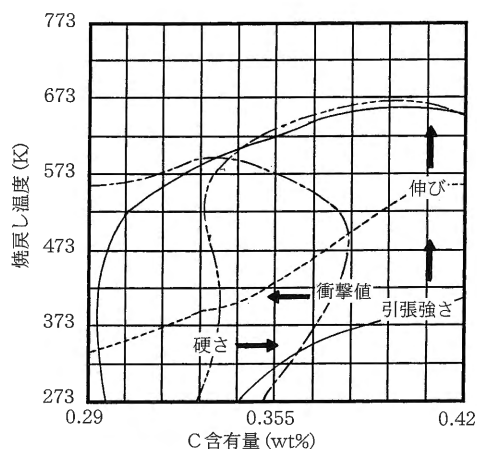


図15 0.8%Si-1.2%Niにおける各材質特性の相関図
Fig.15 Correlation of material characteristics for 0.8%Si-1.2%Ni

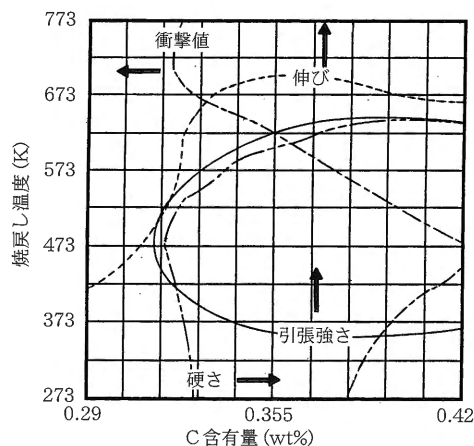


図16 0.8%Si-1.8%Niにおける各材質特性の相関図
Fig.16 Correlation of material characteristics for 0.8%Si-1.8%Ni

6. 結言

低合金鋳鋼であるNi-Cr-Mo系鋳鋼において、添加元素C、Si、Ni量の配合比ならびに熱処理温度（焼戻し温度）の影響について実験を行った結果、以下のことが判明した。

- 1) 本実験結果から、カーシュレッダ用ハンマ材として要求される材質特性値を満足するものは、0.33~0.38% C-0.8%Si-1.2%Ni-1.2%Cr-0.5%Moで焼鈍時間1273K、焼入れ温度1223K、焼戻し温度が396~593Kの材質である。
- 2) また、その際の耐摩耗性は加圧摩耗条件下で3.2~4.7倍（対SS400）であると推測される。

参考文献

- 1) 猪飼 靖、武村 克、宮本寿樹：日本金属学会誌 55、(1991)、pp.351~352

執筆者

高田 恒夫

Tsuneo Takada

昭和56年入社

金属材料の研究と鋳物製造に従事



前殿 裕章

Hiroaki Maedono

昭和42年入社

金属材料の研究に従事



野瀬 誠司

Seiji Nose

平成7年入社

鋳物技術に従事

