

ブレーキ・ディスク材の改良研究 (その1)

高田恒夫*

Study for Improvement on Brake Disc Material (Part 1)

Tsuneo Takada

Our company has been making efforts to improve the quality of Brake Disc for a long time. As one of the efforts, we tried to improve Brake Disc Material in this time.

The main aim of this study was improving thermal cracking resistance and strength.

We carried out the experiment to achieve the aim. The results are as follows:

(1) The preferable addition of alloying elements to Cast Iron, to achieve the aim (from the results of test piece tests) are as follows:

Si 1.4%, Ni 2.5or3.5%, Mo 2 (or 3) %
 Ce 0.02%, (V0.25%), (Fe-si[INOCULATION]0.1%)
 <notice> () means not absolute

(2) We made Brake Discs which have alloying elements of the result (1) and tested their properties. We could make sure of improvement of thermal cracking resistance and strength.

1. 緒言

ブレーキディスク材として、当社ではNi-Cr-Mo合金鋳鉄(材質記号NCM)を適用している。このブレーキディスクの寿命のネックとなっているのは、ディスク摺動面に発生する熱亀裂と言われている。

当社はブレーキディスクの品質改良への取り組みを続けており、その一環として材質特性の改良すなわち、耐熱亀裂性の向上と高強度化を今回指向した。耐熱亀裂性と高度強化に影響を与える因子を絞り、実験計画法を用いた手法によりブレーキディスク材として最適組式の鋳鉄材を開発すべく、実験を行った結果を以下に報告する。

2. 実験因子の選定

熱亀裂すなわち、熱疲労に対する特性として、つぎの熱疲労係数(k)が考えられている。

$$k = \frac{\lambda \sigma}{\alpha E} \cdot \delta \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

但し λ : 熱伝導度 α : 熱膨張係数
 σ : 抗張力 E : 弾性係数
 δ : 伸び

k値が大きいほど耐熱亀裂性に優れていることを意味する。すなわち、 λ 、 σ 、 δ が大きく、 α 、 E が小さい材料ほど、熱疲労に対して有利であるということである。

①式を念頭において、種々の文献を調査した結果、鋳鉄のマクロ的な成分、組織の方向としてはつぎのような結論を得た。

- (1) 合金元素としては、Ni、Mo、V、Ceが有効である。
- (2) 黒鉛形状については、片状あるいは擬片状とすることが望ましい。
- (3) 基地組織は、ベイナイト(～アシキュラーパーライト)が良い。

これら結論よりつぎの6点を実験因子に決定した。

- | | |
|------------|------------|
| (1) Niの添加量 | (4) Ceの添加量 |
| (2) Moの添加量 | (5) Siの添加量 |
| (3) Vの添加量 | (6) 接種法 |

(注) Siの添加量を実験因子としたのは、ベイナイト組織の生成と性質に大きく影響するからである。

* 鋳物事業部・鋳物技術部

3. 実験方法

3.1 直交表を用いた実験因子の割り付け

鋳物の材力値に影響を及ぼす因子は多数あり、非常に複雑である。そこで、2項で選定した6つの実験因子の影響を明確にするため、実験計画法を用いた手法により実験を進めることにした。

まず、6つの実験因子の変化を各々3段階（3水準）にすることとし、具体的には表1のように決定した。

表1 各因子の3水準
Table.1 3 levels of each factor

記号	因子	水準		
		第1	第2	第3
A	Ni (%)	1.5	2.5	3.5
B	Mo (%)	1	2	3
C	V (%)	0.15	0.25	0.35
D	Ce (%)	0	0.02	0.04
E	Si (%)	1.4	1.8	2.2
F	接種(%)	なし	^{0.1} (Fe-Si)	^{0.1} (Ca-Si)

つぎに、表2のL₂₇(3¹³)直交表への各因子の割り付けを説明する。

表2の縦列は27種類（27チャージ）の実験を意味し、横列は各因子の割り付け位置を意味する。表2中の数字は、表1で示した各水準を示している。すなわち、表2中の1、2、3は、それぞれ各因子の第1、第2、第3水準を意味している。

つぎに、表2の直交表への表1の各因子の割り付けは、表2の最下部に表1の記号で示してある。

そこで、表2のような実験の割り付けにしたがって、27チャージの溶解を行い、各チャージの材力値を出すことにより、材力値に対する因子A、B、C、D、E、Fの主効果（単独の効果）と、AとB、BとE、AとEの交互作用（複合の効果）を確認することができる。

3.2 供試材

3.1で説明した27チャージと基準材としてNCM材を加え、合計28チャージを300kg高周波溶解炉で150kg/ch、溶製した。それらの化学組成を表3に示す。

表2 L₂₇(3¹³)直交表
Table.2 L₂₇(3¹³)orthogonal table

列番 実験No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2
割り付け	A	B			E				C	D			F

試験片としては、30φの丸棒および200×300×35平板4枚（一枠4枚込め方案）を各チャージごとに鋳造した。

なお、35φの平板を試験片に選定した理由は、適応を想定しているプレーキディスクの鋳造後の冷却速度とほぼ同じになる試験片寸法を予備試験で検討した結果、200×300×35φがほぼ一致することが判った。したがって、この平板での材質特性値はプレーキディスク実体を代表するものと考えられる。

3.3 熱処理

供試材はすべて予備試験により、硬度HB280以下になるよう設定した熱処理を実施した。

表3 供試材の成分分析結果
Table 3 Chemical composition of specimens

実験 No	成分分析値 (wt.%)										接種剤 (添加量)
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	V	Cr	Ce (添加量)	
1	3.57	1.40	0.71	0.062	0.015	1.48	1.00	0.10	0.05	0	なし
2	3.49	1.83	0.72	0.063	0.016	1.32	1.01	0.27	0.06	0.02	Fe-Si 0.1
3	3.61	2.42	0.69	0.062	0.015	1.49	1.01	0.34	0.05	0.04	Ca-Si 0.1
4	3.56	1.40	0.80	0.061	0.014	1.48	1.93	0.20	0.05	0.02	Ca-Si 0.1
5	3.68	1.73	0.73	0.062	0.015	1.44	1.94	0.33	0.07	0.04	なし
6	3.65	2.31	0.69	0.064	0.016	1.55	1.93	0.13	0.03	0	Fe-Si 0.1
7	3.58	1.41	0.71	0.061	0.017	1.42	2.83	0.27	0.04	0.04	Fe-Si 0.1
8	3.68	1.96	0.69	0.068	0.015	1.43	2.91	0.16	0.08	0	Ca-Si 0.1
9	3.67	1.96	0.69	0.068	0.015	1.43	3.01	0.26	0.07	0.02	なし
10	3.59	1.42	0.73	0.058	0.016	2.50	1.03	0.24	0.03	0.04	Ca-Si 0.1
11	3.67	1.82	0.78	0.062	0.025	2.43	0.98	0.33	0.08	0	なし
12	3.51	2.18	0.71	0.056	0.017	2.49	0.99	0.13	0.04	0.02	Fe-Si 0.1
13	3.58	1.39	0.73	0.062	0.015	2.45	1.95	0.34	0.03	0	Fe-Si 0.1
14	3.55	1.96	0.68	0.062	0.015	2.40	1.92	0.14	0.05	0.02	Ca-Si 0.1
15	3.62	2.37	0.75	0.062	0.015	2.47	1.93	0.23	0.05	0.04	なし
16	3.51	1.27	0.72	0.061	0.016	2.42	2.92	0.14	0.04	0.02	なし
17	3.51	1.65	0.78	0.063	0.016	2.51	2.97	0.25	0.03	0.04	Fe-Si 0.1
18	3.58	2.28	0.67	0.064	0.016	2.44	2.91	0.29	0.03	0	Ca-Si 0.1
19	3.37	1.39	0.71	0.056	0.016	3.45	1.01	0.30	0.04	0.02	Fe-Si 0.1
20	3.68	1.80	0.69	0.064	0.016	3.45	1.06	0.15	0.05	0.04	Ca-Si 0.1
21	3.65	2.44	0.70	0.064	0.016	3.45	1.05	0.22	0.05	0	なし
22	3.57	1.38	0.66	0.059	0.016	3.51	1.99	0.15	0.05	0.04	なし
23	3.52	1.81	0.74	0.056	0.015	3.43	1.99	0.25	0.06	0	Fe-Si 0.1
24	3.70	2.10	0.74	0.066	0.015	3.49	1.95	0.31	0.03	0.02	Ca-Si 0.1
25	3.61	1.26	0.76	0.064	0.016	3.41	2.97	0.20	0.06	0	Ca-Si 0.1
26	3.56	1.77	0.65	0.061	0.017	3.21	2.84	0.35	0.03	0.02	なし
27	3.57	2.16	0.63	0.064	0.015	3.36	2.76	0.09	0.03	0.04	Fe-Si 0.1
28	3.58	1.46	0.68	0.063	0.016	1.69	0.38	0.02	0.37	—	なし

注) NO 28は基準材NCMである

3.4 サンプルング

各チャージ毎に1板の平板より図1の試験片を切出し、加工した。

各テストピースの寸法はつぎの如し、

- (1) 常温引張 ; JIS 8号C 各2本
- (2) 高温引張 ; 平行部10^φ、標点距離50
各1本
- (3) 抗折 ; 13^φ×200^l 各1本

(4) 熱衝撃 ; 25^φ×25^l 各3ヶ

3.5 実験内容

(1) 常温引張試験

常温引張試験片に歪ゲージを貼り付け、弾性係数の測定をすると同時に抗張力の測定を行った

(2) 高温引張試験

700°Cにおける抗張力と伸びを測定した。

(3) 抗折試験

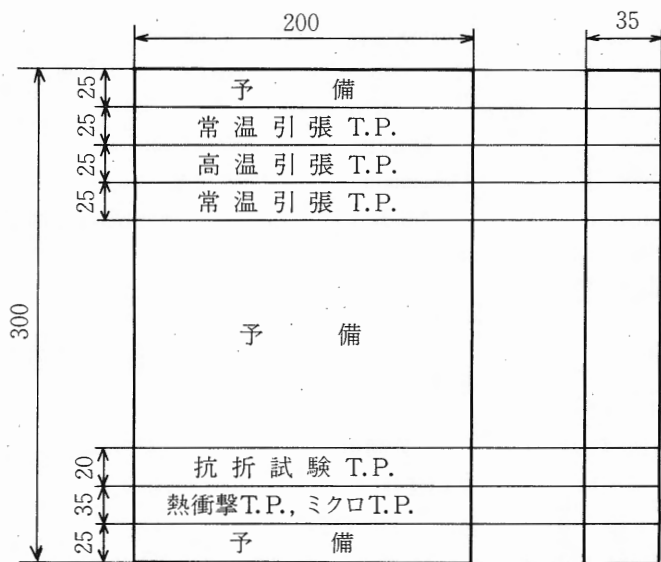


図1 供試材の採取位置
Fig. 1 Sampling position of specimens

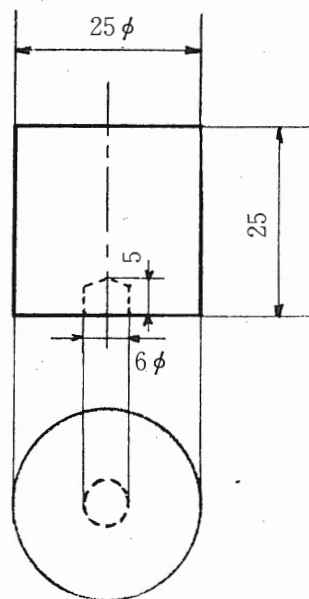


図2 熱衝撃試験片
Fig. 2 Shape of a thermal shock test piece

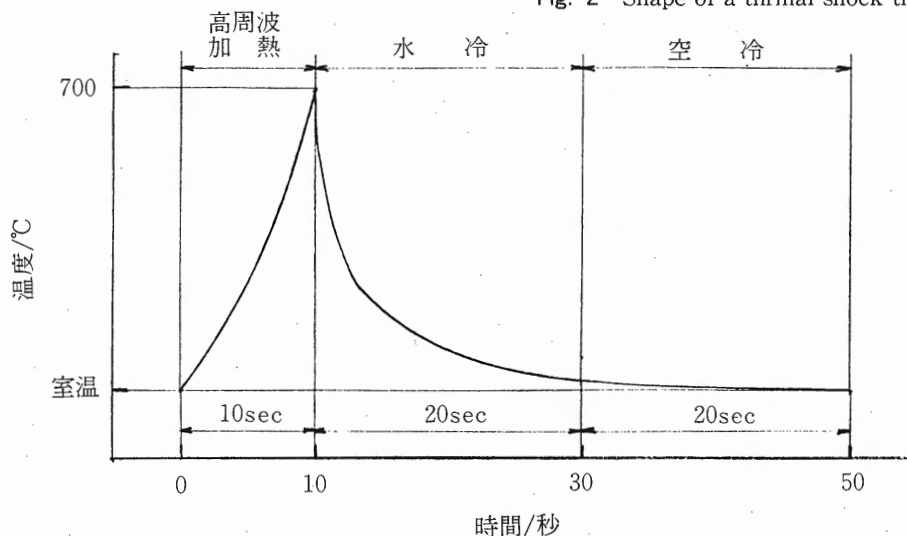


図3 熱衝撃試験の1サイクル
Fig. 3 1 cycle of a thermal shock test

13[#]×スパン180[#]で、抗折荷重およびタワミ量を測定した。

(4) ミクロ組織および硬度

熱処理後の組織、硬度を調べた。

(5) 熱衝撃試験

図2に示すテストピースの表面部を400Kサイクル高周波コイルで加熱し、シャワーで水冷し、つぎに、空気を吹き付けて水気を飛ばした。これ

を熱衝撃の1サイクルとした。1サイクルの熱衝撃の詳細は、図3に示した。

この熱衝撃サイクルを300回繰り返し、テストピースを縦に等分し、等分した面に発生したクラックの本数と各クラックの長さを測定することにより、最大クラック長さと平均クラック長さを決定し、耐熱亀裂性を比較した。

4. 実験結果

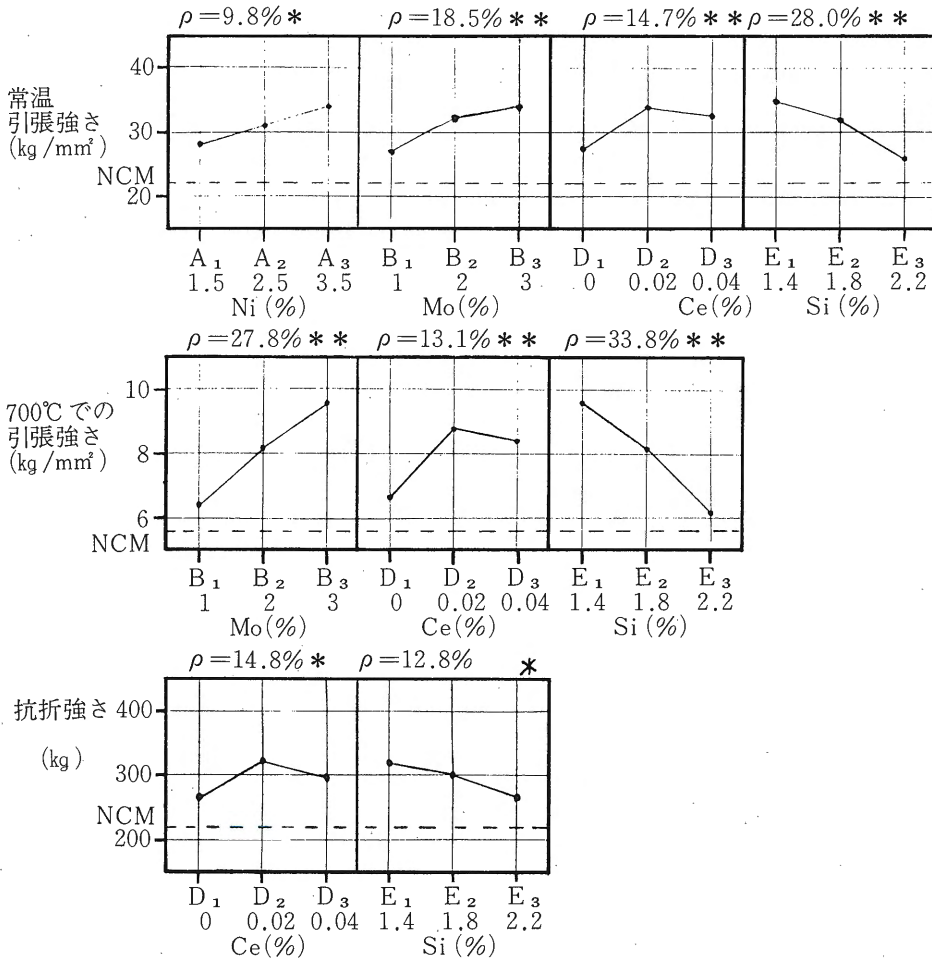
試験した材力および熱衝撃試験結果は、表4に示す。

表4 実験結果一覧表
Table. 4 Result of experiment

実験 No	弾性係数 (kg/mm ²)	抗張力 (kg/mm ²)	抗折強さ		700°Cの引張強さ		硬度 (HB)	熱衝撃試験(300サイクル)		
			破断荷重 (kg)	たわみ (mm)	抗張力 (kg/mm ²)	伸び (%)		総本数 (本)	最大長さ (mm)	平均長さ (mm)
1	10010	25.8	253	3.4	6.4	2.0	197	53	1.4	0.38
2	10030	25.6	270	2.8	7.0	2.2	189	39	1.7	0.53
3	8570	20.6	203	3.2	4.6	4.0	156	37	1.4	0.64
4	13350	40.0	366	3.2	9.3	3.4	241	78	1.4	0.33
5	12310	34.2	300	3.3	9.4	2.6	231	43	1.4	0.33
6	6740	17.5	157	2.9	4.0	2.0	152	35	1.9	1.57
7	13660	34.5	333	2.7	13.6	2.2	249	43	1.6	0.42
8	8750	25.9	277	3.1	7.9	2.0	241	48	1.8	0.51
9	12800	30.0	286	2.9	8.8	3.0	223	36	2.0	0.48
10	11020	31.4	297	3.6	7.8	2.0	201	41	1.5	0.35
11	8950	23.2	240	3.6	5.1	2.0	184	57	1.4	0.41
12	7200	20.7	357	2.4	5.1	2.0	163	41	2.1	0.63
13	10410	32.1	297	2.8	7.7	2.2	262	62	1.3	0.33
14	12050	36.0	326	3.0	10.3	3.0	204	78	1.2	0.30
15	8680	26.5	249	3.6	5.7	2.0	183	46	1.7	0.59
16	13180	38.6	230	2.9	9.9	3.6	226	51	1.5	0.38
17	11840	39.8	337	2.5	9.5	2.6	266	60	1.4	0.33
18	10030	30.3	286	3.1	7.0	2.0	216	40	1.7	0.53
19	10540	41.6	366	3.7	10.2	2.0	241	93	1.4	0.35
20	11290	20.9	212	3.3	4.0	2.4	183	69	1.2	0.36
21	7330	18.2	207	2.9	3.8	2.0	197	31	1.9	0.46
22	11050	34.2	341	3.3	10.2	3.0	244	76	1.1	0.30
23	7550	31.4	296	3.0	7.3	2.4	231	44	1.7	0.47
24	8580	26.5	260	3.4	5.8	2.0	204	41	1.6	0.52
25	11010	34.0	325	2.8	8.3	4.4	262	62	1.4	0.35
26	11930	35.6	341	2.9	9.5	3.4	240	40	1.9	0.52
27	8400	25.0	243	2.5	6.1	4.0	203	44	1.1	0.44
28	9660	22.0	217	3.3	5.5	4.6	170	41	1.8	0.51

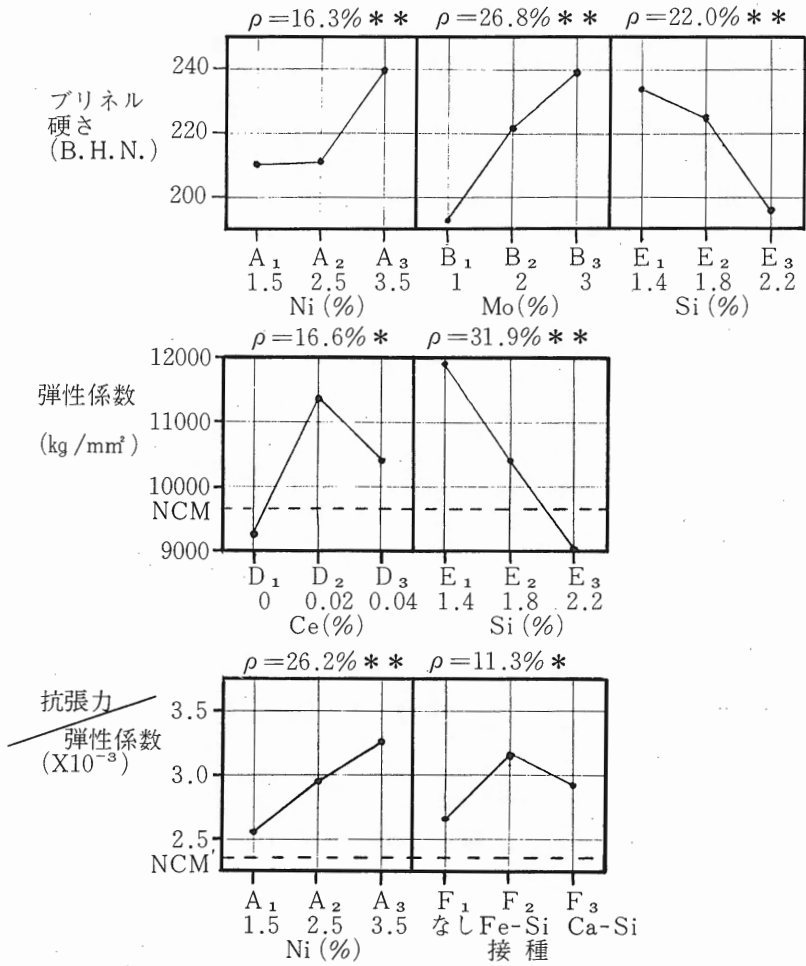
つぎに、これら材力値および熱衝撃試験結果に対する6つの実験因子の影響を明確にするために統計的処理である分散分析を行った。その結果、1%または5%の危険率で有意なものについて

は、図4~6にグラフとしてまとめ整理した。さらに図4~6の結果を整理したものが表5である。



注) 1. 危険率1%、5%で有意なものには、各々、**、*の印をした。
 2. 寄与率はρで示した。

図4 強さにおよぼす各元素の効果
 Fig. 4 Effect of alloying elements on strength



- 注) 1. 危険率1%、5%で有意なものには、各々、**、*の印をした。
 2. 寄与率は ρ で示した。
 3. ブリネル硬さのNCMの値は170である。

図5 強さ以外の材質特性におよぼす各元素の効果

Fig. 5 Effect of alloying elements on material properties except strength

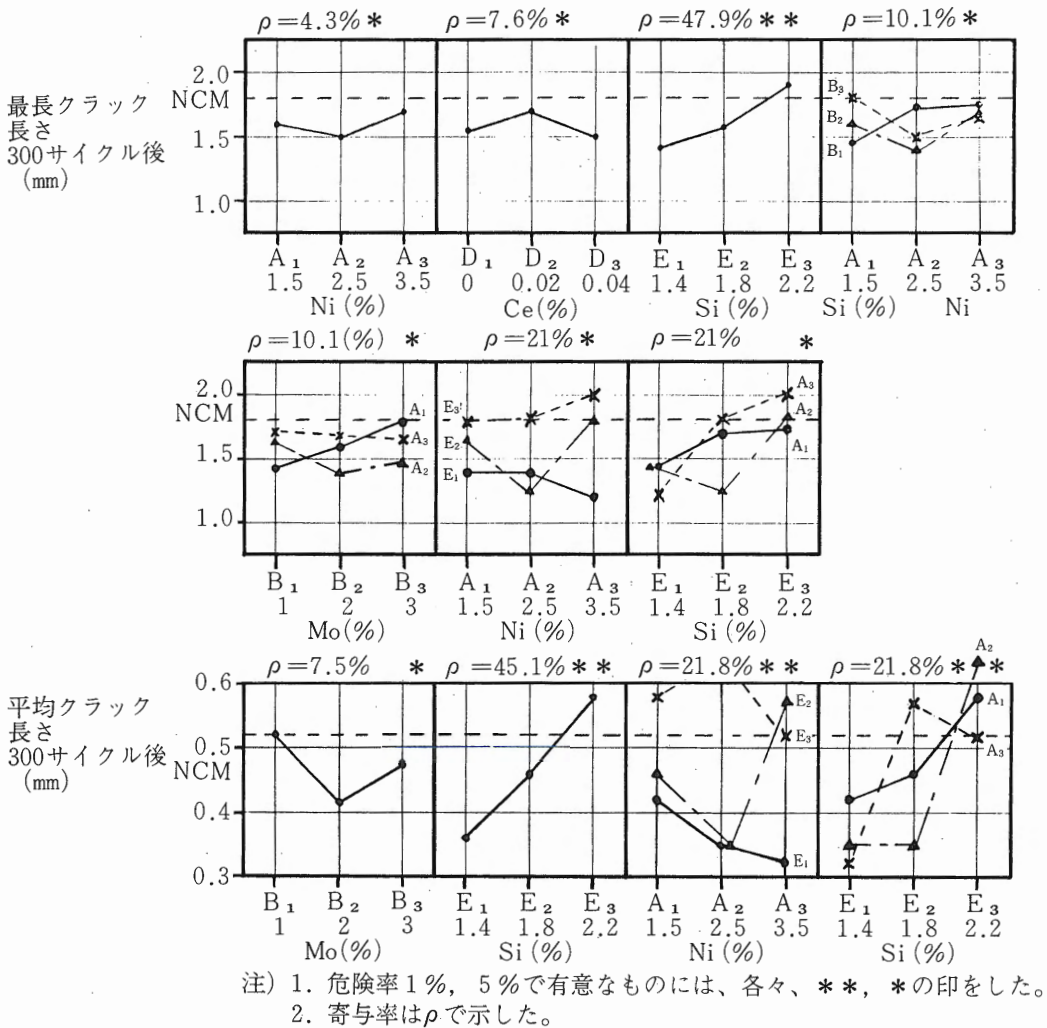


図6 熱衝撃特性におよぼす各元素の効果

Fig. 6 Effect of alloying elements on thermal shock properties

表5 材力値に対して有意差のあった因子
Table 5 Factors that obviously effect on material properties

特 製	有意差の認められた効果	危険率 (%)	寄与率 (%)	望ましい含有量			
				ベスト		ベター	
常温強さ	Siの増加と共にダウン	1	28.0	Si	1.4	Si	L 8
	Moの増加と共にアップ	1	18.5	Mo	3	Mo	2
	Ceの添加でアップし、0.02%でピーク	1	14.7	Ce	0.02	Ce	0.04
	Niの増加と共にアップ	5	9.8	Ni	3.5	Ni	2.5
弾性係数	Siの増加と共にダウン	1	31.9	Si	2.2	Si	1.8
	Ceの添加でアップし、0.02%でピーク	5	16.6	Ce	0	Ce	0.04
高温強さ (700°C)	Siの増加と共にダウン	1	33.8	Si	1.4	Si	1.8
	Moの増加と共にアップ	1	27.8	Mo	3	Mo	2
	Ceの添加でアップし、0.02%でピーク	1	13.1	Ce	0.02	Ce	0.04
σ/E値	Niの増加と共にアップ	1	26.2	Ni	3.5	Ni	2.5
	接種によりアップし、Fe-Si接種が最良	5	11.3	Fe-Si 接種		Ce-Si接種	
抗折強さ	Ceの添加でアップし、0.02%でピーク	5	14.8	Ce	0.02	Ce	0.04
	Siの増加と共にダウン	5	12.8	Si	1.4	Si	1.8
硬 さ	Moの増加と共にアップ	1	26.8	Mo	3	Mo	2
	Siの増加と共にダウン	1	22	Si	1.4	Si	1.8
	Ni低→中値でアップ小だが、高値でアップ	1	16.3	Ni	3.5	Ni	2.5
最大クラック長 ※ (300サイクル後)	Siの増加と共にアップ	1	47.9	Si	1.4	Si	1.8
	Ceは中値で最大	5	7.6	Ce	0.04	Ce	0
	Niは中値で最小	5	4.3	Ni	2.5	Ni	1.5
	Si低値の場合、Ni高値でダウン Si中値の場合、Ni低値でダウン Siの高値の場合、Ni低値でダウン	5	21	{ Si 1.4 Ni 3.5		{ Si 1.8 Ni 2.5	
	Mo中値の場合、Ni中値でダウン Mo低値の場合、Ni低値でダウン Mo高値の場合、Ni中値でダウン	5	10.1	{ Mo 2 Ni 2.5		{ Mo 1 Ni 1.5	
平均クラック長 (300サイクル後)	Siの増加と共にアップ	1	45.1	Si	1.4	Si	1.8
	Moの中値で最小	5	7.5	Mo	2	Mo	3
	Si低値の場合、Ni増加と共にダウン Si中値の場合、Ni中値で最小 Si高値の場合、Ni中値で最大 高値でダウン	1	21.8	{ Si 1.4 Ni 3.5		{ Si 1.8 Ni 2.5 or Si 1.4 Ni 2.5	

以上の分散分析結果から熱衝撃特性および材料強度に重点を置き総合的に判断すると、望ましい成分組合せとしてはつぎのように考えられる。

Si 1.4%、Ni 2.5または3.5%、Ce 0.02%、

Mo 2 (または3) %、(V 0.25%)、
(Fe-Si接種 0.1%)

注) カッコ内は絶対的なものではない。

5. 実体ブレーキディスクおよびテストピースにより確性試験

鑄鉄が、現行NCMより優れていることを確かめるために、表6に示す3組成のテストピース(200×300×35')と実体ブレーキディスクを鑄造した。

前項、実験結果で得られた結論の組成を有する

表6 成分分析値

Table 6 Chemical composition

試料No	化 学 成 分 (Wt%)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Ce	Fe	その他
1	3.50	1.36	0.65	0.074	0.018	—	2.54	2.01	0.27	0.02 添加	Bal	—
2	3.49	1.44	0.60	0.064	0.018	—	3.63	1.97	0.27	0.02 添加	Bal	—
3	3.44	1.39	0.60	0.057	0.017	—	3.62	2.02	0.29	0.02 添加	Bal	Fe-Si 接種

5.1 テストピースによる確性試験結果

テストピースの形状、熱処理、サンプリングおよび試験内容は、先に鑄造した28チャージと同様とした。但し、熱膨張試験だけは、試験内容に追加した。

熱膨張試験は、5φ×40l試験片を用いてディラトメーターにより熱膨張係数および変態点の測定を行った。

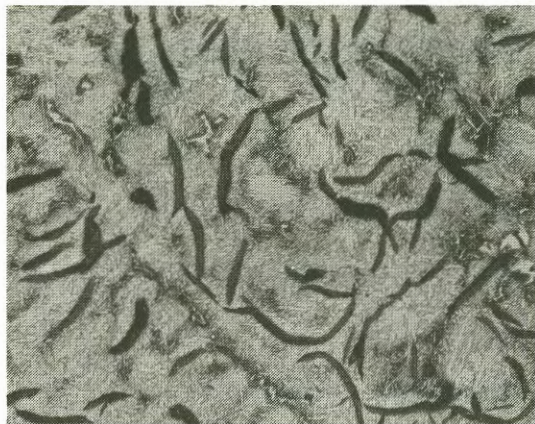
材料試験結果は、表7にまとめて示した。

表7 平板試験片の材料試験結果

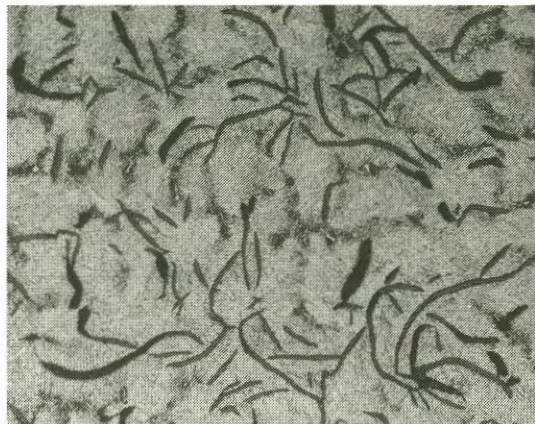
Table 7 Material properties of plate-test pieces

試験項目	試料No	1	2	3	NCM※
	常温引張試験	抗張力(kg/mm ²)	39.4	40.9	41.3
弾性係数(kg/mm ²)		13290	12050	12330	9660
抗張力 / 弾性係数(X10 ⁻³)		2.96	3.39	3.35	2.28
700°Cでの引張試験	抗張力(kg/mm ²)	11.1	9.7	9.8	5.5
	伸び(%)	3.2	2.4	3.4	4.6
坑折試験	抗折荷重(kg)	357	343	365	217
	たわみ(mm)	2.9	3.6	3.6	3.3
硬 度 試 験 (HB)		235	244	241	170
熱膨張試験	熱膨張係数 <20~700°C> (X10 ⁻⁶ /°C)	13.0	11.3	10.3	13.6
	AC ₁ 点(°C)	753	733	733	775
	B _s 点(°C)	482	465	470	510
熱衝撃試験	総本数(本)	35	48	39	41
	最大長さ(mm)	2.0	1.7	1.2	1.8
	平均長さ(mm)	0.55	0.45	0.46	0.51

注) *先の平板試験での結果を参考までに示した。



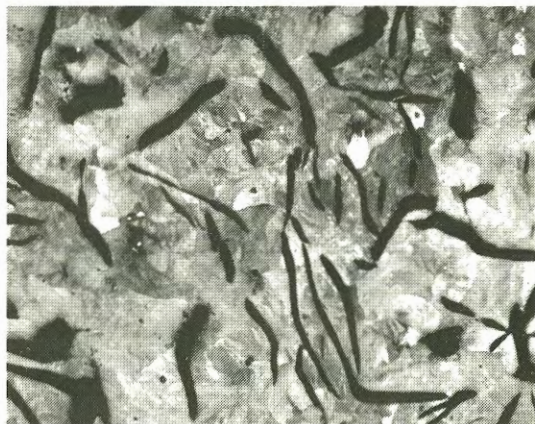
試料 No.1



試料 No.2



試料 No.3



NCM

写真1 平板試験片の代表的マイクロ組織 (X100)
Photo 1 Typical micro structure of plate-test pieces

つぎに、試料No.1～3と標準材 NCM の熱処理後のマイクロ組織写真を写真1に示す。

試料No.1～3のマイクロ組織は、針状ベイナイト組織が焼戻されたアシキュラーパーライト組織である。また、NCMのマイクロ組織はパーライトである。

これら材料試験結果を2項実験因子の選定の所で示した k 値への影響と言うことで、整理した結果を表8に示した。

表7における抗張力/弾性係数の値をみると、新材質はNCMの約1.5倍を示している。これはNCMに対して新材質の抗張力の増加分 (k 値を

増加) が、弾性係数の増加分 (k 値を減少) を大きく上回っていることを意味している。

これらを総括すると、新材質はNCMよりすぐれた耐熱亀裂性を有するものと考えられる。

また、実際の熱衝撃試験結果では、新材質はNCMより優れた耐熱亀裂性を有する。さらに、新材質中では、試料No.3、2、1の順番に優れている。しかし、表7中の A_{c1} 点のデータを見ると、合金量の多い新材質が低い値を示していることは、高温被熱急冷を受けた場合、組織のマルサントメントへの変化による応力発生のため、耐熱亀裂性を害されることが懸念される。

表 8 各材質特製の耐熱亀裂性への影響
Table. 8 Effect of material properties on thermal cracking resistance

耐熱亀裂性向上 (k 値アップ)	耐熱亀裂性阻害 (k 値ダウン)
(1) 抗張力 新材質の抗張力は、NCMの約2倍である。	(1) 弾性係数 新材質の弾性係数は、NCMより大きい。
(2) 熱膨張係数 新材質の熱膨張係数は、NCMより小さく、 試料No. 1, 2, 3の順に小さくなっている。	(2) 延性 新材質の延性は、NCMより小さい。

5.2 実体ブレーキディスクを用いた制動試験結果

新材質のブレーキディスクの耐熱亀裂性を試験するために、ダイナモメーターによる低速制動、高速制動ブレーキ試験が、住友金属㈱、中央研究所にて実施された。

試験条件は表9に示すようにし、ライニング材

表 9 制動試験の条件

Table. 9 Conditions of braking tests

試 験	初速度	総返し数	備 考
低速制動 ブレーキ試験	100km/hr	2000回	実車ディスク に生ずる熱亀 裂の再現性
注)高速制動 ブレーキ試験	240km/hr	30回	過酷な条件に よる耐久試験

注) 高速制動ブレーキ試験は $v_0=50\text{km/hr}$ で50回、
 $v_0=160\text{km/hr}$ で30回、 $v_0=210\text{km/hr}$ で5回、
 $v_0=230\text{km/hr}$ で5回の繰返し制動を行った後の条件を示す。

としては銅系焼結ライニングを使用した。耐熱亀裂性は摺動面に発生した熱亀裂の長さで比較した。得られた低速制動ブレーキ試験の結果を図7に、また、高速制動ブレーキ試験の結果を図8に示す。図7、8のNo.1～3の番号は、新材質の試料Noを示し、No.4は基準材 NCM を示す。

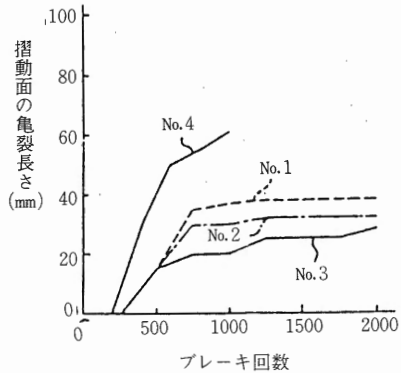


図7 低速制動試験結果

Fig. 7 Result of low speed braking tests

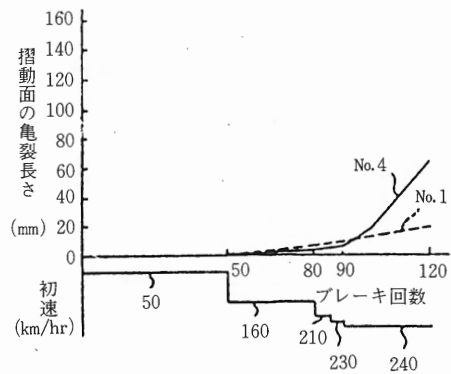


図8 高速制動試験結果

Fig. 8 Result of high speed braking tests

これらの試験により、新材質はNCM基準材より優れた耐熱亀裂性を有することが、実体ブレーキディスクによる制動試験で確認された。さらに、新材質中では試料No.3、2、1の順番に優れた耐熱亀裂性を有している。この順番はテストピースによる熱衝撃試験結果とよく一致している。

6. 結 言

耐熱亀裂性と強度の向上に主眼をおいて、現行材NCMより優れた材質の開発を目的にテストピースによる実験を行い、材質組成を絞り、ついで実体ブレーキディスクを用いた制動試験を行った結果得られた結論はつぎのとおりである。

- (1) 鋳鉄材の耐熱亀裂性と強度に影響する因子として、*Ni*、*Mo*、*V*、*Ce*、*Si*の含有量と接種の違いの6点を選び、27チャージのテストピースを溶製し、各因子の材力への影響を調べた結果、耐熱亀裂性と強度を向上させる組成の推奨値としてつぎのものを得た。

Si 1.4%、*Ni* 2.5または3.5%、*Ce* 0.02 %

Mo 2 (または3) %、(*V* 0.25%)

(*Fe*-*Si*接種 0.1%)

注) カッコ内は絶対的なものではない。

- (2) ついで3組成の実体ブレーキディスクを製造し、実体ブレーキディスクによる制動試験での耐熱亀裂性のテストの結果、新材質はいずれも現行NCM材より優れていることが確認された。さらに新材質中では試料No.3、2、1の順番に優れていることがわかった。

終りに、本実験遂行にあたり、多大の御教授、御支援いただいた住友金属工業株式会社の品質保証課 長尾氏、中央研究所 坂本氏はじめとする設計部、品証課、中研の関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) R. Hummer; 学振文献集 p.126
- 2) F. W. Ellis; 学振第24委編「鋳鉄の溶湯処理」文献集 p.65
- 3) K. Rohlig; 学振文献集 p.129
- 4) H. Mayer; 学振文献集 p.145
- 5) 津田、与田; 鋳鉄38No.4 p.75
- 6) 本間、目黒他; 鋳物37No.11p.981
- 7) V. F. Sumntson; 学振文献集 p.64
- 8) 鋳物39No.1 鋳鉄部会報告 p.12
- 9) 葉山房夫; 鋳物31No.4 p.57
- 10) 音谷、徳永; 鋳物33No.6 p.405
- 11) 新版鉄鋼技術講座 第5巻(昭54.5) p.200

