U.D.C. 669.13.018.24

Ni, Mo 系 ア シ キ ュ ラ 鋳 鉄 の 研 究

――シリンダライナにおけるアシキュラ組織と機械的性質の調査――
 Studies of Acicular Cast Iron Containing Nickel and Molybdenum.
 ―An Investigation of the Acicular Structure and Mechanical Properties in Cylinder Liners.―

Щ	内	実*	岡	村	隆		
	Minoru Yamau	chi	Takashi Okamura				

内 容 梗 概

Ni, Mo を含むアシキュラ鋳鉄をシリンダライナに使用する場合,化学成分および冷却速度が組織,機械的 性質に大きな影響を及ぼし,また鋳込後の冷却速度が適当でないと,十分に良好な機械的性質を示さない。こ れらの点を明らかにするためにライナの鋳込後の冷却速度を測定し,実体から試料を切り出して,アシキュラ 組織をうるための冷却速度(各種ライナ)と化学成分の関係を調査し,さらに焼戻処理に関して種々検討して 良好なる機械的性質を示す焼戻条件を決定した。

1. 緒 言

1941年⁽¹⁾~1942年⁽²⁾にわたって R. A. Flinn 氏らが鋳鉄のマトリ ックスを改善する目的で Ni, Mo を含む合金鋳鉄の系統的な研究を 行い,上部ベーナイト段階で生ずるアシキュラ組織はパーライトに 比して著しく機械的性質がすぐれていることを示し,鋳造状態でそ の組織をうる条件を決定した。その後この種の鋳鉄の製造法,機械 的性質に関する研究がしばしば報告され^{(3)~(16)},その耐摩耗性につ いても注目されてきた⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。

第1表 試料の化学成分

試 料 番 号		化 学 成 分 (%)									
		C	Si	Mn	Р	S	Ni	Mo			
	1	3.28	1.51	0.85	0.080	0.021	2.23	0.97			
L	2	3.15	1.46	0.87	0.084	0.025	2.26	1.04			
	3	3.01	1.27	0.65	0.096	0.007	2.30	0.94			
	1	3.15	2.00	0.88	0.075	0.009	2.41	1.09			
LM	2	2.94	1.24	1.03	0.065	0.014	2.46	1.04			
	3	3.05	1.55	0.93	0.076	0.011	2.48	1.05			
	1	3.04	1.12	0.69	0.081	0.010	2.57	0.95			
М	2	3.14	1.73	0.95	0.072	0.021	2.57	1.07			
	3	3.13	1.22	0.92	0.065	0.009	2.60	0.96			
	1	2.91	1.82	1.53	0.082	0.010	2.62	1.05			
	2	3.14	1.19	0.95	0.084	0.010	2.63	0.96			
MH	3	2.98	1.55	0.87	0.067	0.007	2.64	0.94			
	4	3.05	1.43	0.78	0.070	0.021	2.66	1.10			
	1	3.13	1.12	0.89	0.066	0.009	2.82	0.98			
Н	2	2.62	1.70	0.93	0.110	0.015	3.00	1.08			

日立製作所川崎工場清水分工場においても現在高圧コンプレッサ のシリンダライナに Ni, Mo を含むアシキュラ鋳鉄を製造している が,従来の文献をそのまま適用するには無理がある。すなわちシリ ンダライナのように円筒形の適正化学成分に関しては報告されてい ない。またアシキュラ鋳鉄は焼戻処理によって著しく機械的性質が 向上するが,焼戻処理に付随する *T*_R (残留オーステナイト)の分解 は単に化学成分以外に *T*_R 量およびアシキュラ変態温度,変態量に よってもかなり変化するので,焼戻条件を決めるにはシリンダライ ナ実体について調査することが望ましいと考えられる。

以上のような観点にしたがって各種シリンダライナの適正化学成 分および焼戻条件について調査した。

2. 実験方法

肉厚, 寸法の異なる各種シリンダライナについて凝固点付近より 常温付近までの冷却曲線を測定し, さらに実体より試料を切り出し て, それらの組織ならびに機械的性質を調査し, 化学成分, 冷却速 度, 組織および機械的性質などの相互関係について検討した。

2.1 試

料

使用した試料はすべてシリンダライナ実体より採取したもので, 3 t エルー式電気炉で熔解し注湯温度約1,390°C で鋳造されたもの である。試料の化学成分は Ni 含有量を基にして5種類にわけて第 1表に示す。

また調査した各種シリンダライナの素材横断面寸法を内径の順に 第2表に示す。なお今後成分と横断面寸法を関係づけるため第1, 2表よりL1-@, MH2-@などのように表示する。 2.2 冷却速度の測定 シリンダライナの冷却速度は熱電対を入れた不透明石英管を注湯 前に鋳型上部より製品に支障のない限り深部に差込み(ライナ上端 より15~20 cm), 記録温度計にて測定した。

第2表 各種シリンダライナの素材横断面寸法および素材重量

試番	内 径 (mm)	外径 (mm)	肉 厚 (mm)	素材重量 (kg)	試番	内径 (mm)	外 径 (mm)	肉 厚 (mm)	素材重量 (kg)
a	90	210	60	55	D	354	445	46	215
	130	240	55	68	Ð	365	435	35	326
©	133	215	41	150	r	395	540	73	173
(142	216	37	54	(8)	450	535	43	260
e	150	230	40	119	Œ	470	615	73	215
Ð	165	245	40	100	U	525	635	55	218
B	174	270	48	260	Ŵ	545	695	75	302
h	205	315	55	175	W	568	688	60	234
í	200	270	35	170	x	645	780	68	320
Ð	228	318	45	105	Ø	750	890	70	490
® D	246 320	330 460	42 70	190 148	試番	直	直 径 (mm)		素材重量 (kg)
m	325	410	43	216	A		155		
(n)	325	415	45	71	B	- 2 H2 -	160		73
0	335	465	65	103	C	1.1.1	170		220

2.3 試 験 片

まず製品に近い部分より厚み 30 mm に突切り,リングの場合は 第1図(A)に示す要領で引張,衝撃,硬度(検鏡試験片兼用)および 熱膨脹試験片を採取した。図中②,③は一部の厚肉のものについて 行ったものである。なおライナの内径仕上しろは片肉 6~8 mm な ので,特に実際使用面の諸性質を調査する目的で各試験片は鋳放内 面より5 mm 切削後採取した。また製品内径 100 mm 以下のものは 中子を使用せず円柱状に鋳込んだ。この試験片の採取方法を第1図 (B)に示す。第2 図に採取した引張,熱膨脹試験片の寸法を示す。

* 日立製作所川崎工場

_____ 61 _____

262 昭和35年2月

日 立 評 論

第 42 巻 第 2 号



---- 62 -----

衝撃試験片は10mm角,長さ55mmで切込みを付さなかった。

2.4 顕微鏡による組織の測定方法

成分,肉厚,冷却速度とアシキュラ変態量との関係を求めるた めにマトリックスの各組織量を顕微鏡で測定した。測定方法は R. T. Howard 氏ら⁽¹⁹⁾によって紹介されたカウンタによる積線分法 (Lineal Analysis) によった。測定位置は、リングの場合は鋳放内 面より 5~15 mm 間の 10 mm,円板の場合は中心より半径 45~55 mm間の 10mmである。なおマトリックス中のマルテンサイトは顕 微鏡で判定可能なものについて求め、*T*R はマルテンサイトと混在 している場合はマルテンサイトとみなしそのほかのものは判定不可 能のため測定しなかった。

2.5 焼 戻 処 理

引張,衝撃および硬度試験片は所定の焼戻温度に保持した金属浴 中に一定時間浸せき後取出して空冷した。なお焼戻温度 300℃以下 の金属浴にははんだ合金を,350℃以上には鉛を使用した。

2.6 熱膨脹試験

各試料を所定の焼戻温度に保持した場合の膨脹量を本多一佐藤式 示差熱膨脹計を用い 10⁻³ 程度の真空度内にて測定した。加熱速度 を速くするために最初焼戻温度より 300℃ 高めに保持した電気炉で 加熱し,所定温度に達する直前にその温度に保持した電気炉と入れ 換えた。この場合試験片が焼戻温度に達するまでには約4~5分要

実験結果と検討

3.1 冷却速度測定結果

変態点付近の冷却速度以外に凝固点付近の冷却速度によって、オ ーステナイトの結晶粒度、遊離セメンタイト量、黒鉛の分布状態が 異なり、変態速度に影響を及ぼすと考えられるので、第3図に凝固 点付近、第4図に変態点付近の冷却速度を示す。アシキュラ鋳鉄の 冷却曲線はパーライトにみられるような変態生成熱による折点をほ とんど示さない。図中のグループ①はライナ上端が大気と接してい るので、厚肉であるが冷却速度が速くなっている。グループ②はラ イナ上端が鋳型によって大気と遮断されているので、薄肉のもので も冷却速度がおそくなっている。供試料中グループ①に属するもの は①, ①, ①, ①, ①, ①, ②, ③, ③, ③, ③, ③ で、そのほかはグループ ②に属する。アシキュラ変態温度と考えられる 400°C 付近の冷却速 度を第4図に併記したが、9.6~26.3°C/h の範囲内で変化している。

3.2 成分および冷却速度(寸法)と組織との関係

各種シリンダライナの寸法,冷却速度および成分の変化に伴う各 組織の面積(%)測定結果を第3表に示す。表中Fは遊離セメンタイ トおよびステダイト量,A,S,M,αはマトリックスを100%とし た場合のアシキュラ,ソルバイト,マルテンサイト,遊離フェライ トの各組織量を表す。なお従来製品を鋳型より取り出す温度が一定

し、さらに平衡温度になるのに約4分要するので、なお3分間保持
し,加熱開始から12分経過後の膨脹量より検討することにした。
2.7 材料試験
引張試験は特別にチャックを製作して30tアムスラ型万能試験機
で 6t分銅を用いて行った。衝撃試験は 5 kgm シャルピー衝撃試
験機で, 硬度はブリネル硬度計を用いて鋼球 5 mm, 荷重 750 kg で
測定した。

せず,作業の都合上アシキュラ変態区間で取出し空冷されているものもあり,組織分析には当然この影響も加味されると考えられるので、その取出温度を備考欄に記入した。また欄中300℃×10h焼戻とあるのは現場で焼戻試料を採取したものである。
以上の結果よりアシキュラ組織をうるための適正成分と適用範囲について検討した結果を要約すると、つぎのようになる。
(1) 遊離セメンタイトは各試料とも約0.7~2%の範囲で存在し

武番 L 1 L 2 L 2 L 3 L 3 L 3 L 1 L 3 L 3 L 4 L 3 L 4 L 4 L 4 L 5 L 4 L 5 L 4 L 5 L 4 L 5 L 5 L 5 L 6 L 7 L		A 57.7 86.8 87.8 84.6 1.3 0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 83.6 83.6 83.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	S 39.5 12.1 12.2 15.4 87.1 84.2 88 66.2 66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	M 	α 2.8 1.1 11.6 15.2 11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 0.3 0.66 0.95	F 0.84 1.2 0.51 0.23 0.7 1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.95	 備考 中心 中心より50 r 約310℃より空冷 約380℃より空冷 約310℃より空冷 約350℃より空冷
L 1 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6		57.7 86.8 87.8 84.6 1.3 0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	39.5 12.1 12.2 15.4 87.1 84.2 88 66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		2.8 1.1 11.6 15.2 11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 	0.84 1.2 0.51 0.23 0.7 1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	 中心 中心より50 r 約 310℃ より空冷 約 380℃ より空冷 約 310℃ より空冷 約 310℃ より空冷 約 350℃ より空冷
L 1 (0) L 2 (0) L 3 (0) L 3 (0) L M 1 (0) L M 2 (0) M		 86.8 87.8 84.6 1.3 0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1 	12.1 12.2 15.4 87.1 84.2 88 66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		1.1 11.6 15.2 11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 0.3 0.66 0.95	1.2 0.51 0.23 0.7 1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心 中心より50 r 約 310°C より空冷 約 380°C より空冷 約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
L 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		 87.8 84.6 1.3 0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1 	$12.2 \\ 15.4 \\ 87.1 \\ 84.2 \\ 88 \\ 66.2 \\ 66.2 \\ 66.2 \\ 5.3 \\ 10.3 \\ 38.6 \\ 19.2 \\ 26.5 \\ 14.9 \\ 11.5 \\ 13.3 \\ 9.75 \\ 18.7 \\ 18.1 \\ 27.2 \\ 26.7 \\ 19.1 \\ 30.7 \\ $			0.51 0.23 0.7 1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心 中心より50 r 約 310°C より空冷 約 380°C より空冷 約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
L 3 (0) L 3 (0) L M 1 (0) L M 2 (0) M		84.6 1.3 0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	15.4 87.1 84.2 88 66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		11.6 15.2 11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 	0.23 0.7 1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心 中心より50 r 約 310℃ より空冷 約 380℃ より空冷 約 310℃ より空冷 約 350℃ より空冷
L 3 (0) L M 1 (0) L M 2 (0) L M 3 (0) M 2 (0) M 2 (0) M 2 (0) G (0) C (0		1.3 0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	87.1 84.2 88 66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		11.6 15.2 11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 	0.7 1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心 中心より50 r 約 310℃ より空冷 約 380℃ より空冷 約 310℃ より空冷 約 350℃ より空冷
L 3 (0) L M 1 (0) L M 2 (0) L M 3 (0) M 1 (0) M 2 (0) M 2 (0) G (0) C (0		0.6 0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	84.2 88 66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		15.2 11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 	1.8 0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心 中心より50 r 約 310℃ より空冷 約 380℃ より空冷 約 310℃ より空冷 約 350℃ より空冷
L 3 (0) L M 1 (0) L M 2 (0) M 1 (0) M 2 (0) M 2 (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)		0.8 23.6 3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	66.2 66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	0.5 0.84 	11.2 10.2 1.1 1.1 3.26 	0.91 0.85 0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心 中心より50 r 約 310℃ より空冷 約 380℃ より空冷 約 310℃ より空冷 約 350℃ より空冷
LM1 LM2 M1 M2 M2		3.27 93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	66.2 5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	0.5 0.84 	1.1 1.1 3.26 	0.73 0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	中心より50 r 約 310°C より空冷 約 380°C より空冷 約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM1		93.1 85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	5.3 10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	0.5 0.84 	1.1 3.26 	0.74 0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 310°C より空冷 約 380°C より空冷 約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM1		85.6 61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	10.3 38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	0.84 	3.26 	0.62 0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 380°C より空冷 約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM2		61.4 80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	38.6 19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		0.3	0.99 1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM2		80.8 73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	19.2 26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		0.3	1.63 1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
L M 2		73.5 85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	26.5 14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		0.3	1.2 1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM3		85.1 87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	14.9 11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	0.54 3.10 9.45 	0.3	1.43 1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM3		87.96 83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	11.5 13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	0.54 3.10 9.45 	0.3	1.61 1.72 0.80 0.86 0.95	約 310°C より空冷 約 350°C より空冷
LM3		83.6 80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	13.3 9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	3.10 9.45 	0.3	1.72 0.80 0.86 0.95	約310°Cより空冷 約350°Cより空冷
M 1 0		80.8 81.3 81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	9.75 18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	9.45	0.3	0.80 0.86 0.95	約 350°C より空冷
M 1 0	9 0 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9	81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	18.7 18.1 27.2 26.7 19.1 30.7		0.3	0.86	
M 1 (0) M 2 (0	© ® ® © © {	81.6 72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	18.1 27.2 26.7 19.1 30.7	1 1	0.3	0.95	
M 1 0	8 0 0 0 1 0	72.14 72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	27.2 26.7 19.1 30.7	-	0.66		
M 1 0	® ©{ @	72.35 80.7 68.9 85.6 85.1	26.7 19.1 30.7	_	11 015	0.54	
M 1 (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0) (0)	@ ©{ @	68.9 85.6 85.1	19.1 30.7		0.90	0.58	
M 2	©{ @{	85.6 85.1	50.7		0.2	1.27	
M 2	©{ @	85.1	14 1		0.4	1 1	the state of the s
M 2	a		14.7		0.2	0.79	中心より50 r
M 2 0	6	90.0	6.5	3.5		1.00	約280℃より空冷
M 2 0	m	76.8	23.2	-		1.54	約300℃より空冷
	(F)	91.7	4.1	4.2		0.58	約340℃より空冷
	ŧ	87.4	8.3	4.3	-	0.81	約340℃より空冷
	8	86.7	5.24	8.06		0.72	約360℃より空冷
	Ð	92.3	3.8	3.9		0.56	
M 3 (91.3 89.3	5.8 10.1	2.9 0.6	_	1.2	
	ອ (ຄ	88 04	11.2	0.76	_	1.8	執机理層壓不明
	Ð	83.1	16.9			2.25	熱処理履歴不明
MUI C	()	85.4	14.6	_		1.89	熱処理履歴不明
MITI ((m)	84.5	15.5			1.2	
0	al	88.9	11.1	-	-	0.8	(中心)熱処理履歴不明
	a l	84.2	15.8			1.2	(中心より50r)熱処理履歴不明
0	6	85.3	14.3	0.4		1.7	300℃×10h焼戻
MH2	1	90.6	8.3	1.1	-	0.6	300℃×10h焼戻
	(V) (R)	83.3	16.7	-	_	1.4	300℃×10h焼戻 (thi、 th 50 r) 300℃×10 b 焼豆
		01.4	0 6			0.42	(中心より301) 300 0×1011 死厌
	(i)	82.1	0.0	0.7	_	0.66	
	ß	77.8	20.1	1.2	0.9	1.07	
MH3	(n)	89.8	9.5	0.7	-	0.56	
C	Ð	86.3	12.7		1.0	0.75	
((8)	92.2	7.8	-		0.5	
(©	83.7	16.1		0.2	0.84	中心より50 r
MH4	0	90.6	8.6	0.8		1.16	約300℃より空冷
	Ø	81.8	13.23	4.97		1.04	約350℃より空冷
	(j)	89.8	6.1	4.1		1.3	
HI ((P) (W)	83.3 92.5	16.7 6.36	0.5		1.75	
	0	02 7	12.0	0.4		1.00	\$4 100°C + h dryh
H 2	Ð	03.7 88.3	6.5	2.4		1.22	約4000より空冷約320℃より空冷

第3表 各試料の組織測定結果

態温度範囲を上昇する⁽²⁰⁾⁽²¹⁾のでアシキュラ組織を増すことが考 えられるが、その量が2%に至ると冷却速度の速いLM1-@にも 第6図のように黒鉛周囲にフェライトが析出する。さらにSiは 第7図のように黒鉛を粗大化するので、冷却速度に応じて1.4~ 1.7%範囲内で変化させることが望ましいと考える。

(3) Mn約0.8~0.9%, Mo約1%, Si約1.5%含有されればフ ェライトは析出しないが, Moが0.95%以下になるとL1および MH3のようにフェライトが析出しやすくなる。さらに Mn量が 0.6~0.7%に低下すると第8図のL3-⑤のようにアシキュラ組織 が得られずソルバイトとフェライト組織となり,あるいは第9図 のM1-⑥のようにアシキュラ組織が粗になり,フェライトが析出 しソルバイト量も増加する。しかし逆に Mn, Moが適量範囲を こえると遊離セメンタイトが増し, Mn 1.5%に至ると第10図の MH1-@のように硬度が高く加工性の悪い下部ベーナイト状の組 織を呈する。

(4) Si 約 1.5%, Mn 約 0.8~0.9%, Mo 約 1%, 含有すれば冷 却速度の速い @, ①, ① では Ni 2.26~2.3%で 85%以上のアシキ ュラ組織が得られ,冷却速度の最もおそい @ でも Ni 2.6%で十分 と思われる。 Ni が適量以上加わると **第 11 図** のように順次マル テンサイト組織が混在してくるので,この種の冷却速度範囲内で の Ni の所要量は 2.25~2.60% であるといえる。

(5) 黒鉛組織は凝固速度あるいは熔解条件の差によっても変化 するので、一概に化学成分の影響によるものと断定できないが、 Mo は黒鉛組織を微細化する傾向が認められる。たとえば 第12 図のように Mo を除く化学成分のほぼ同一な L1-@ と L2-①を 比較すれば明瞭に認められる。Si は前述のように黒鉛を粗大化す る。このほかに厚肉の凝固速度のおそい場合に、しばしば 第13 図のように塊状、いしゅくした黒鉛形態を示す。

注: 備考欄は鋳型よりの取出し温度および測定位置を示す

(6) 鋳型よりの取出温度が300°C以上になるとアシキュラ組織 中に混在するマルテンサイト組織が増加する。たとえばLM3のマ ルテンサイト量は同一寸法の (d_1, d_2) で取出温度の高い (d_2) (約) 310℃)の場合増加し, 取出温度 350℃の (j) はさらに増加してい る。これはS曲線のベーナイト変態の鼻に相当する温度(1)(2) (開始約 350°C, 終了約 300°C) で空冷されるため未変態オーステ ナイトがAr"変態しやすくなるためであろう。よってこの温度範 囲は鋳型内で冷却し、Ar"変態によるひずみを少なくするために 100℃以下の温度まで鋳型冷却することが望ましいと考えられる。 以上の実験によってアシキュラ鋳鉄が化学成分,冷却速度に応じ てどのように変化するかを知った。これらの結果から第2表に示し た各種シリンダライナと適正成分についてその大略を第4表に掲げ て現場作業の参考にしたいと思う。すでに述べたように鋳造のまま の状態では遊離セメンタイトがパーライト反応を促進するために 90%以上のアシキュラ組織をうることは実際上困難と思われるので 第4表にはアシキュラ組織85%以上、マルテンサイト0%、遊離セ メンタイト1%以下を目標とした。なお Mn, Mo は前述の理由で Mn 0.8~0.9%, Mo 1~1.05%とし、C は3%前後とした場合であ る。

3.3 機械的性質に及ぼす組織,成分,焼戻の影響

3.3.1 質量効果について

厚肉のライナの質量効果を調べるために一部の試料を第1図に

ar .

ているが、これに Mo, Mn が固溶し、さらにこれを核としてパ ーライト反応が促進されるためにアシキュラ組織を減少させる。 本試料にみられるソルバイトはすべてセメンタイトを核としてお り、合金元素量の多いH2-①でも第5図に示すようにセメンタイ トの周囲にソルバイトが析出している。 (2) Siは遊離セメンタイト量を減少し、それ自身パーライト変

---- 63 -----



第8図 L3-⑤の基地組織 (×400)



第11図 M3-①の基地組織 (×400)

第9図 M1-③の基地組織 (×400)



第12図(A) L1-@の黒鉛組織(×50) 第12図(B) L2-①の黒鉛組織(×50)

--- 64 ----

第10図 MH1-mの基地組織 (×400)



明らかなように、本試料は測定位置によってもマトリックスはあ まり変化せず,主として凝固点付近の冷却速度の不均等による黒 鉛,遊離セメンタイトの分布状態などに影響されると考えられる。 凝固温度範囲を広げる Si は質量効果を大にし,黒鉛組織を均一か つ微細化する Mo^{(3)~(5)} は質量効果を小にするものと考えられる。

3.3.2 適正焼戻条件に関する検討

前項に述べたように機械的性質は測定位置によって多少変化す るが,ここではライナしゅう動面について調査する目的なのでリ ングの場合熱膨脹, 引張, 衝撃, 硬度試験などはすべて第1図(A) の①の位置について測定した結果である。



第13図(B) MH2- ④の黒鉛組織(×50) M2-②の黒鉛組織(×50)

第13図(C) H2-①の黒鉛組織(×50)

265





第13図(A)

第16図は各温度に焼戻した場合の膨脹量を示 したもので、焼戻温度250,300,350°Cでは Г Rの ベーナイト化による膨脹を示す。400, 500°Cにお ける収縮はマルテンサイト変態などによって生じ た微粒炭化物が凝集(TRよりの炭化物の析出も含 まれる) するためと考えられる。 図より TR は 300°C で分解速度も速く、かつ終了も速いものと 推定される。350°Cでは400°Cの収縮終了後の膨脹 量より少ないことおよび第18図に示す硬化度が 低いことからTRの分解速度はおそいものと考え られる。500℃では収縮終了後10時間保持しても ほとんど変化しないが冷却過程で第17図に示す ように 183°C より二次 Ar"変態による急激な膨脹 が認められる。 つぎに各温度に焼戻した場合の硬度変化を第 18 図に, 抗張力および衝撃値の変化を第19 図に 示す。硬度, 抗張力は 300°C 付近では ア R のベー ナイト変態により、500°C付近では TRの二次 Ar" 変態により高値を示すが, 350~400°C付近では未 分解 Г R の存在, マルテンサイトの分解などによ り低値を示す。 600°Cではアシキュラ組織は第20 図のようにソルバイト状の組織に分解するので著 しく低下する。衝撃値はばらつきが大きいので正 確な判定はできないが, 焼戻によってあまり変化 しないようである。しかしアシキュラ組織の分解 する 600°C では急激に低下する。

試料採取位置と機械的性質の関係 第14 図





— 65 ——

以上調査した結果によれば、焼戻温度300℃で **Γ**Rの分解速度が速く,抗張力も著しく改善される ので適正焼戻温度は300°Cが適当であると考えら れる。

さらに焼戻時間を決定するために焼戻温度



鋳放および焼戻後の断面硬度分布曲線 第15図

0	00
• • •	66
4	00

昭和35年2月

日

立

評

論

第42卷第2号

0.54

0.64

0.75

0.69

231

233

245

237

40.3

41.0

38.7

43.2

14.92	第43	長 各種シリ:	ノダライ	ナの適正成分	5
試番	Si %	Ni %	試番	Si %	Ni %
a	1.4~1.5	$2.5 \sim 2.6$	0	1.4~1.6	2.45~2.5
6	1.4~1.5	$2.4 \sim 2.6$	Ð	$1.4 \sim 1.5$	$2.55 \sim 2.65$
©	$1.5 \sim 1.7$	$2.26 \sim 2.3$	®	1.5~1.6	$2.3 \sim 2.4$
($1.5 \sim 1.6$	2.26~2.3	r	1.4~1.6	2.45~2.55
e	1.5~1.6	$2.26 \sim 2.3$	(8)	$1.4 \sim 1.5$	2.5 ~2.6
Ð	1.5~1.6	2.26~2.3	Œ	1.4~1.6	$2.45 \sim 2.55$
B	1.4~1.5	2.5 ~2.6	u	1.5~1.6	$2.45 \sim 2.55$
h	1.4~1.5	2.6 ~2.7	V	1.4~1.6	2.45~2.55
(j)	1.5~1.6	2.26~2.3	8	1.4~1.6	$2.45 \sim 2.55$
()	1.4~1.5	$2.45 \sim 2.5$	(X)	1.4~1.6	2.45~2.55
k	$1.4 \sim 1.5$	2.45~2.5	Ø	1.4~1.6	2.45~2.55
	1.4~1.6	$2.45 \sim 2.5$	A	1.4~1.6	$2.45 \sim 2.55$
m	1.4~1.5	2.45~2.5	B	1.4~1.6	$2.45 \sim 2.55$
n	1.4~1.5	$2.45 \sim 2.5$	©	1.4~1.6	$2.45 \sim 2.55$

C 3%前後, Mn 0.8~0.9%, Mo 1%とした場合

40 35 30 25 (X 10⁻³mm) 20 保持温度 15 -BARA 10

		鋳	放 状	態	300℃×10h 焼戻した場合			
試	番	抗張力 (kg/mm ²)	衝 撃 値 (kg m)	硬度 (HB)	抗張力 (kg/mm ²)	衝 撃 値 (kg m)	硬度 (HB)	
L1	e	30.3	0.49	211	33.9	0.5	228	
	(1)	-	0.47	205	-	0.41	227	
1.2	Ð	34.8	0.58	222	37.9	0.63	232	
L Z	Û	36.3	0.72	220	36.3	0.83	- 240	
	©	33.1	0.66	225	32.9	0.71	228	
I. 3	B	33.2	0.45	219	32.8	0.43	221	
12 0	S	31	0.6	229	32.9	0.6	230	
	©		2 	249	34.2	0.45	263	
LM1	0	34.1	0.65	246	35.9	0.58	257	
131011	V	34	0.55	244	36.8	0.6	259	
	(a)	-	0.55	244	42.7	0.55	263	
IM2	0	45.5	0.68	246	47.8	0.63	266	
L MI L	D	41.1	0.55	255	41.9	0.53	260	
	r	42.4	0.67	262	44.7	0.56	294	
	@ 1	40.3	0.93	244	43	0.82	260	
LM3	1	37.7	0.84	250	44.4	0.79	267	
12101 0	Ð	40.4	0.65	264	45.5	0.92	316	
	Ð	41.6	0.65	235	42.9	0.7	256	
	©				40.1	0.57	238	

第5表 鋳放状態および 300×10時間 焼戻後の機械的性質

M 1 ®

(n)

 \odot



第16図 M2-① を各温度で保持した場合の膨脹量と 時間の関係



第17図 M2-① を500℃で10時間保持後空冷し た場合の膨脹曲線

	©		-	1	39	0.72	239
	@	40.8	0.80	245	46	0.76	268
M 2	(1)	37.1	0.63	224	43.6	0.67	230
	F		0.64	253	-	0.59	269
	Œ	35	0.65	242	45	0.73	260
	(\$)	39	0.58	252	43.9	0.53	259
M 3	Ð	41.3	0.67	252	44.7	0.79	258
	T	40.7	0.71	245	42.9	0.71	259
	T	40.7	0.73	243	43	0.69	256
	Œ	47.4	0.64	330	49.5	0.62	325
MH1	í	38	0.51	261	41.9	0.72	276
	1	50.9	0.5	338	50.5	0.49	346
	A			356	39.1	0.4	365
MH 2	Б				42.2	0.79	243
	(j)				43.2	0.78	256
	\odot				41.8	0.66	246
	B	(<u>1111)</u>)		1 <u>11111</u> 1	41.5	0.72	260
	6	40.4	0.79	251	45.2	0.73	268
	(I)	41.2	0.74	248	42.9	0.65	271
	k	43.9	0.8	246	44.8	0.77	263
MH 3	n	41.3	0.8	243	44.7	0.76	267
	Ð	41	0.73	245	44.2	0.6	263
	(5)	39.4	0.82	260	46.1	0.81	263
	©	43	0.7	248	47.3	0.68	258
MH4	Ü	38.4	0.86	222	44	0.79	243
	Ø	40.9	0.86	233	46.4	0.8	269
	í	41.2	0.7	244	42.8	0.75	273
H 1	Ð	41.9	0.78	244	45.6	0.75	248
		41.8	0.66	257	45	0.64	261
H 2	ħ	43.5	0.8	287	51.4	0.93	324
11 2	t	41.7	0.65	282	46	0.73	296
					1	1	

注: 空欄は測定しないことを示す

____ 66 ____

質がどのように向上するかを各試料について調査した。その結果

速度の変化では顕著な差は認められず,約9~10時間ですべて膨 脹を終了している。この結果300°Cにおける焼戻所要時間は10時 間であることがわかった。 以上調査した結果よりアシキュラライナの適正焼戻条件は 300°Cで10時間以上保持するのが適当であると考えられる。 3.3.3 鋳放状態と適正焼戻処理後の機械的性質について 前項のごとき適正焼戻条件にしたがって焼戻した場合機械的性 を第5表に示す。ここでは前項と同様にライナのしゅう動面について調査する目的でリングの場合は第1図(A)の位置について測定した結果である。アシキュラ組織のほとんど存在しないL3-©, ⑧, ⑤を除けば,いずれの試料も焼戻処理によって抗張力,硬度は 増加し,その割合はおもに *Г* m 量に依存すると考えられ,第21図 の膨脹量とよく一致するようである。 鋳鉄は機械的性質に及ぼす因子が多いので、マトリックスの変



焼戻時間 M2-5時間, LM1, LM2, LM3, MH3, HI-10時間 第18図 焼戻温度と硬度の関係 化をそのまま機械的性質に結びつけて判断できな いが,以上調査した結果について検討するとつぎ のようになる。

(1) Ni 含有量の低いL系ではアシキュラ組織 は比較的少なくそのために機械的性質も劣り,あ るいはL2-①, ①のようにアシキュラ組織が多く ても 第22 図 のようにその組織は粗となり,かつ 混在するソルバイトも粗となるので抗張力,硬度 は低下する。

(2) フェライトの析出は機械的性質を低下させ、特に抗張力に及ぼす影響が大きい。たとえばM1のようにフェライトが1%以下でもM2,M3に比べて抗張力、硬度は8~10%低下しているが、この場合第9図のようにアシキュラ組織はやや粗で、ソルバイト量も増加しているので、この影響も加味されたものと考えられる。フェライト量の多いL1、LM1はさらにその影響が大となり、 黒鉛組織は粗であるが、アシキュラ組織85%以上を占めているLM1はLM2、LM3に比べて抗 張力は15~20%低下している。しかし硬度、衝撃 値は大差ない。

(3) 焼戻処理によって抗張力は約5~18%, 硬



第19図 焼戻温度と抗張力および衝撃値の関係



度は約5~15%の範囲内で増加し,衝撃値はほとんど変化しない。処理後の抗張力は約40~50 kg/mm²,衝撃値は約0.6~0.9 kgm/cm²,硬度(H_B)は約250~300の範囲内である。

4. 考 察

以上の実験を通じて種々問題はあるが最も重要な 点は黒鉛組織,フェライトの析出および焼戻過程に おける諸現象と考えられるので,これらの点につい て少しく考察を加えてみる。

4.1 黒 鉛 組 織

厚肉のシリンダライナにはしばしば 第13 図 のよ うな異状形態の黒鉛組織が現われるが,塊状黒鉛が 大きい場合には表面が荒れて美麗な仕上面が得られ ず,耐摩耗性についてもあまり好ましくないと考え られる。本鋳鉄のように合金元素量が多い場合には 谷村氏⁽²²⁾のいわれるように凝固温度範囲が拡張さ れ,最初共晶点に達したときには Si 濃度の高いオ ーステナイトが晶出するので黒鉛は大きく発達し,

共晶末期に近づくにつれ Mn, Mo によって濃縮さ れた融体が凝固するようになり,これが炭化物として残る。このた めに黒鉛組織は粗大となり,遊離セメンタイトも増加するわけであ る。この黒鉛組織の改善の一方法として熔湯処理⁽¹⁶⁾の問題が考 えられ,この点については今後検討したいと思う。

4.2 フェライトの析出

フェライトは機械的性質を劣化し,耐摩耗性をも害すると考えら れるが,すでに述べたように Si, Mn, Mo を調整することによっ て十分フェライトの析出を防止できるので,この点について注意し て製造する必要がある。

第20図 M3-① を600℃で10時間焼戻した場合の基地組織 (第11 図参照)

4.3 焼戻過程における諸現象

--- 67 -----

従来アシキュラ鋳鉄における焼戻についてはR. A. Flinn氏ら⁽¹⁾⁽²⁾ が焼戻温度 260~370℃, W. W. Braidwood 氏⁽⁹⁾および E. Piwowarsky 氏⁽¹⁰⁾ が 300~350℃ が適当であると報告している。本実験 では 300℃ 付近が適当で従来の温度範囲よりさらに狭い限界を置く



昭和35年2月

立 評

日

論



第21図 300°Cで保持した場合の膨脹量と時間の関係

耗性を要求される場合には好結果が期待される。さらに第18図M2 のように焼戻温度5時間でも顕著な二次硬化現象を示すことはこの 温度に短時間保持すれば Γ_R より炭化物の析出がすみやかに行われ るために⁽²³⁾ Γ_R の分解速度を促進することを示唆するもので、単に Γ_R の分解を目的とするならば焼戻時間が短縮され、有効な方法と なるものと考えられる。

5. 結 言

Ni, Mo を含むアシキュラ鋳鉄を高圧コンプレッサのシリンダラ イナに適用する場合の適正化学成分およびその後の焼戻条件, 機械 的性質について実体から切り出した試料に基づいて調査した。その 結果を要約すると次のようになる。

(1) C 3%前後, Mn 0.8~0.9%, Mo 1%の場合冷却速度に 応じて Ni 2.26~2.60%, Si 1.4~1.7%の範囲で調整することに よって85%以上のアシキュラ組織が得られる。

(2) 遊離セメンタイトの存在はソルバイト組織を増加させ、ア シキュラ組織を減少させる。

(3) 厚肉のライナの機械的性質を調査する場合質量効果を考慮 に入れて試験片を採取する必要がある。

(4) 焼戻過程にベーナイト変態による硬化と二次 Ar"変態によ る硬化と二つの異なった硬化現象を呈する。

(5) 焼戻処理は 300°Cで 10時間が適当である。



第22図 L2-①の基地組織(×400)

べきと考える。アシキュラ鋳鉄の焼戻処理は主として*T*Rの分解を 目的とするものであるが、*T*R は単に量および成分によってその分 解条件が支配されるのではなく、ベーナイト変態区間の冷却速度、 変態量⁽²⁾⁽²³⁾ に大きく支配される。すなわちベーナイト変態によっ て生成したフェライト中のCが周囲のγ中に拡散し、γはCが富化 されるために安定となり、その一部は常温にまで残留するからであ る。よってこれらのことを加味して焼戻条件を決定する必要がある ので、本実験の適正焼戻条件がそのまますべての場合に適応すると は限らない。

 (6) (5)の焼戻処理によって抗張力は約 5~18%, 硬度は約 5~15%の範囲内で増加し, 衝撃値はほとんど変化しない。処理 後の抗張力は約 40~50 kg/mm², 衝撃値は約 0.6~0.9 kgm/cm², 硬度は約 250~300 の範囲内にある。

(7) フェライトの析出はアシキュラの機械的性質を劣化させ, 特に抗張力に及ぼす影響が大である。

* 考 文 献

- (1) R. A. Flinn, D. J. Reese: Trans. A. F. A. 49, 559 (1941)
- (2) R. A. Flinn, M. Cohen, H. J. Chipman: Trans. A. S. M. 30, 1255 (1942)
- (3) V. A. Crosby: Trans. A. F. A. 45, 626 (1937)
- (4) 谷村, 黒川: 鋳物 12, 519 (1940)
- (5) 谷村, 古賀: 鋳物 13, 317 (1941)
- (6) R. A. Flinn, H. J. Chipman: Trans. A. F. A. 54, 141 (1946)
- (7) T.E.Eagan: Trans. A.F.A. 54, 230 (1946)
- (8) A. B. Everst: Metallurgie Nov. 41 (1949)
- (9) W. W. Braidwood: Foundry Trade Journal Dec. 649,
 685, 717 (1949)
- (10) E. Piwowarsky: Giesserei 37, 29 (1950)
- (11) 山本: 鉄と鋼 38, 880 (1952)
- (12) A. De Sy: Giesserei 41, 589 (1954)
- (13) J. Eeghem, J. Kidts, A. De Sy: Fonderie Nr. 101, 3975(1954)
- (14) A. De Sy, J. Eeghem: Giesserei 44, 189 (1957)
- (15) 音谷ほか: 鋳物 30,603 (1958)
- (16) 音谷ほか: 鋳物 30, 792 (1958)
- (17) 谷村, 永松: 鉄と鋼 38, 882 (1952)
- (18) R. G. Walzel, H. Ortner: Wear 1, 183 (1957)
- (19) R. T. Howard, M. Cohen: Trans. A. I. M. M. E. 172, 413 (1947)
- (20) 今井: 鉄と鋼 8,447 (1944)
- (21) J. F. Libsch, J. C. Danko: Metal Progress 66, 115 (1954)
- (22) 谷村: 日本金属学会誌分科会報告 XVII

るが抗張力,衝撃値が低下せず硬度を著しく増加させうるので,耐摩 (23) J. A. Cameron: J. of Iron & Steel Inst. 183, 260 (1950)

