
高硬度耐摩耗鋳鉄の開発

Manufacture of Large Roller Tires of Ni-Hard White Cast Iron and 20% Cr White Cast Iron for Coal Pulverizer

斉藤 博(Hiroshi Saito) 新中 博昌(Hiromasa Niinaka)

要旨：

従来製品に比べて2倍の粉砕能力を有する大型ローラーミル用ニハード鋳鉄および高Cr鋳鉄タイヤの製造条件を確立するため、両材質の大型化に伴う問題点を把握し、試作・確性試験を行った。これらの材質は〔C〕の晶出が起こらないため一般の鋳鉄よりひけ巣が発生しやすく、またCrを大量に含むため湯ジワ欠陥も発生しやすい。さらに、Mf点が常温以下となるため除冷中に変態が起こり、大きな変態応力による割れ発生の危険がある。そこで、凝固解析による鋳造方案の最適化、鋳造時の冷却方法および適切な熱処理条件の選定などについて十分に考慮した。その結果、両材質とも健全な製品が得られ、目標どおりの性能を達成した。

Synopsis：

Solidification characteristics and the effects of the cooling rate during heat treating and chemical composition on mechanical properties were investigated to develop the manufacturing procedure of Ni-hard white case iron and 20% Cr white iron for large roller tires of a coal pulverizer. Casting defects, such as internal shrinkage and the elephant skin which were typical characteristics in those types of cast iron, were able to be minimized by optimization of the solidification procedure using our calculation system called "BACCAS" and by control of the atmosphere during teeming. Thermal cracking, which was apt to occur during cooling after casting and heat treatment, in those cast irons was prevented by severe temperature control during both kinds of cooling. On the basis of these preproduction test results, both types of trial casting resulted in excellent quality with sufficient hardness.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Manufacture of Large Roller Tires of Ni-Hard White Cast Iron and 20% Cr White Cast Iron for Coal Pulverizer



斉藤 博
Hiroshi Saito
知多製造所 製造部 鑄造管理室 主査(掛長)



新中 博昌
Hiromasa Niinaka
知多製造所 製造部 鑄造管理室 主査(部長補)

1 緒 言

当社では、鑄造部門の重点指向品種として、エネルギー関連部品等の高付加価値鑄造品の開発を推進している。その一環として、水力発電の分野では、フランシスランナーをはじめ、カプラン、ペルトン等各種タイプの水車ランナーを製造し、中型ランナーの分野では、すでに多数の製造実績を重ねてきた。

一方、今後エネルギー関連分野においては、石炭火力発電の伸びが注目されており、その割合は1988年における6.7%から、2010年には15%を占めると予想されている。これに伴い石炭粉砕機は、従来のボールミルから粉砕能力の優れたローラーミルへ移行するとともに、従来ミルからさらに大型ミルへの転換が進められていくものと考えられる。

ローラーミルの素材には、従来からニハード鑄鉄と称する高硬度耐摩耗鑄鉄が採用されてきたが、当社ではミル寿命の向上をねらいとして、ニハード鑄鉄よりさらに高硬度が得られる20%Cr鑄鉄についても開発を行うことにした。これらの大型製品は、鑄造から熱処理に至るプロセスのなかで種々の課題を生じるため、実体規模の試作を行い品質を確認する必要がある。そこで、これらの材質について種々試験を実施した結果、満足する製品品質が得られたので、本報では試作に先だてて実施した各種試験の内容と試作結果について紹介する。

2 石炭粉砕機の概要

石炭粉砕機は、大別するとボールミルタイプとローラーミルタイプに分かれる。従来は、ボールミルが主流であったが、近年、粉砕能力の大きいローラーミルへ移行しつつある。

Fig. 1 に石炭粉砕機の一つであるローラーミルの構造¹⁾を示す。

要旨

従来製品に比べて2倍の粉砕能力を有する大型ローラーミル用ニハード鑄鉄および高Cr鑄鉄タイヤの製造条件を確立するため、両材質の大型化に伴う問題点を把握し、試作・確性試験を行った。これらの材質は[C]の晶出が起らないため一般の鑄鉄よりひけ巣が発生しやすく、またCrを大量に含むため湯ジワ欠陥も発生しやすい。さらに、 M_s 点が常温以下となるため除冷中に変態が起こり、大きな変態応力による割れ発生危険がある。そこで、凝固解析による鑄造方案の最適化、鑄造時の冷却方法および適切な熱処理条件の選定などについて十分に考慮した。その結果、両材質とも健全な製品が得られ、目標どおりの性能を達成した。

Synopsis:

Solidification characteristics and the effects of the cooling rate during heat treating and chemical composition on mechanical properties were investigated to develop the manufacturing procedure of Ni-hard white cast iron and 20% Cr white iron for large roller tires of a coal pulverizer. Casting defects, such as internal shrinkage and the elephant skin which were typical characteristics in those types of cast iron, were able to be minimized by optimization of the solidification procedure using our calculation system called "BACCAS" and by control of the atmosphere during teeming. Thermal cracking, which was apt to occur during cooling after casting and heat treatment, in those cast irons was prevented by severe temperature control during both kinds of cooling. On the basis of these preproduction test results, both types of trial casting resulted in excellent quality with sufficient hardness

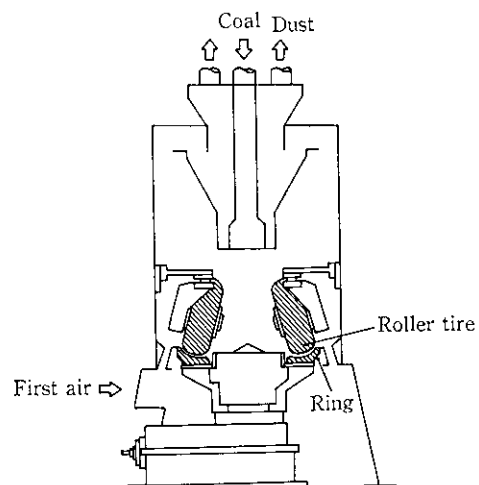


Fig. 1 Schematic illustration of pulverizer

* 平成2年5月23日原稿受付

Table 1 Chemical and hardness requirements of ASTM A532 I-D

	(wt. %)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	HB
ASTM A532 I-D	2.5~ 3.6	2.0 max	2.0 max	0.10 max	0.15 max	4.5~ 7.0	7.0~ 11.0	1.5 max	600 min

原料は上部より投入され、ローラーとリングの間で粉碎され、微粉炭は、分級後1次空気とともにボイラーに供給される。

ローラーおよびリングは、熱空気(20°~300°C)雰囲気中で石炭を粉碎する。リング上にローラー3個を等分に配列し、ローラーには、ローディングユニットにより30t/個の荷重が加えられ、リングの回転に伴って、自転しながら石炭を粉碎する。

ローラーおよびリングは、所定の摩耗量まで使用後、同時に交換され、約18000時間以上使用される。したがって、交換時までの使用に十分耐える強度と耐摩耗性が要求される。

3 ニハード鑄鉄製大型ローラータイヤの開発

3.1 製品仕様

3.1.1 形状

Fig. 2 に試作対象品の形状を示す。従来品の直径1500mm、幅500mm、粉碎能力40t/hに対し、本製品は、直径2000mm、幅700mm、粉碎能力95t/hと国内では初めての大型ローラータイヤである。

3.1.2 化学組成と要求特性

本材質は一般にニハード鑄鉄と呼ばれる白鑄鉄であり、要求仕様

は ASTM A532 I-D である。その化学成分を Table 1 に示す。

ASTM では、機械的性質として硬度(HB min 600)のみ規定しているが、当社では開発目標として TS 40 kgf/mm² 以上、HS 78-83 を採用した。

3.2 鑄造方案

材料特性調査の結果²⁾、本材質はひけ巣傾向が大きく、肉厚中心部にはザク状のひけ巣が形成されやすいことが判明した。そこで、当社開発の凝固解析システム BACCAS³⁾ による解析結果をもとに、鑄造方案を検討した。

3.2.1 凝固解析

凝固解析において内部欠陥を発生させないための前提⁴⁾として次の2条件を決定した。

- (1) 凝固時間線図において、閉ループ域および急激な加速凝固域を発生させない。
- (2) 温度勾配線図において、マイクロシュリンケージ発生に対する臨界温度勾配値以下の範囲を発生させない。

3.2.2 凝固解析結果

Fig. 3 に従来方案に基づく大型製品の場合の凝固解析結果を示すが、押湯下にひけ巣およびザク巣発生は領域が認められ、従来の鑄造方案では健全な製品が得られないことが判明した。そこで、種々の方案について検証し、最適方案を検討した。最適方案に対する凝固解析結果を Fig. 4 に示す。凝固時間線図、温度勾配線図ともに満足する結果となったので、この方案に基づき鑄造方案を決定した。

3.2.3 鑄込み

鑄型の造型は細心の注意を払って行われた。ニハード鑄鉄は徐冷中にマルテンサイト変態を生ずるため、冷却条件が不均一になると変態応力により割損するおそれがある。また、本材質は多量のCrを含むため、静かに注入しないと空気の巻込みによりCrが酸化、製品表面に湯シワ欠陥が発生し、これを起点として熱処理中に割損を生ずる。

このような鑄造欠陥を防止するため無酸化雰囲気注入等の新しい試みがなされた。

さらに本製品のように複雑な断面形状をした大型鑄物になると、均一な凝固および冷却速度を得ることが困難であり、割れ発生などの危険を伴う。さらに、ニハード鑄鉄は徐冷中にマルテンサイト変態による急激な膨脹がおこるため割損を生じやすく、特に300°C以下は徐冷して鑄物の内外の温度差をできるだけ小さくする必要があるため、冷却速度の管理を十分に行った。

3.2.4 熱処理

熱処理は材料特性調査の結果に基づき決定された。熱処理に際しては、製品実体測温により管理するとともに、保持・冷却過程における製品各部の材料特性のバラツキ防止に留意した。

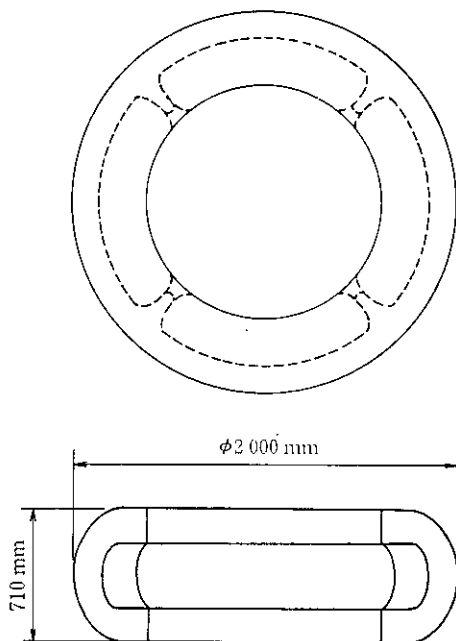


Fig. 2 Figures of large-type roller tire

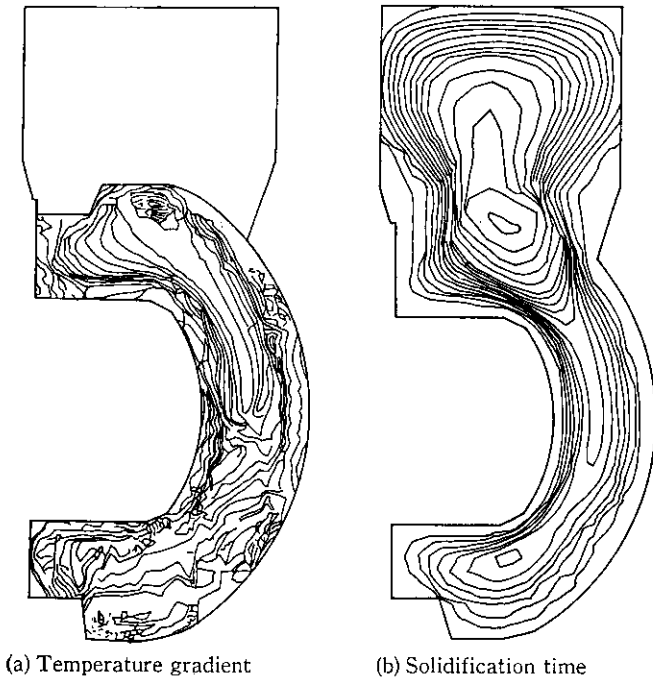


Fig. 3 Calculated solidification pattern of roller tire by BACCAS (conventional casting method)

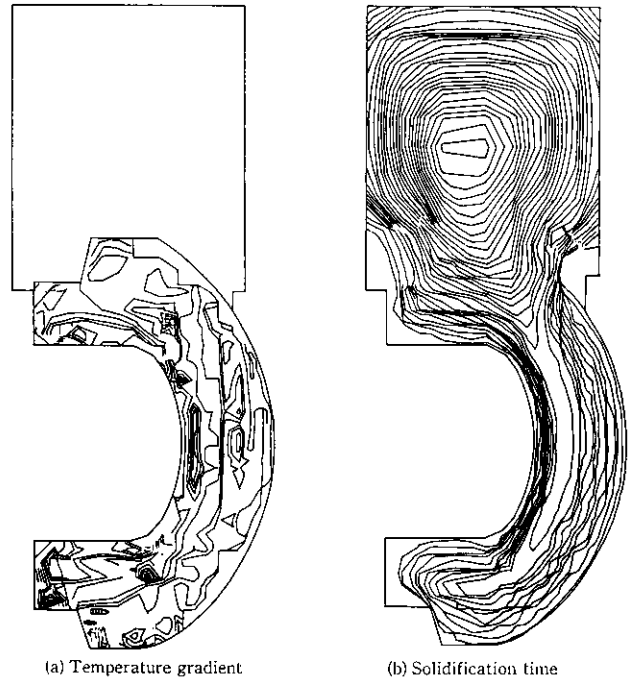


Fig. 4 Calculated solidification pattern of roller tire by BACCAS (newly developed casting method)

3.3 確性試験結果

3.3.1 内部品質

(1) 放射線透過試験

探傷は Fig. 5 に示すように、製品胴体部 (A方向) およびリブ交叉部 (B方向) の2方向より行い、各断面の11箇所について放射線透過試験を行った。試験結果を Table 2 に示すが、level 1 は、上型・下型近傍の軽度な砂かみおよび線状ひけ等の欠陥であり、その他の部位については無欠陥であった。

(2) 浸透探傷試験

内部品質確認のため試作品を切断し、切断面の染色浸透探傷試験を行った。Photo 1 に示すとおり、インジケーションは皆無で健全な内部品質を示すことが確認された。

3.3.2 機械的性質

製品本体の機械的性質を調査するため、Fig. 6 に示す各位置より引張および衝撃試験片を採取し試験を行った。衝撃試験片は溝無試

Table 2 Results of radiographic examination of trial product (Ni-hard roller tire)

Applicable severity level	ASTM E280 level 3
Results	No defect: 16 positions
	Level 1 : 6 positions

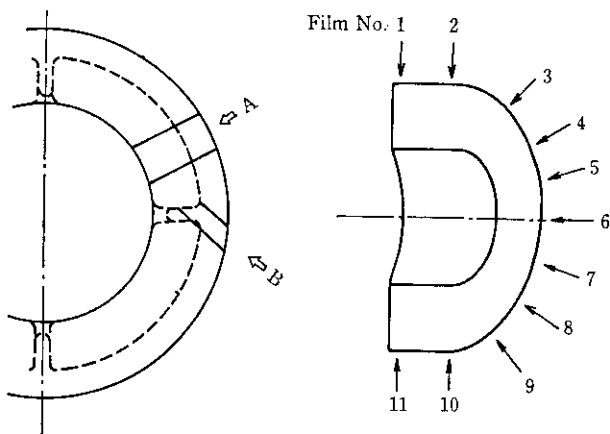


Fig. 5 Radiographic examination point of trial roller tire

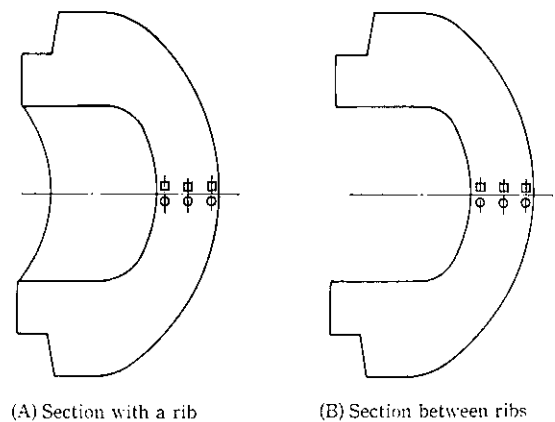


Fig. 6 Sampling position of test pieces

験片を用い室温にて実施した。

試験結果を Table 3 に示すが、結果はいずれも目標値を達成しておりバラツキも小さい。引張強度は、肉厚部でも 42~45 kg/mm² と高い値が得られており、熱処理方案の妥当性を裏付けている。



Photo 1 Penetrant test result of trial Ni-hard roller tire

Table 3 Mechanical properties of trial product (Ni-hard cast iron)

Test piece	Position	TS (kgf/mm ²)	Charpy impact value (kgf·m/cm ²)	Surface hardness (HS)
		JIS Z 2201 No. 8B	No notch	
Targets		Min 40	—	78~83
Results	A*1	45	0.43	81 80 82 81 81 80
		42	0.43	
		44	0.42	
	B*2	49	0.44	
		43	0.44	
		43	0.42	

*1 A: section with a rib

*2 B: section between ribs

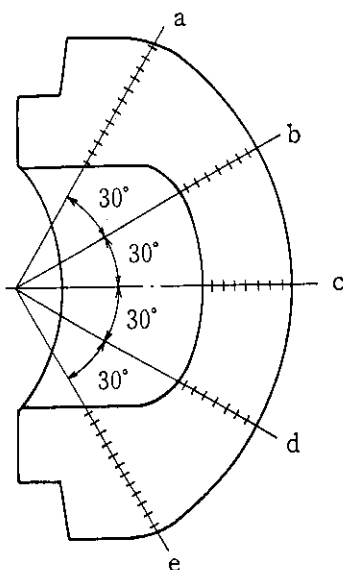


Fig. 7 The location of hardness measurement

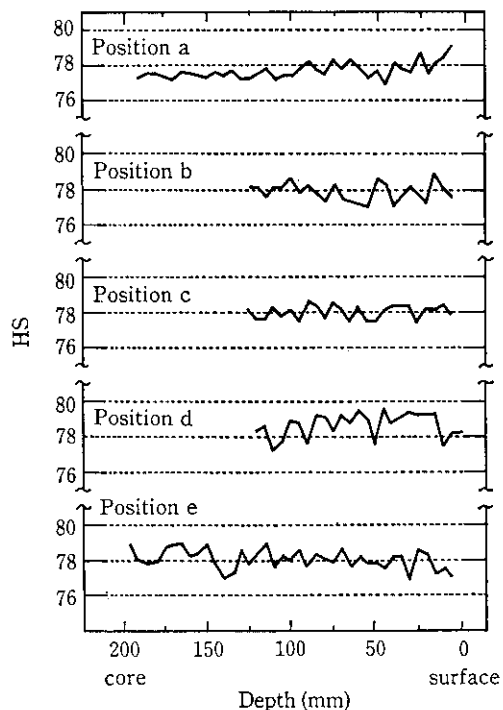


Fig. 8 Hardness distribution of trial Ni-hard roller tire (position a-e are shown in Fig. 7.)

3.3.3 断面硬度

Fig. 7 に示す各位置で断面の硬度を測定した。結果を Fig. 8 に示すが、外表面から内表面までの断面硬度には大きなバラツキは認められない。

3.3.4 ミクロ組織

本製品のミクロ組織を Photo 2 に示す。白い針状組織が M₃C 型の炭化物であり、基地組織は主にマルテンサイトで、少量の残留オーステナイトが認められる。

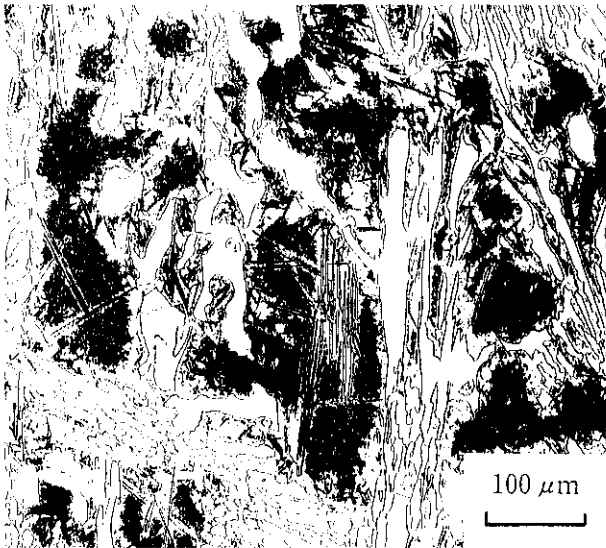


Photo 2 Micro structure of Ni-hard white cast iron

4 20% Cr 鑄鉄製大型ローラータイヤの開発

4.1 製品仕様

4.1.1 形状

製品形状はニハード鑄鉄の場合と同一形状である。

4.1.2 化学組織と要求特性

要求仕様は ASTM A532 II-D であり、Cr を 20% 含むマルテンサイト系鑄鉄である。化学成分を Table 4 に示す。ASTM では機械的性質として硬度 (HB min 600) のみ規定しているが、当社では開発目標として TS 50 kgf/mm² 以上、HS 80-90 を採用した。

Table 4 Chemical and hardness requirements of ASTM A532 II-D

(wt. %)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	HB
ASTM A532 II-D	2.0~ 3.3	1.0~ 2.2	2.0 max	0.10 max	0.06 max	2.5 max	18.0~ 23.0	3.0 max	600 min

Table 5 Result of radiographic examination of trial product (20% Cr roller tire)

Applicable severity level	ASTM E280 level 3
Results	No defect: 10 positions
	Level 1 : 8 positions

4.2 製造方法

材料特性調査の結果、20% Cr 鑄鉄はひけ巣傾向が大きく、肉厚中心部には微細なざく状のひけ巣が形成されることが判明した。したがって、押湯の位置と大きさや湯道と堰の方案に十分な配慮を行う必要がある。

そこで、種々の鑄造方案を BACCAS にて検証し最適方案を決定した。

徐冷と熱処理は予備試験の結果に基づき決定し、ニハード鑄鉄に準じて実施した。

4.3 確性試験結果

4.3.1 内部品質

(1) 放射線透過試験

探傷はニハード鑄鉄製に準じて製品胴体部およびリップ交叉部の 2 断面各 9 箇所について行った。試験結果を Table 5 に示すが、level 1 は胴中央から下方寄りに発生した軽度の砂かみ欠陥および樹枝状ひけ巣であり、その他部位は無欠陥であった。

(2) 浸透探傷試験

内部品質確認のため試作品を切断し、切断面の染色浸透探傷試験を行った。結果を Photo 3 に示すが、インジケーションのない健全な内部品質が確認された。



Photo 3 Penetrant test result of trial 20% Cr roller tire

Table 6 Mechanical properties of trial product (20% Cr cast iron)

	TS (kgf/mm ²)	Charpy impact test (kgf·m/cm ²)	Surface hardness (HS)
Test piece	JIS Z 2201 No. 8B	No notch	
Targets	Min 50	Min 0.3	80~90
Results	60	0.47	89
	63	0.48	88 87

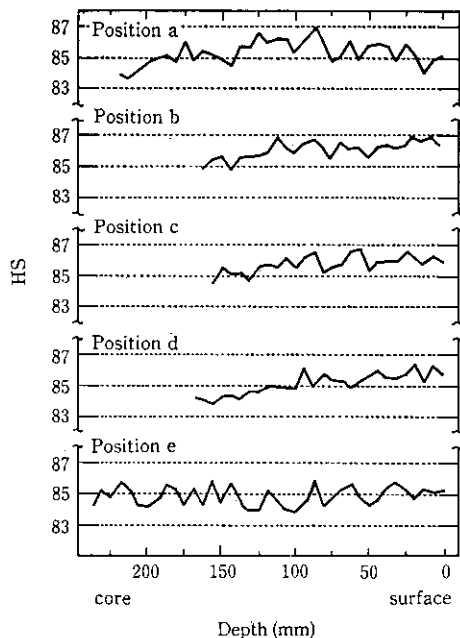


Fig. 9 Hardness distribution of trial 20% Cr roller tire (position a-e are shown in Fig. 7.)

4.3.2 機械的性質

前記の Fig. 6 に示す各位置より試験片を採取し、機械的性質を調査した。外表面直下における試験結果を Table 6 に示すが、いずれも目標値を大幅に上回っておりバラツキも小さい。また、肉厚中心ないし内表面でも 52~53 kgf/mm² と高い値が得られており、熱処理方案の妥当性を裏付けている。

4.3.3 断面硬度

Fig. 7 に示す各位置で断面硬度を測定した。Fig. 9 に断面硬度の実測値を示すが、硬度はいずれの位置でも HS 84~87 と良好な値を示しバラツキも小さい。

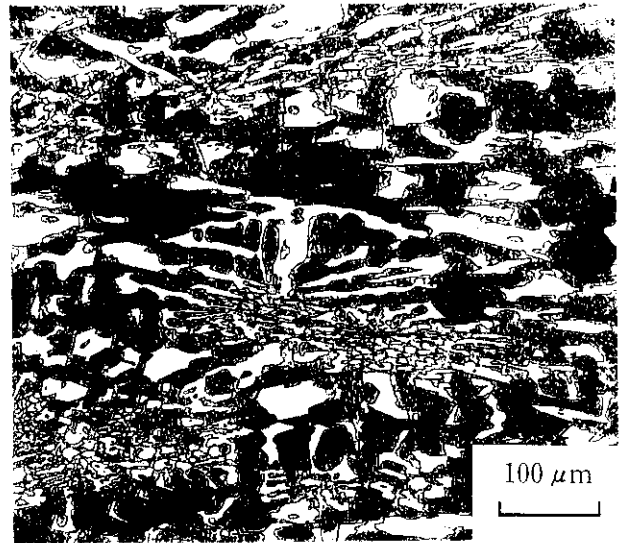


Photo 4 Micro structure of 20% Cr cast iron

4.3.4 ミクロ組織

本製品のミクロ組織を Photo 4 に示す。C含有量が高いため共晶炭化物が多く、初晶も小さく分散しており、組織は微細である。熱処理により初晶および共晶中のオーステナイトが変態し、マルテンサイトとなりまた2次炭化物も析出している。

5 結 言

高付加価値鋳造品開発の一環として、高硬度耐摩耗鋳鉄による大型石炭粉砕機用ローラータイヤの試作確性試験を行った。

試験の結果、ニハード鋳鉄および20% Cr 鋳鉄製ローラータイヤの品質状況は以下のとおりである。

- (1) 内部品質は放射線透過試験の結果、無欠陥ないし判定基準 ASTM E280 の1級合格であり、さらに切断面での浸透探傷検査結果ともあわせて、当社の凝固解析システム BACCAS による検証結果をもとに鋳造方案技術の高さが裏付けられた。
- (2) 試作品表面の非破壊検査においてもクラック等の有害な欠陥は検出されなかった。
- (3) 試作品本体内部の機械的性質は、引張強さ、衝撃値とも良好な値が得られかつ製品各部のバラツキも小さい。
- (4) 試作品の表面および断面硬度は、ニハード鋳鉄で HS 77~82、20% Cr 鋳鉄で HS 84~87 といずれも目標値に対し高目の値が得られており、製品各部のバラツキも小さい。

今回開発されたニハード鋳鉄および20% Cr 鋳鉄製の高硬度耐摩耗鋳鉄は、いずれも石炭粉砕機用の大型ローラータイヤに採用されており、今後の高寿命が期待される。

参 考 文 献

- 1) 長井次男, 石井敬二: 火力原子力発電, 35 (1984) 10, 1050
- 2) 渡辺靖夫: ニハード鋳鉄の凝固と熱処理に関する基礎実験結果, (1985), 私信
- 3) 新中博昌, 広瀬 彰, 曾我部 暁, 野口 紘: 川崎製鉄技報, 17 (1985) 3, 273-281
- 4) 新山英輔: 金属, 53 (1983) 10, 16-21
- 5) 渡辺靖夫: 20% Cr 鋳鉄材の凝固と熱処理および材質に関する基礎実験結果, (1987), 私信