

高耐久自溶合金ロータを備えたゴム混練機

High Endurance, Thermal Sprayed Rubber Mixture Rotor with Self-Fluxing Alloy

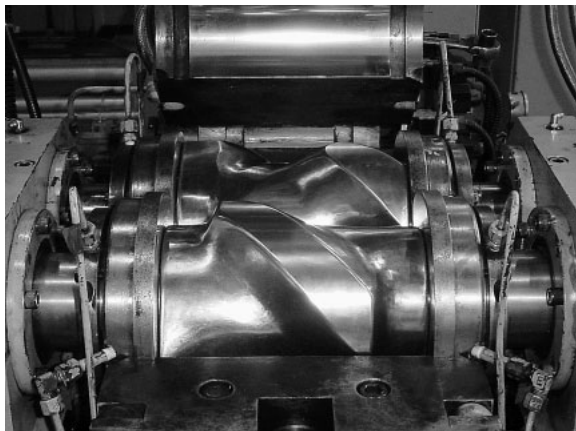
花 田 修 一^{*1}
Shuichi Hanada

高 橋 和 仁^{*1}
Kazuhiro Takahashi

広 松 一 男^{*2}
Kazuo Hiromatsu

広 本 悦 己^{*3}
Yoshinori Hiromoto

新 谷 幸 司^{*4}
Kouji Shintani



近年工業ゴム，自動車用タイヤを始め幅広い分野においてはシリカ等の高硬度素材の高品質混練に対応した高分散で高耐久（高い耐摩耗性）の嚙合型密閉式ゴム混練機が注目を集めている．当社では，これらのニーズに対応するため，ゴム混練機のロータ表面処理技術として，自溶性合金の溶射技術を適用した高耐久混練ロータを開発し，市場投入した．本論文では，当社製高耐久自溶性合金ロータの耐久性向上手段及び検証結果について紹介する．

1. はじめに

近年，タイヤ製品分野及び工業用ゴム製品の分野では，高品質化が急速に進んでいるとともに，シリカ（ SiO_2 ）等の高硬度新素材の混練及び低粘度ゴムの必要性が増し，耐食性・耐久性を有し，混合性・分散性が良く低温で練る機械の要望が強い．

また，現状のゴム混練機の混練ロータ及びチャンバは，高硬度素材の混練時に発生する混練ロータ表面硬化層の短期間摩耗消失を防止するためにTIG法でステライト肉盛りし，その後，全面をCrメッキにて表面硬化処理に対応しているが，施工可能なCrメッキ膜厚さに限界があり，他の表面硬化層による耐久性・耐摩耗性向上が求められている．

当社の新型高耐久自溶性合金ロータは，高品質化に対応した高分散の嚙合型及び接線型密閉式ゴム混練機の耐久性向上を図るべく開発したものである．

2. 高硬度自溶合金ロータの施工技術，基本諸元

2.1 表面硬化層の形成技術

高硬度自溶合金ロータは，ガス溶射により皮膜形成する．図1にガス溶射による皮膜形成技術を示す．ロータ母材表面に耐食・耐摩耗性に優れた合金粉末を溶射し，その後ロータ母材と合金を溶融することで密着性を向上できる表面処理である．皮膜構成は，第1層に溶融処理後の母材との密着性を良好にするためにNi基自溶合金（SFNi4）を溶射，第2層に耐摩耗性の

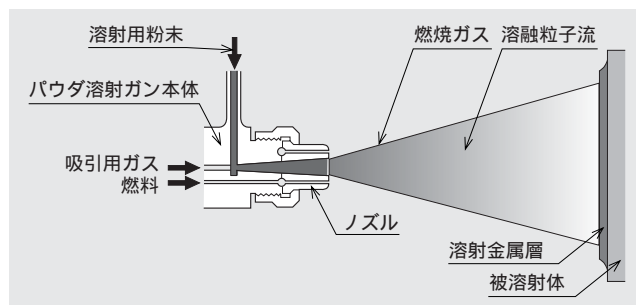


図1 ガス溶射による皮膜形成原理

良好なWC系分散型自溶合金（SFWC）を溶射した構造とした．なお，WC系自溶合金には，摩耗試験より均一に摩耗することを確認したSFWC（アトマイズ法により製作するために溶射粒子の中にWCが数 μm の大きさで分散している）を使用することとした．

2.2 表面硬化層の耐久性（摩耗寿命，密着性）

自溶合金の特性を把握するために，S25C（ $300\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ ）の板に自溶合金を施工し，摩耗寿命を図2に示すラバーホイール摩耗試験で，また，密着性をせん断試験にて評価した．

皮膜構成は二層構造であり，第1層にSFNi4自溶合金を0.2 mmの厚さで，第2層に耐摩耗性が良好なSFWC自溶合金を0.6 mm厚さで施工した．表1に，摩耗及び密着性の性能評価結果を示す．硬さはCrメッキと比べて同等であることを確認した．これにより摩耗寿命は，膜厚さをCrメッキより4倍程度厚くすることが可能なため，約4倍程度となる．また，密着

^{*1} 広島製作所ゴム・タイヤ機械事業ユニットゴム・タイヤ機械設計課

^{*2} 技術本部長崎研究所材料・溶接研究室主席

^{*3} 技術本部広島研究所物質工学研究室主席

^{*4} 技術本部広島研究所機械プラント研究推進室

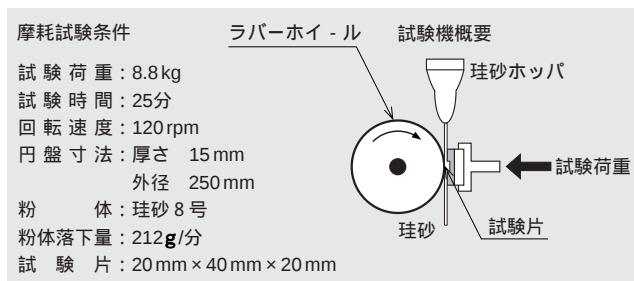


図2 ラバーホイール摩耗試験

表1 表面硬化層の耐久性（摩耗寿命，密着性）

		硬 さ (HV)	ラバーホイール 摩耗試験	密着性 (kgf/mm ²)
			摩耗寿命比*1	
自溶合金	SF Ni 4 + SFWC	772 ~ 946	4.12	23.6
Crメッキ		858 ~ 864	1.0	7.0

^{*1}：摩耗寿命比：Crメッキ厚さ0.25mmに対し、自溶合金厚さ1.0mm（0.2mmNi基 / 0.8mmWC基）で算出

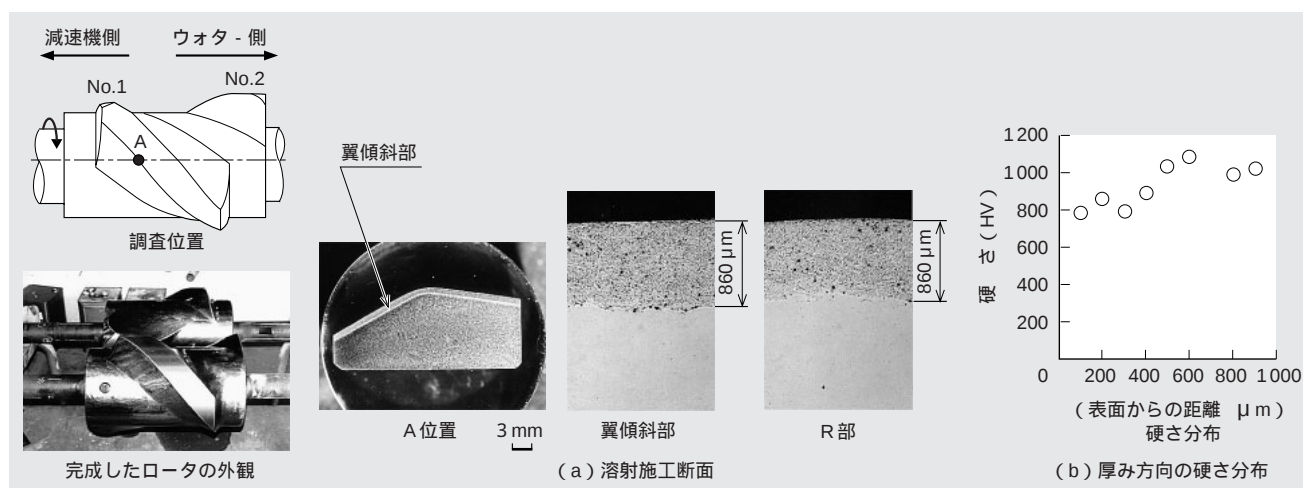


図3 溶射施工部の断面組織及び硬さ分布

強度は23.6 kgf/mm²以上であり，Crメッキに比較し約3.5倍程度であり，十分な強度を有することを確認した．

2.3 施工性能

自溶性合金の場合，溶射後溶融処理により1000付近まで加熱するので変形及び冷却時の割れが懸念される．そこで，実体ロータに自溶合金を施工し外観PT（浸透探傷），UT（超音波探傷）検査，断面組織調査により割れの確認を行うとともに，硬さ，寸法精度について問題無いことを確認した．図3には，混練ロータの翼部（図中A部）の皮膜断面形状を示す．表面硬化層と母材の界面及び皮膜層内で割れは見られず良好である．また，硬さ測定結果を同図に示すが，マイクロピッカース硬さは，平均772～946HVであり，Crメッキ並みの硬度を有することを確認した．ロータ表面の分布についても測定しており，均一であることを確認している．

3. 実用性評価

高耐久自溶合金ロータの長期的な耐久性・信頼性等の実用性に関する評価のため，当社噛合型密閉式ゴム混練機にて実混練材料を用い，自溶合金ロータ表面の摩耗，硬度，混練性能，混練材品質の実証試験を実施した．

3.1 試験装置

実証試験装置は，当社ゴム混練機MR-5E（理論容量5L）の噛合式混練ロータに自溶性合金表面処理を施工したものを使用した．

3.2 試験条件

(1) 混練性能試験

混練性能及び混練材品質を確認するため実混練材料の配合は，SBRシリカ配合とSBRオイルリッチ（カーボンブラック）配合の2種類にて試験を実施する．混練完了条件は，BIT（carbon Black Incorporation Time：フィラーが原料ゴムと付着一体化し分散を開始した時間）後に設定ゴム温度もしくは設定時間に達した時とする．混練性能の評価は，混練時間，混練材品質（粘度／加工性，フィラー分散）を評価し，従来のCrメッキロータと比較を行う．

(2) 耐久試験

耐久（摩耗及び硬度の確認）試験は，摩耗性の高いSBRシリカ配合とし，試験バッチ数は1ヶ月の稼働を想定し，500バッチ実施する．耐久性の評価は，0（初期）バッチ，200バッチ時，500（最終）バッチ時のロータの摩耗量，硬さを測定する．

また，ロータ表面外観検査（自溶性合金膜の亀裂，割れ，剥離等の検査）をPT検査，顕微鏡にて確認する．

表 2 混練性能試験結果

	自溶合金ロータ	
	SBRシリカ配合	SBR オイルリッチ (カーボンブラック)配合
混練条件	Crメッキロータと同一の混練条件	
排出ゴム温度 ()	140	155
粘度 / 加工性	従来のCrメッキロータと同等並み	
フィラー分散性	従来のCrメッキロータと同等並み	

3.3 試験結果

(1) 混練性能評価

表 2 に各配合における混練性能試験結果を示す。自溶合金ロータによる混練は、粘度 / 加工性及びフィラー分散が従来の Cr メッキロータと比較して SBR シリカ配合，SBR オイルリッチ配合共に同等であることが確認できた。

(2) 耐久性評価

(a) 摩耗量

自溶合金膜の摩耗量は、試験初期時に設けたロータ翼表面のダミー傷深さを計測することにより、5.5 μm / 月 (500 バッチ) であった。従来のメッキ摩耗量実績は 70 μm / 年 程度であるため、5.8 μm / 月 (= 70 / 12 ヶ月) と予測される。よって、摩耗速度は自溶合金膜と同等並みである。しかし、従来のメッキ厚みは 0.25 mm であるのに対し、本自溶合金膜の厚みは 1.00 mm であるため、摩耗寿命としては 4 倍であることが確認できる。

(b) 硬度

図 4 に示すようにロータ表面膜のショア硬さ (Hs) は、試験初期時、従来のメッキ硬さ Hs = 70 と同等並みである。また、500 バッチでの硬さ変化 (軟化，硬化等) は認められなかった。

(c) 外観検査

ロータの表面の PT 検査及び顕微鏡拡大検査では、500 バッチでの自溶合金膜の亀裂，割れ，剥離等は発見されなかった。

以上より、実混練材料を用いた実証試験を実施し、自溶合金ロータの実用化のめどがついた。

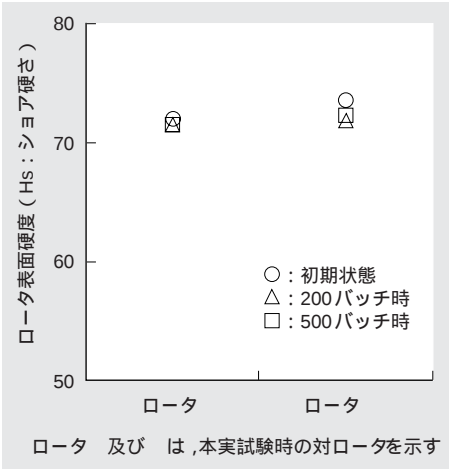


図 4 ロータ表面膜のショア硬さ (Hs) 結果

4.ま と め

当社では、高品質化に対応した高分散の嚙合型密閉式ゴム混練機の耐久性向上のため複雑形状への溶射・溶融処理技術確立して、従来の Cr メッキに比べ摩耗寿命が 4 倍の高耐久自溶性合金ロータを開発した。今後は、各種混練条件に適合した混練性能，耐久性を有するロータを開発し、顧客に少しでもお役に立つことができるよう一層の努力を尽くしていく所存である。

