

変速機用シンクロハブの新焼入れプロセス

New Hardening Process for Transmission Synchronizer Hubs

秋山 優*

Yu Akiyama

足立 有起

Yuuki Adachi

天野 暢也

Nobuya Amano

奥田 徹

Tooru Okuda

寺井 寛明

Hiroaki Terai

平井 功介

Kousuke Hirai

自動車用変速機で代表的なマニュアルトランスミッション（MT）やデュアルクラッチトランスミッション（DCT）へ採用される焼結部品の多くにシンクロハブがある。このシンクロハブは各変速ギヤへの切替えに対してシンクロの役割を担うと共にエンジンやモーターからの伝達トルクに耐え得る高強度と周辺部品との摺動に対する耐摩耗性が要求される。従来、高強度や耐摩耗性は浸炭焼入れや高周波焼入れによってその要求特性を満足している一方で寸法精度の悪化やプロセスコストの増大などの課題がある。今回、焼結プロセス内で同時に焼きを入れるシンターハードニング技術に対応したローラーハース型高温焼結炉を新しく導入し、最適化した材料組成と焼結条件の工夫により寸法精度の向上と焼入れの省プロセスを実現させたシンクロハブを開発した。

Synchronizer hubs are powder metal parts often used in vehicles for manual and dual clutch transmissions. The synchronizer hub, which synchronizes mechanical connections to shift gears, needs high strength and durability. Although these properties can be improved by carburization or partial hardening, such processes can lead to increased costs. We used a roller hearth high temperature furnace that can be cooled rapidly, and optimized the material composition and sintering conditions. Thus, we have succeeded in the development of synchronized hubs without requiring the second hardening process.

キーワード：シンクロハブ、高強度、耐摩耗性、シンターハードニング、ローラーハース型高温焼結炉

1. 緒言

一般に鉄系焼結部品は高強度や耐摩耗性の向上のためニッケルを含有した高強度材の使用や浸炭焼入れプロセスの追加が多い。供給不安及び価格高騰リスクの高いニッケルや寸法精度の悪化が著しい浸炭焼入れは、高強度や耐摩耗性といった要求特性を満足するものの、コスト面や精度面に課題が残る。昨今、自動車部品を始めとする焼結部品における高強度化や高硬度化の要求は一段と高まっており、特に自動車用変速機であるMTやDCTにおけるその要求は顕著である。このMTやDCTに使用されるシンクロハブは複雑な形状であるが、近年における多段成形技術の確立によってネットシェイプ化が進み、機械加工の省プロセスにより焼結部品の生産性は向上してきている。一方で高強度化や高硬度化の流れは、前述したように原料高騰リスクやプロセス追加及び寸法精度の悪化を伴っている。

このような状況下で当社はレアメタルであるニッケルから脱却した高強度材の開発やローラーハース型高温焼結炉^{*1}の導入及び焼結プロセスの最適化により、高強度材の更なる生産性の向上や寸法精度との両立を図ってきた。今回、高温焼結下におけるシンターハードニング^{*2}技術を確認した当社独自の高強度材「HM-120SH」等を開発したことで、従来のネットシェイプ成形^{*3}技術と焼入れ省プロセスの組み合わせにより高強度材においても生産性の面で焼結メリットの最大化を狙えるラインナップとなった。

本稿では、自動車変速機用シンクロハブにおける実績の

一例から、今回開発した高強度材と新焼入れプロセスの特徴及び性質を中心に報告する。

2. シンクロハブの特徴と従来の製造プロセス

2-1 高強度や高硬度の要求

一般的なシンクロハブの形状を図1に示す。シンクロハブは内側と外側にスプラインがあって外側には3箇所の手欠きを有し、それぞれ厚みの異なる外歯・リム・ボスから形成されるものが多い。このシンクロハブは変速機の中で

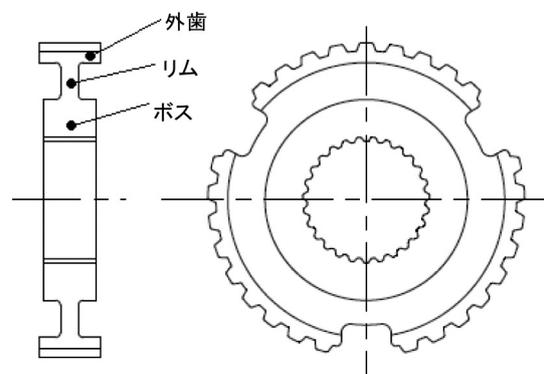


図1 一般的なシンクロハブの形状

ギヤ切替え時の機械的接続を担っており、伝達トルクに耐え得る高強度に加えて、外歯に噛み合うスリーブとの摺動に耐え得る高硬度が要求される。また、ボス部の端面においても相手材と摺動し、同様に高硬度が要求される。これまではこのような要求に対し表1に示す「H-110」材を採用し、製造プロセスにおいて図2に示すように熱処理プロセスで強度及び硬度を満足させてきた。

表1 当社代表材料の組成及び特性

当社代表材料	代表組成 (mass%)						密度 (g/cm ³)	引張強度 (MPa)	硬さ (HRA)
	Fe	Ni	Mo	Cr	Cu	C			
D-40	Bal.	-	-	-	2.0	0.8	6.8	620	68
D-60	Bal.	4.0	0.5	-	1.5	0.5	6.9	700	66
H-110							7.0	1150	71
H-130							7.1	1270	72
HM-120	Bal.	-	0.5	3.0	-	0.6	6.9	950	58
DM-80SH							6.9	840	69
HM-120SH							6.9	1250	70

※D-40からH-130までは熱処理後の特性値を示す。

従来材D-40/D-60/H-110/H-130の製造プロセス



開発材HM-120の製造プロセス



開発材DM-80SH/HM-120SHの製造プロセス



図2 各材質の主な製造プロセス

2-2 従来材の課題

従来の高強度材「H-110」は、焼結条件に依存して様々な材料特性を呈する特徴をもったニッケル合金材を原料としている。表1に示す「D-60」、「H-130」も同じ原料であり、焼結の拡散速度が遅いニッケルの影響によって高温かつ長時間の焼結条件ほどより高い強度が得られ、そのラインナップのうち「H-130」が最も高い位置付けである。ニッケル合金材はその特徴から幅広い用途に応じて採用できるメリットがある一方で、高い強度を確保するためには高温かつ長時間の焼結プロセスに加えて、焼入れプロセスが必要になる。

3. 開発材と焼入れプロセスの特徴

3-1 ニッケルフリー高強度材

今回開発した「HM-120」、「DM-80SH」、「HM-120SH」は表1に示すように従来材に添加されているニッケルに代わり、同等以上の優れた焼入れ性をもつクロムへ置き換えており、さらに合金量及び炭素量を最適化したことで高い焼入れ性を確保している。また、このクロム合金材はニッケル合金材に比べ焼結の拡散速度が速いため、焼結時間の短縮を狙うことができる。

3-2 優れた焼入れ性

図3及び図4にニッケル合金材とクロム合金材における冷却速度に対する各金属組織相の割合を示す。従来のニッケル合金材では全面にマルテンサイト相を得るために50°C以上/秒の高い冷却能力が必要であるが、クロム合金材においては2°C以上/秒の低い冷却能力で全面マルテンサイト相が得られる。

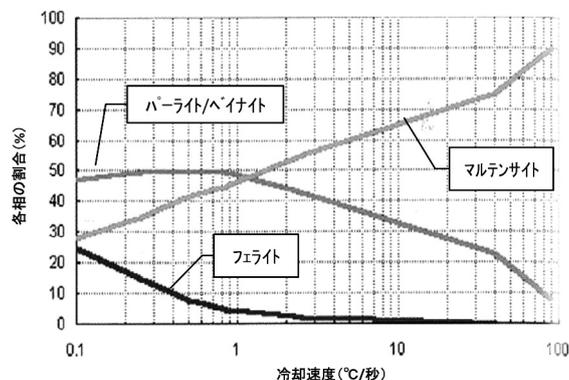


図3 ニッケル合金材の冷却速度に対する各相の割合⁽¹⁾

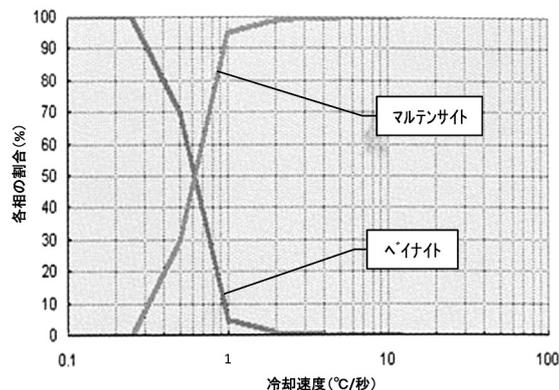


図4 クロム合金材の冷却速度に対する各相の割合⁽²⁾

3-3 当社独自の焼結炉導入

このクロム合金材を用いて高温焼結下でシンターハードニング技術が可能にしたのが、当社独自に導入したロー

ローラーハース型高温焼結炉である。図5及び図6に示すように、この焼結炉はローラーによるワーク搬送方式を採用することで、焼結炉内の脱ガス室、予熱室、焼結室、徐冷室、急冷室、冷却室といった各温度帯にシャッターを設置することが可能となった。このシャッターの設置によって各温度帯の温度分布や温度制御の精度が従来炉に比べて向上するため、製品寸法や材質のバラツキ低減が期待できる。最も特徴的な構造は図7に示すような急冷室であり、上部からファンで流入させる不活性ガスの冷却により3~5°C/秒の冷却性能をもっている。1200°C以上の高温焼結に対応しつつこのように急冷室を設けた焼結炉は、業界においても初めてである。

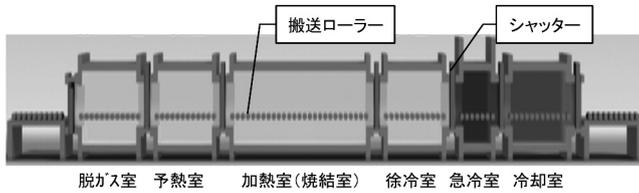


図5 ローラーハース型高温焼結炉の構造

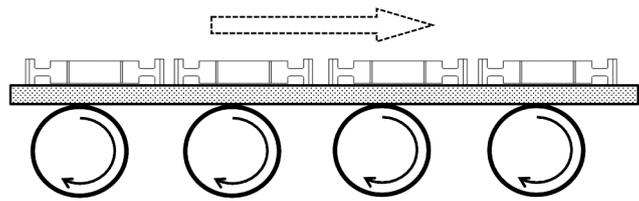


図6 ローラー炉床による搬送

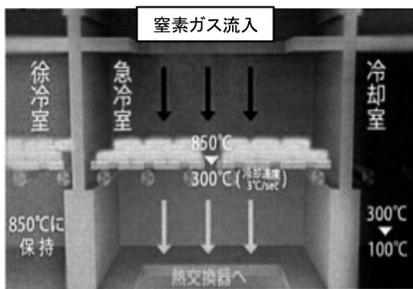


図7 急冷室の構造

3-4 焼結条件の最適化

図8は各開発材における焼結加熱パターンの模式図である。加熱室で焼結した後の制御された冷却プロセスによってそれぞれの金属組織相を生成させる。徐冷室でオーステナイト変態点 (A3)^{*4}の手前まで徐冷保持し、急冷室のガ

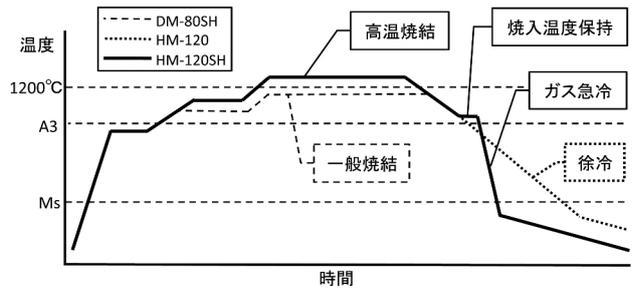


図8 各開発材の焼結加熱パターンの模式図

ス冷却によってマルテンサイト変態点 (Ms)^{*4}以下に急冷することで焼入れ組織を得るのがシンターハードニングの冷却プロセスであり、1100~1200°Cの一般焼結からのシンターハードニングが「DM-80SH」、1200°C以上の高温焼結からのシンターハードニングが「HM-120SH」の位置付けである。急冷室におけるガスファンの回転数やローラーによる搬送速度の制御により急冷から徐冷への切替えが可能であり、徐冷プロセスで焼結した材質が「HM-120」である。

3-5 高い生産性

図9は従来材及び開発材の焼結保持時間を示す。従来の高強度材「H-110」、「H-130」は長時間の高温焼結と後工程の浸炭焼入れ（油冷）によって高い強度を確保してきたが、開発材はクロム合金材とローラーハース炉の適用によって焼結の短時間化と後工程の焼入れプロセスの省略を同時に実現しながらも高強度を実現しており、著しく生産性が向上している。

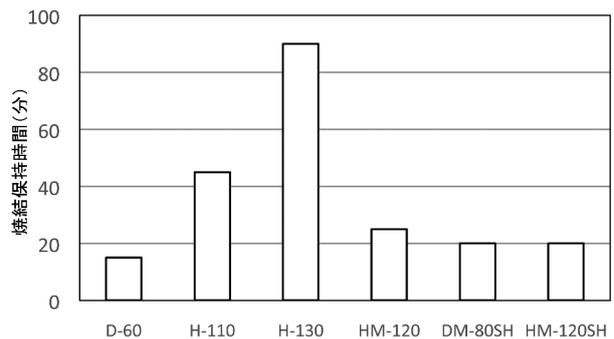


図9 各材質の焼結保持時間

3-6 金属組織

図10に各材質の金属組織を示す。ニッケル合金材の焼結組織はフェライト、パーライト/ベイナイトやマルテンサイトといった様々な相からなる混相組織であるが、クロム合金材における徐冷焼結の「HM-120」はベイナイト相を

基調とした均質な組織であるところが特徴的である。また、ガス冷却により急冷している「DM-80SH」、「HM-120SH」は全面マルテンサイト組織である。

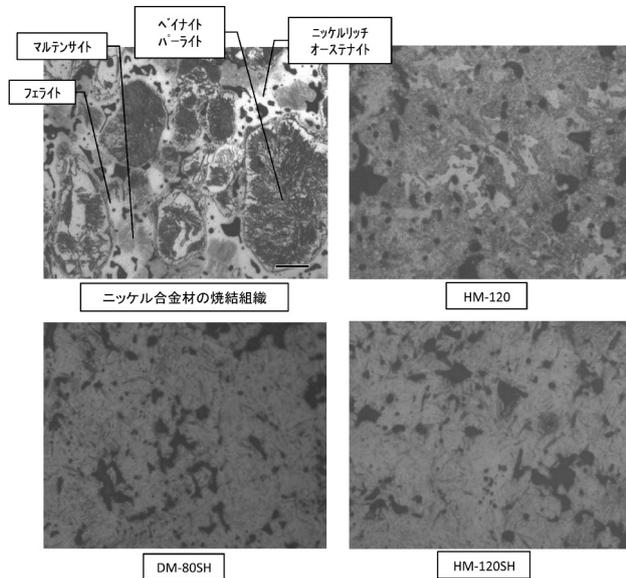


図10 各材質の金属組織

4. シンクロハブへの適用

4-1 開発材の設計的特徴

3つの開発材はそれぞれ異なる焼結プロセスによって様々な特性をもっており、その特性に合致した選択によりメリットの拡大を図る。表2に開発材の主な設計特性を示す。シンターハードニングである「DM-80SH」、「HM-120SH」は後工程の焼入れ省プロセスのメリットがある一方で、焼結プロセス内での全面的な焼入れ硬化であることから後処理の再圧縮による寸法矯正や機械加工による除肉が困難なため、ネットシェイプ成形との組み合わせで大きなメリットが期待できる。「HM-120」は冷却プロセスの最適化した徐冷により硬化を抑えることで優れた寸法精度と高強度を両立させた特性をもっている。

表2 開発材の設計特性

開発材	引張強度 (MPa)	伸び (%)	HV硬度 水準	金属組織	再圧縮	除肉加工	寸法精度
HM-120	950	1.5	380	ベイナイト	○	○	○
DM-80SH	840	0.5	700	マルテンサイト	×	×	○
HM-120SH	1250	1.3	720	マルテンサイト	×	×	△

4-2 ガス冷却による優れた寸法精度

開発材「HM-120」や「HM-120SH」を適用したシンク

ロハブは前述した特徴から短時間焼結と後工程の焼入れ省プロセスにより高い生産性が得られているが、更に寸法歪みに対しても優位性をもっている。図11は各材質のシンクロハブの歪みについて内歯及び外歯における真円度の実測値にて比較したグラフである。開発材「HM-120SH」のシンクロハブは従来材「H-110」に比べ、寸法歪みが半減していることが確認できる。従来材は後工程でバッチ処理による浸炭焼入れ（油冷）を実施している。油冷却は50～80℃/秒の高い冷却速度をもっているものの、ワーク内における冷却速度差が大きく、その冷却ムラにより寸法歪みが生じやすくなる。それに対し、開発材「HM-120SH」はクロム合金材の高い焼き入れ性により油冷の冷却速度が不要であり、3～5℃/秒の緩やかなガス冷却で焼入れが可能であるため、その緩やかなガス冷却によりワーク内の冷却ムラが抑制され、焼入れ時の寸法歪みが改善したと考えられる。また、一般に油冷却は油中において気化した際の気泡により冷却ムラが発生することも知られているが、ガス冷却の場合は気化といった状態変化がないため、冷却ムラが少ない。開発材「HM-120」においては硬化抑制により再圧が可能であるため、焼結後の寸法矯正により更に寸法精度が向上している。

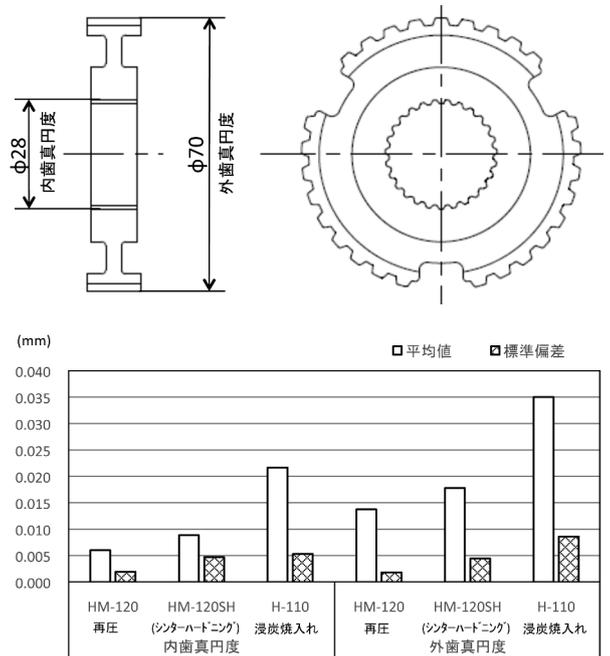


図11 シンクロハブにおける各材質の寸法歪み比較

5. 結 言

開発材「HM-120」、「DM-80SH」、「HM-120SH」は独自の設備と新しい技術を駆使した生産性の高い高強度焼結

材である。自動車用変速機部品のみならず高強度化及び高硬度化のニーズに対し経済的かつ環境に優しい製品の提供が可能であると考えている。

用語集

※3 ローラーハース型焼結炉

炉床にローラー式を配し、製品を搬送する焼結炉。一般にはメッシュベルト式の焼結炉が多いが、開閉シャッターを設けられるローラー式の方が各温度帯の温度を制御し易い特徴がある。この方式を用いて高温焼結と急冷に対応させた当社独自の焼結炉がローラーハース型高温焼結炉である。

※2 シンターハードニング

焼結プロセス内の冷却で焼入れ組織を得る技術。

※3 ネットシェイプ成形

最終製品と同等又は近似の形状で成形することを指す。

※4 A3/Ms

A3は炭素鋼がオーステナイト相に変態する温度。

Msはマルテンサイトが得られる冷却速度で冷却した時にマルテンサイトが生成される温度。

参考文献

- (1) HOGANASハンドブック シリーズ6「金属組織」p.56
- (2) HOGANASハンドブック シリーズ6「金属組織」p.217

執筆者

秋山 優*：住友電工焼結合金㈱ 製品開発部



天野 暢也：住友電工焼結合金㈱
取締役 製品開発部長



寺井 寛明：住友電工焼結合金㈱ 製品開発部
グループ長



足立 有起：住友電工焼結合金㈱ 生産技術部
グループ長



奥田 徹：住友電工焼結合金㈱ 生産技術部
主任技師



平井 功介：住友電工焼結合金㈱ 製造部
主任技師



*主執筆者