



ECOMAX® シリーズ (環境ラベル「エコリーフ」の認証を取得)

1. はじめに

カーボンニュートラル社会実現に向けて、産業分野では自動車を筆頭に部品の小型・軽量化による燃費・電費の改善や、部品製造工程の熱処理省略や簡略化によるCO₂排出削減が望まれており、ライフサイクルアセスメント(LCA)を意識した様々な取り組みがなされている。このようなニーズを満たすため、材料に対して強度特性はもちろんのこと、部品製造時における工程省略・簡略化に寄与する特性の付与が望まれている。当社ではそうしたニーズに対応可能な高強度肌焼鋼「ECOMAX®シリーズ」を開発している。当シリーズは、このたび第三者機関によって検証されたLCAによる定量的な環境情報を開示する環境ラベルであるエコリーフの認証を取得した(登録番号JR-AW-23020E)。エコリーフは、ISO14025で規格化されるタイプIII環境宣言(EPD:Environmental Product Declaration)に該当する。具体的な算定結果の情報は、SuMPO環境ラベルプログラムのホームページ¹⁾に記載されており、お客様が環境に配慮した製品を選択するうえでの判断材料として活用可能である。

本報では、エコリーフの認証を取得した当製品のシリーズに共通する鋼材特性や、シリーズ個々の機能的な特長を紹介する。

2. ECOMAX®シリーズ共通の成分コンセプト

当該シリーズには、表1に示す通りECOMAX®1、2、4、5をラインナップしている。何れもNi、Moフリーの省合金設計を前提に、JIS SCM420対比で「高Si、低Mn、高Cr、Nb添加」を特徴とした独自成分設計^{2、3)}により、ギヤ部品の高強度化(特にピッチング強度の向上)と、部品製造時の工程負荷軽減を両立させることをコンセプトと

する。高Siは浸炭異常層の改質と部品使用時の軟化抵抗性の向上によるピッチング強度アップのため^{2、4)}、低Mnは冷間鍛造性の改善と耐結晶粒粗大化特性の向上のため⁵⁾、高Crはピッチング強度アップに加え、球状化焼なまし(以下、SA)組織の均質化により、冷間鍛造性や耐結晶粒粗大化特性を向上させるためである⁶⁾。さらに高CrはSA時間の短縮化にも寄与する⁷⁾。Nb添加はピン止め粒子の微細分散により耐結晶粒粗大化特性を向上させるためである。

3. ECOMAX®シリーズ共通の工程省略・簡略化に寄与する特長

冷鍛歯出しギヤなど、冷間鍛造部品を想定した製造工程を図1に示す。ECOMAX®シリーズの適用により、熱処理工程等の省略もしくは簡略化が期待できる(図1中の①~③)。以下、期待される工程負荷軽減効果と関連する鋼種特性を紹介する。

① SA処理の短縮化

一般的に冷間鍛造前には材料軟化を目的としてSAが施される。一般的な肌焼鋼のSAは、通常は変態点以上のフェライト+オーステナイト組織となる領域で加熱したのちに、長時間を要する徐冷を経て、炭化物を球状化させる。一方、ECOMAX®シリーズは、変態点以下の比較的低温領域での短時間保持によって徐冷を経ずに、従来方法に対して1/2以下の処理時間で炭化物を球状化させて材料を軟化させることも可能であり、SA短縮化に寄与する。

ECOMAX®シリーズで短時間SAが可能な理由は、一般的な肌焼鋼に対してCrを増量することにより、変態点以下でも炭化物の固溶や析出挙動が起こるためと推定している⁷⁾。

表1 ECOMAX®シリーズの特長と特性比較

	成分の特徴	コンセプト、特長	ターゲット、アプリケーション
シリーズ共通	SCM420と比較して、高Si、低Mn、高Cr、Nb添加(Ni、Mo非添加)	耐ピッチング特性、低サイクル疲労強度、耐結晶粒粗大化特性に優れる。球状化焼なまし組織均一化による冷間加工性(限界割れ性)に優れる。	合金肌焼鋼が使用される、減速機ギヤ、シャフト類、全般(トランスミッションギヤ、デフギヤ、CVJ、精機部品、等)
ECOMAX®1	低C、B添加	耐衝撃特性、冷間加工性(変形抵抗)に優れる。	冷鍛用途部品
ECOMAX®2	同上(低Jominy)	同上	冷鍛用途部品
ECOMAX®4	高C、(B非添加)	熱処理変形特性に優れる。	高精度ギヤ、シャフト
ECOMAX®5	(B非添加)	トータルバランス(特に、耐衝撃特性、耐結晶粒度特性)に優れる。	熱鍛&冷鍛用途部品

② ニアネットシェイプ化への適合

ECOMAX®5とSCM420に一般的な条件のSAを施した際のマイクロ組織を図2に示す。SCM420では球状炭化物と層状炭化物が不均一に析出しているのに対し、ECOMAX®5では層状炭化物は見られず球状炭化物のみが比較的均一に分散している。この特徴により、ECOMAX®5は冷間鍛造時の不均一変形が抑制されて割れが生じにくい⁵⁾ため、冷間鍛造における高精度成型が行い易く、部品のニアネットシェイプ化が期待できる。ニアネットシェイプ化により後工程の機械加工を簡略化できれば、工程負荷の軽減につながる。

③ 冷鍛-浸炭プロセスでの焼ならし省略や高温-迅速浸炭への適合

一般的な肌焼鋼では、冷間鍛造後、焼ならしを行わず

に浸炭を施すと、結晶粒粗大化を引き起こして部品強度の低下や、焼入れ時の部品のひずみの増大をもたらす。このプロセスを模擬して、ECOMAX®4とSCM420のSA材に70%冷間据込みを行ってから、浸炭処理を模擬して950℃で3hr保持後に焼入れた後、旧オーステナイト結晶粒の観察を行った結果を図3に示す。SCM420には混粒が認められるのに対し、ECOMAX®4は整細粒組織を保っている。ECOMAX®シリーズの優れた耐結晶粒粗大化特性は、Nb添加と適切な鋼材製造工程によりNb炭窒化物を微細分散させたことと、高CrでSA材の炭化物組織を均一化したことによりもたらされる⁶⁾。この優れた耐結晶粒粗大化特性により、ECOMAX®シリーズは冷間鍛造後の焼ならし省略に加えて、高温-迅速浸炭プロセスにも適用が期待できる。

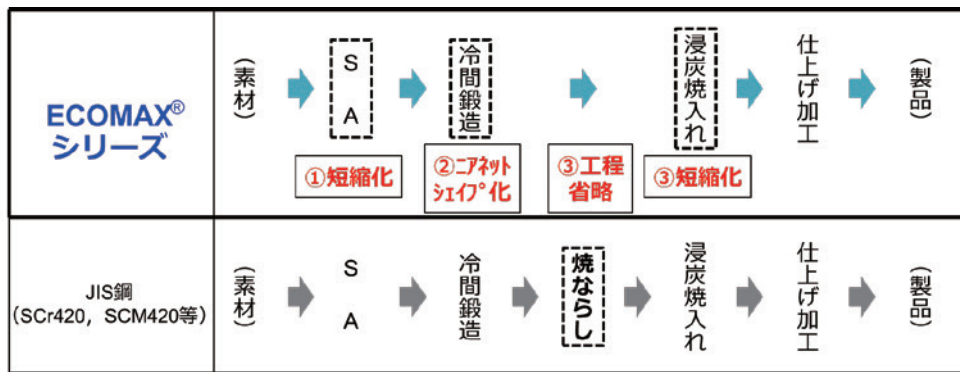


図1 ECOMAX®シリーズの適用による冷間鍛造部品の製造工程の省略・簡略化の例

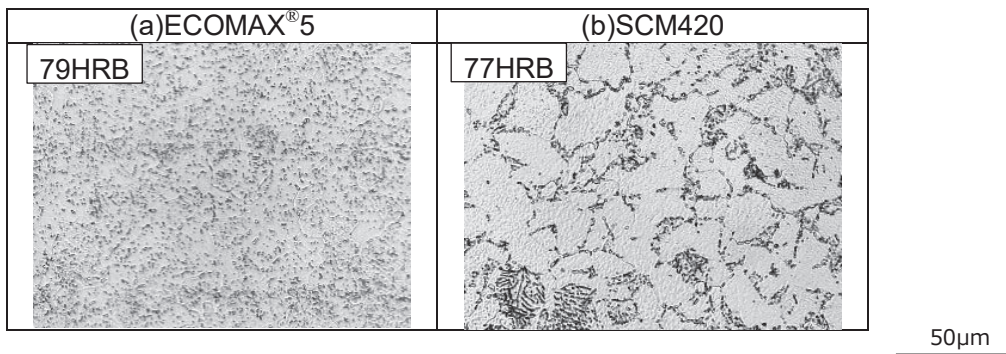


図2 一般的なSA材のマイクロ組織の光学顕微鏡写真と硬さ（ピクルル腐食）

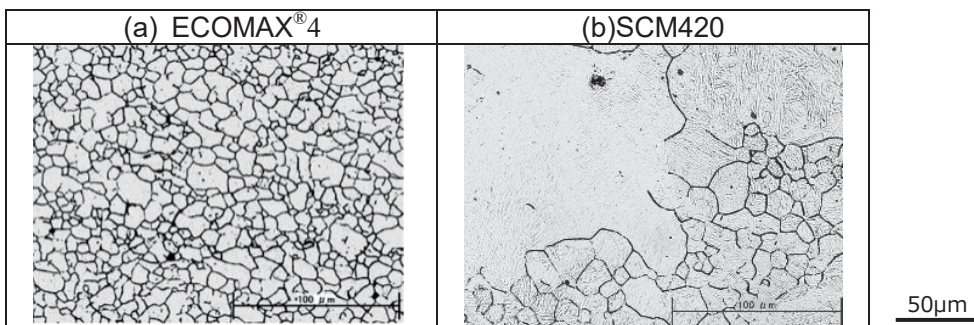


図3 冷間据込み→擬似浸炭後の旧オーステナイト結晶粒光学顕微鏡写真（飽和ピクリン酸腐食）

4. ECOMAX®シリーズ個々の機能的な特長

4.1 ECOMAX®1, ECOMAX®2

ECOMAX®1、ECOMAX®2はシリーズ中で低C且つBを添加した成分系としており、特に靱性を重視する部品に適する^{2, 9)}。図4にECOMAX®2とSCM420のシャルピー衝撃試験片の破壊起点付近の破面写真を示す。ECOMAX®2はSCM420と比べて、脆性破壊の特徴である粒界破壊が抑制され、これにより衝撃特性に優れる。また、低CとしたことでSA材の変形抵抗が低く、冷間加工性に優れる。なお、ECOMAX®1とECOMAX®2の違いは、Cr量の調整によって焼入性を変えていることであり、ECOMAX®1の方が高い焼入性を有する。

4.2 ECOMAX®4

当社独自の成分設計により、焼入れ時の熱処理変形の低減を狙った高強度肌焼鋼がECOMAX®4である^{10, 11)}。熱処理変形は、焼入れの際の部品の各部位における冷却速度の差（不均一な冷却状態）に起因して発生する。不均一状態を模擬するため片側にキー溝を付与したシャフト状試験片を用い、浸炭の温度履歴を模擬した焼入れを行うことで、強制的に不均一冷却を引起こす実験を行った。焼入れ後の熱処理変形量（曲がり量）を測定した結果を図5に示す。ECOMAX®4はSCM420と比べて、曲がり量が小さく、熱処理変形を低減することができる。この特長によりECOMAX®4は、特に寸法精度が求められる部品に適用することでNV（騒音、振動）特性の改善や、仕上げ加工の

簡略化が期待される。

4.3 ECOMAX®5

ECOMAX®5はシリーズの中で最も耐結晶粒粗大化特性が優れ、冷間鍛造後の焼ならし省略や、高温迅速浸炭プロセスに適する。シリーズの中で汎用性に優れた鋼種である¹²⁾。

5. おわりに

エコリーフ環境ラベルの認証を取得した当社開発鋼 ECOMAX®シリーズは、ギヤ等の駆動系部品に要求される高強度と、優れた部品製造性を両立した鋼材である。当シリーズは4種類のラインナップを揃えており、様々な部品用途に応じて最適な鋼材の提供が可能である。部品の小型軽量化、客先の部品製造工程の負荷軽減を通して、カーボンニュートラル社会の実現に貢献する製品として、さらなる適用拡大が期待される。

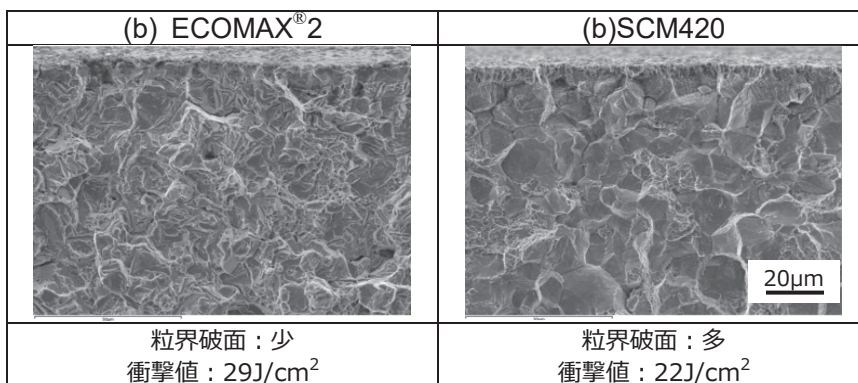


図4 シャルピー衝撃試験片（ノッチ底近傍）の破面SEM写真（室温、10R-Cノッチ試験片、ノッチ部は浸炭肌）

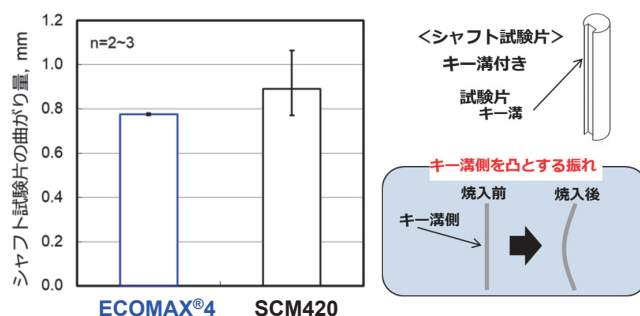


図5 キー溝付きシャフト状試験片の焼入れ後の変形量

参考文献

- 1) サステナブル経営推進機構, 2023, 「SuMPO環境ラベルプログラム」 SuMPO環境ラベルプログラムホームページ (2024年3月8日取得, https://ecoleaf-label.jp/pdf_view.php?uuid=ab8bf990-26bf-4871-adbf-8b96c4111df9.pdf&filename=JR-AW-23020E_JPN.pdf)
- 2) 中名悟, 後藤洋昭, 西川元裕, 常陰典正: 山陽特殊製鋼技報, 19 (2012) 1,38.
- 3) 山陽特殊製鋼技報, 28 (2021) 1, 62.
- 4) 丸山貴史, 藤松威史, 常陰典正: 山陽特殊製鋼技報, 22 (2015) 1,21.
- 5) 藤松威史, 橋本和弥, 平岡和彦, 山本厚之: 鉄と鋼, 93 (2007) ,649.
- 6) 藤松威史, 橋本和弥, 平岡和彦, 福本信次, 山本厚之: 鉄と鋼, 95 (2009) ,169.
- 7) 松尾健太, 常陰典正: 材料とプロセス, 34 (2021) 2, 471.
- 8) 山陽特殊製鋼技報, 30 (2023) 1, 46.
- 9) 山陽特殊製鋼技報, 22 (2015) 1, 54.
- 10) 山陽特殊製鋼技報, 23 (2016) 1, 74.
- 11) 藤松威史, 丸山貴史, 中崎盛彦: までりあ, 56 (2017) 2, 79.
- 12) 山陽特殊製鋼技報, 26 (2019) 1, 65.