

機械加工に優れた耐食・耐摩耗合金 TafAge®

TafAge®: Corrosion- and Wear-Resistant Alloy with Superior Machinability

1. はじめに

自動車部品や半導体製造装置部品、各種機械・電気電子部品には、汎用プラスチックよりも高い機械的強度や耐熱性を有するエンジニアプラスチック（以下、エンプラと記す）が広く用いられている。これらのエンプラは、射出成形機や押出成形機によって加工されるため、スクリュやシリンドには優れた耐摩耗性が求められる。さらに、成形過程で発生する腐食性ガスへの耐食性も重要な特性の一つである。近年では、ガラス繊維やフェライト粒子などを添加した高機能エンプラの使用が増加しており、成形条件はますます過酷になっている。加えて、成形機の高速度・高温化により、従来以上に厳しい摩耗・腐食環境下での使用が求められるようになってきた。このような背景から、従来の冷間工具鋼では特性面で十分とは言えず、耐久性向上と環境負荷低減の両立を目指した、新たな材料・表面処理技術が強く求められている。

これら要求に対し、このような成形機用部品に使用される合金として、Co-1.6Cr-30Cr-8W耐食耐摩耗合金（以下、ST-12合金と記す。成分単位はmass%。）があるが、弗酸に対しては必ずしも耐食性が十分ではない。一方、耐食超合金として知られるNi-16Cr-16Mo-3.5W-6.5Fe合金（以下、C-276合金と記す。成分単位はmass%。）は酸化性酸および還元性酸に対して優れた耐食性を示すが、硬度が90 HRB程度であり耐摩耗性が十分ではない。そこで、これらのニーズに対しC-276合金以上の弗酸耐食性と、ST-12合金と同等の耐摩耗性を兼備するNi基耐食耐摩耗粉末冶金材「M2C合金」¹⁻²⁾を開発してきた。一方、このM2C合金材は、固化成形中に高温保持されることで複硼化物が析出し、その後の高温での溶体化処理でも消失しないため、硬さ低減が難しく、各種部材として用いられる高硬度状態で機械加工を行う必要があった。

当社ではさらなるニーズに応えるべく、溶体化状態で硬さが低く、優れた機械加工性を有し、その後の時効処理で硬化粒子を析出させることによる使用時の高硬度を達成可能な耐食・耐摩耗合金TafAge®を新たに開発した³⁻⁵⁾。このTafAge®合金は、ガスアトマイズ法により製造された原料粉末を、粉末冶金法により固化成形するため、ミクロ組

織が微細であり、機械的特性にも優れる。また、固化成形品は大径・長尺（～φ75、～2000L）化も可能である。以下にTafAge®の各種特長を紹介する。

2. 耐食・耐摩耗合金 TafAge® の特長

2.1 大きな硬化幅

図1に機械加工時を想定した溶体化後の硬さと、使用時を想定した時効後の硬さを示す。溶体化時にγNiに十分に対象元素を固溶させることで、機械加工が可能な30HRC程度の低硬度が得られる。その後の時効によりγ'であるL1₂型fcc規則構造の金属間化合物相が析出することで強化され、41HRC程度の高硬度を達成した。この11HRC程度の大きな硬化幅によって、機械加工性と高い使用硬度の両立を可能としている。

2.2 微細組織構造

図2に溶体化後と時効後のTafAge®合金のミクロ組織を示す。ガスアトマイズ法により急冷凝固された原料粉末を用いることにより、溶体化後、時効後に関わらず数μmのMo化合物が微細均一分散している組織である。さらに、時効後では、マトリックス中に数nmレベルの硬質なγ'が析出、微細分散しているため硬化するメカニズムである。EDS（Energy Dispersive X-ray Spectroscopy）分析の結果、マトリックス部（γ'も含む）の組成はNi-22Cr-13Mo（mass%）であり、Ni基合金における耐食性改善元素であるCrおよびMoの総量はC-276に匹敵する。

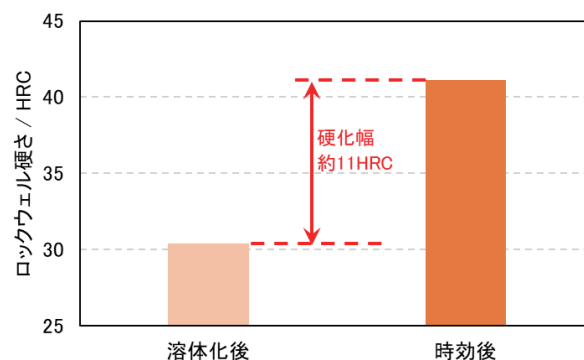


図1 TafAge®合金のロックウェル硬さ（溶体化後、時効後）

2.3 耐食性

時効後のT.P.を用いて、硝酸、硫酸、塩酸、弗酸の各10mass%水溶液に40℃で10h浸漬した後の腐食度を図3に示す。比較として、C-276合金（溶体化処理材）、ST-12合金（粉末冶金材）、Ni自溶合金（SFNi5相当組成の遠心鋳造材）の腐食度も示す。なお、図3に棒グラフのない腐食度は $0.01\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 未満であった。

TafAge®合金は、硝酸、硫酸に対し、試験前後に重量変化が見られず、塩酸、弗酸に対しては、C-276合金と同等の腐食度を示した。さらに、ST-12合金、Ni自溶合金と比較しても、全ての酸において腐食度を下回っている。このように、TafAge®合金は弗酸およびその他の酸に対し、優れた耐食性を示す。

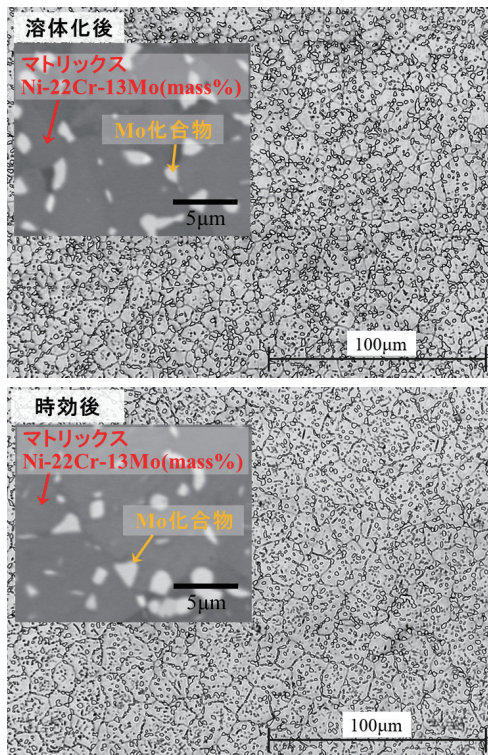


図2 TafAge®合金のミクロ組織（溶体化後、時効後）

2.4 耐摩耗性

時効後のT.P.を用いて、大越式摩耗試験により評価した比摩耗量を図4に示す。相手リングはSCM420（86HRB）、摩耗距離200m、最終荷重61.8N、乾式の条件で実施した。TafAge®合金は、広い摩耗速度範囲において、ST-12合金と同等以上の優れた摩耗特性を示す。

2.5 機械的特性

抗折強度を図5に示す。時効後の $4 \times 8 \times 40\text{L}$ 試験片を用いて、20mmスパンで抗折試験を実施した。TafAge®合金は、ST-12合金を上回る抗折強度を示し、実用に耐える機械的強度を有している。

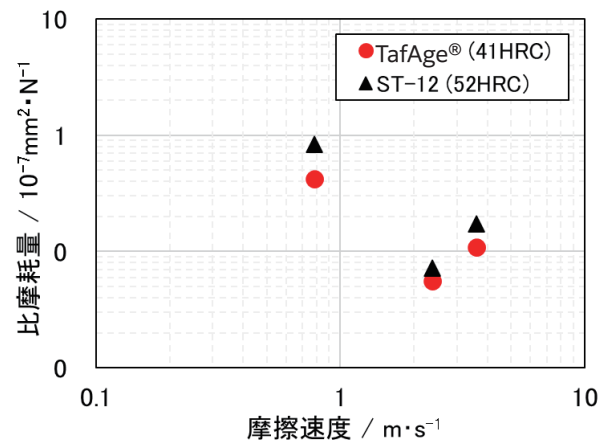


図4 TafAge®合金の耐摩耗性

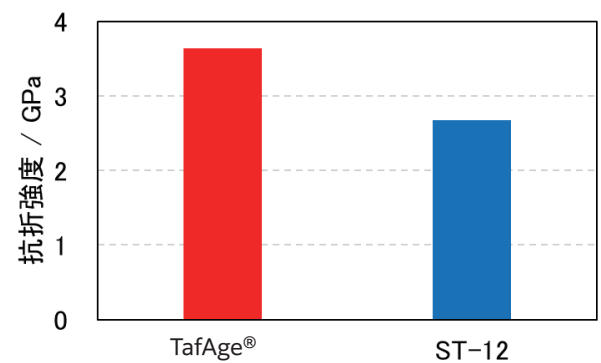


図5 TafAge®合金の抗折強度

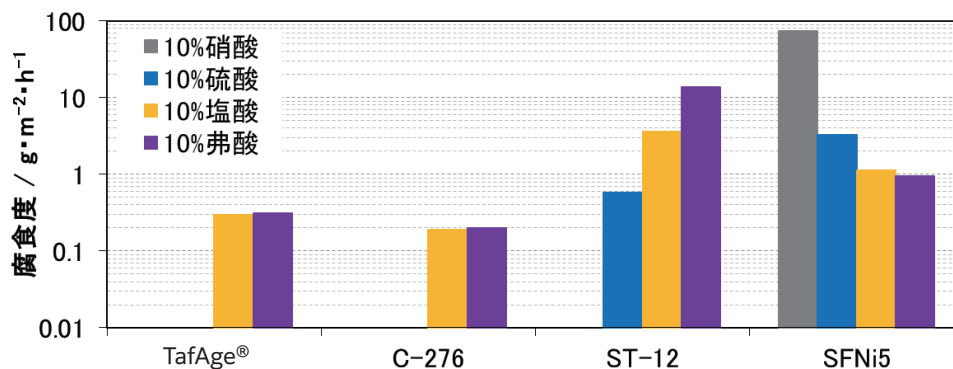


図3 TafAge®合金の耐食性（棒グラフのない腐食度は $0.01\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 未満）

3. まとめ

このTafAge®合金の位置付けを図6に示す。TafAge®合金は、溶体化状態では機械加工可能な硬さであり、その後の時効処理により大きな硬化幅を有しており、使用時には高硬度となる。そのため、硬さ特性は維持したまま、機械加工の優位性を付与された材料である。また、TafAge®合金は、Ni-Cr-Mo系組成からなる超耐食マトリックスと、硬質 γ' を均一微細分散した粉末冶金材であり、C-276合金と同等の耐食性とST-12合金を上回る耐摩耗性、機械的強度を兼備している。さらに、固化成形品のプロセスにおいても $\phi 75\text{mm} \times 2000\text{L}$ までの太径サイズの製造も可能である。

そのため、弗素系をはじめとするプラスチック成形機用部材、特にスクリュやシリンダ用途として非常に有望な材料である。

参考文献

- 1) 澤田俊之、柳本勝：山陽特殊製鋼技報、16（2009）、63-70
- 2) 澤田俊之：粉体および粉末冶金、64（2017）、631-637
- 3) 廣野友紀、三浦滉大、澤田俊之：粉体粉末冶金協会講演概要集、秋季大会（2019）、1-44A
- 4) 廣野友紀、三浦滉大、澤田俊之：山陽特殊製鋼技報、27（2020）、75-81
- 5) 廣野友紀、三浦滉大、澤田俊之：粉体粉末冶金協会講演概要集、秋季大会（2021）、8-4A

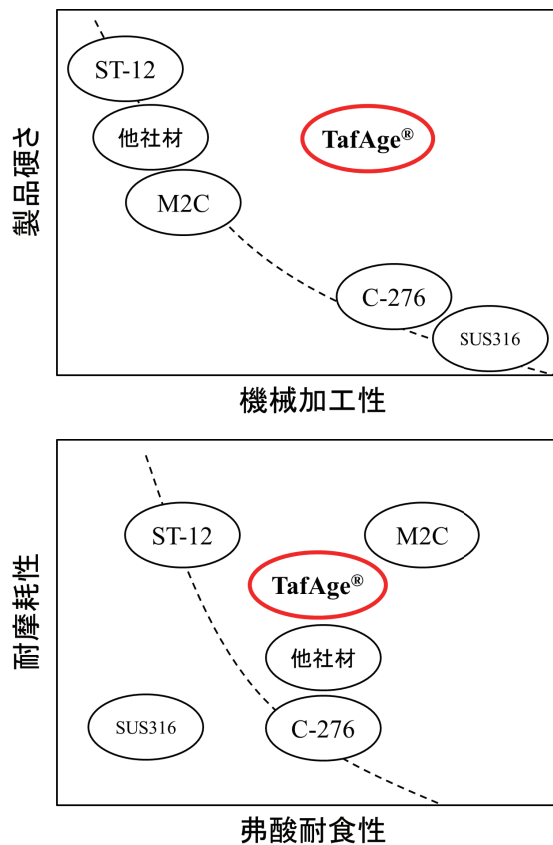


図6 TafAge®合金と各種合金の特性位置付け