

高強度超細粒鋼の開発

材料技術部 構造材料チーム 高木 眞一
富田 正一

メカニカルミリング法を用いてナノ結晶組織を付与した鋼粉末を簡便かつ量産性に優れたプロセスで固化成形して超細粒鋼を得る方法を検討した。メカニカルミリング処理した鋼粉末に少量の有機物バインダーを添加して冷間成形体を作製し、これを温間域に加熱した後、直ちに押し出し加工することにより、緻密な棒状超細粒鋼を作製することができた。この超細粒鋼は引張強さが最高で2490MPaに達する極めて高い強度を示すとともに十分な延性も示した。

キーワード：

1 はじめに

鉄鋼の結晶粒径を $1\mu\text{m}$ 未満にまで微細化すると、合金元素の添加や焼入れ・焼戻しなどの熱処理なしに飛躍的な高強度化を達成できることが見出され、“超細粒鋼”と称して実用化が期待されている。最近開発された種々の超細粒鋼の作製方法の中で、メカニカルミリング（以下、MMと略記する）法によってナノ結晶組織を付与された鋼粉末を固化成形する手法は、圧延や鍛造などいわゆるインゴットメタラジープロセスでは到達し得ないきわめて微細な多結晶組織を得ることが可能であり、超強靱超細粒鋼の製造方法として有望である。しかし、MM処理に長時間を要することやその後の固化成形に手間がかかるなど生産性に乏しい点が実用化の障害となっている。

本研究では、従来法を大幅に簡略化した量産性に優れた固化成形法を開発したので、その概要と得られる超細粒鋼の機械的特性について報告する。

2 超細粒鋼の作製手順

図1に超細粒鋼の作成手順を模式的に示す。まず、カーボニル鉄粉(平均粒子径約 $5\mu\text{m}$)、フェロチタン粉末(Fe-42.1mass\%Ti)、 Fe_2O_3 粉末を $\text{Fe-1.0mass\%Ti-0.4mass\%O}$ の組成に配合した混合粉末をMM処理に供した。MM処理は混合粉末と鋼製ボール(SUJ2製、直径約 10mm)を重量比が1:10になるようにステンレス製容器(SUS304製、容積 200ml)に充填し、容器内部をアルゴンガスで置換した後、高速遊星ボールミル(栗本鐵工所製、ハイジーHBX-284E)を用いて実施した。MM処理時間は100時間である。MM処理した粉末に、有機物バインダーを少量添加した後、加圧力 100MPa にて冷間成形した。冷間成形体は直径 25mm の円柱状であり、図2に示すように上下にS15C溶接材の当て金を装着した形状である。先端部の当て金は押し出し加工時に発生する引張応力によって粉末が接合せずに崩壊するのを抑止する目的で用いた。また、後端部の当て金はMM処理粉末を節約するために用いた。この

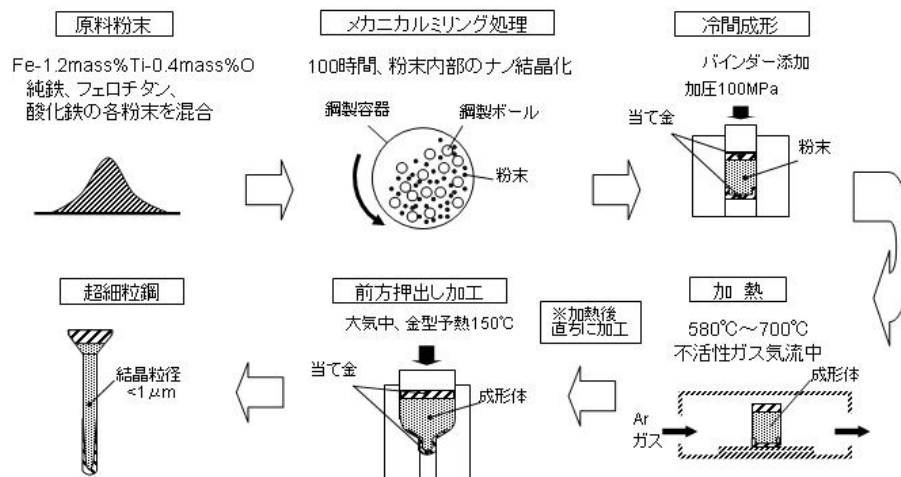


図1 超細粒鋼の作製手順

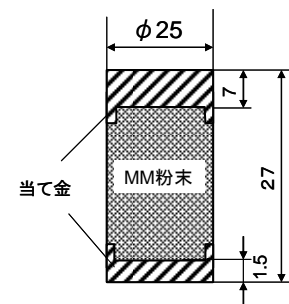


図2 冷間成形体の寸法

当て金とMM粉末が一体化した冷間成形体をアルゴンガス気流中で580℃～800℃の温度域に加熱した後、直ちに約150℃に予熱した前方押し出し型に挿入して固化成形した。押し出し加工時の断面減少率は約90%である。得られた棒状のバルク材からマイクロ組織および引張特性を評価した。

3 超細粒鋼の組織と機械的性質

写真1に得られた超細粒鋼バルク材の外観と長手方向断面のマクロ組織を示す。押し出し加工によって直径8mmの棒状に成形された部分が緻密な超細粒鋼である。マクロ組織からわかるように先端部はS15Cの当て金で覆われており、後端部にはこの当て金が棒状素材の中心部に侵入している。写真2に代表的な押し出し加工材のマイクロ組織を示す。いずれの押し出し温度についてもマイクロ組織は結晶粒径が1μmを下回る超微細フェライト粒組織で構成されていた。図3に引張特性と押し出し温度の関係を示す。押し出し温度が低いほど強度は上昇し、580℃で押し出した場合に引張強さが2.49GPaにも達する極めて高い強度を示した。結晶粒径が極めて微細であることが高い強度を示した主因であり、押し出し加工温度が低いほど高い強度を示すのは、低温ほどMM処理粉末の粒成長が抑制され、より結晶粒径の微細な超細粒鋼ができるためである。また、図4の応力-歪み線図に示すように、いずれの試験片も最大荷重を示した後、くびれを伴って破断しており、十分な延性を有していることも判明した。

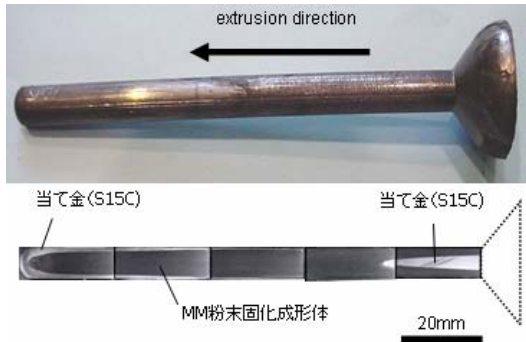


写真1 押し出し加工材の外観およびマクロ組織

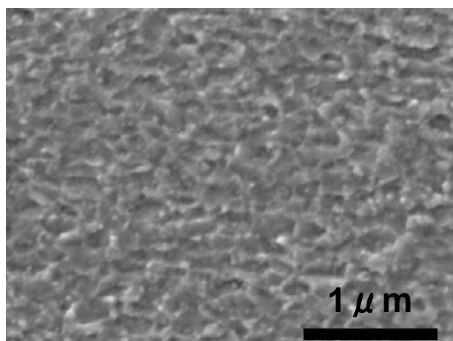


写真2 押し出し加工材のマイクロ組織 (長手方向断面、押し出し温度 650℃)

4 まとめ

これまでの報告例では、MM処理粉末を鋼製の容器に充填し容器の内部を真空状態に封入して、この容器ごと熱間で圧延あるいは押し出し加工を施して固化成形していた。しかし、この方法では容器への充填作業や固化成形後の容器の除去に手間がかかり実用的な手法とは言い難かった。本研究で採用した固化成形法は、技術的に極めて簡便で量産性の高い手法であり、得られた超細粒鋼は極めて高い強度と十分な延性を有していた。

文献

- 1) S. Takaki, K. Kawasaki and Y. Kimura; "Ultrafine Grained Materials", (ed. By R. S. Mishra, S. L. Semiatin, C. Suryanarayana, N. N. Thadhani and T. C. Lowe), The Minerals, Metals and Materials Society, P.247(2000).

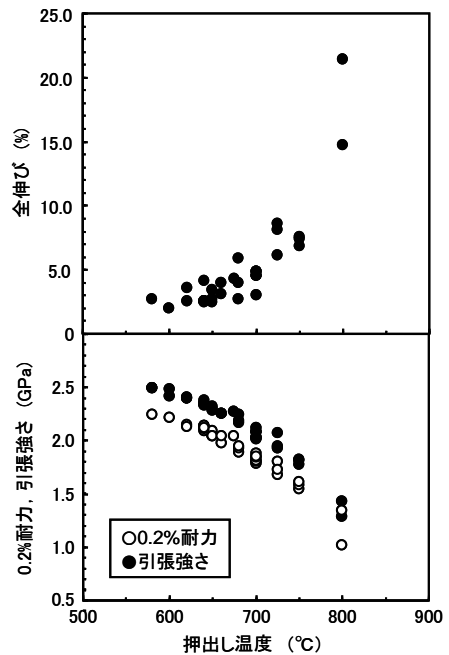


図3 押し出し加工材の引張特性に及ぼす押し出し温度の影響

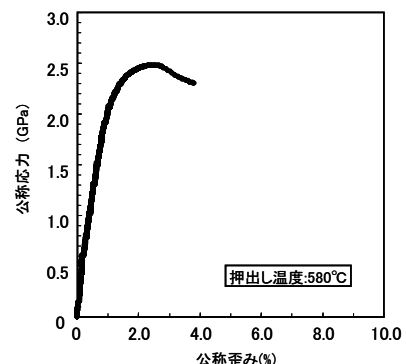


図4 押し出し加工材の公称応力-公称歪み線図