

熱効率向上に寄与する「超合金」の研究

SCIENCE

人類が金属を手にした時期は明確になっていないが、すでに紀元前九〇〇〇年より前に銅を採集して加工していたとみられている。その後さまざまな金属を人類は利用してきたが、それは合金を作る歴史でもあった。紀元前三〇〇〇年くらいまで続いた石器時代の次に訪れたのが、青銅器時代。柔らかい銅に錫を混ぜることで剛性などを増し、実用性を持たせた。青銅器時代は二千年近く続いたが、その後主役は鉄に取って代わられる。それから現在に至るまで、我々が主に使用している金属は鉄だ。ただそれは純粋な鉄ではなく、ステンレスに代表されるように鉄を主成分とする合金である。

「超合金」。こう聞いてほとんどどの読者は男児向けのロボット玩具を想起するかもしれない。しかし冶金の分野では超合金とは「超耐熱合金」の省略形である。熱に強い金属というのはいまだに発展性のある研究分野であり、日本人研究者の活躍が期待されている。金属材料とその加工技術の発展は内燃機関、すなわちエンジンの技術発展に多大に寄与してきた。燃焼温度の高温化は熱効率の向上に欠かせないため、その高温に耐える合金が模索されてきた。現状、飛行機のジェットエンジンや発電用のガスタービンにはニッケルを主成分とする「ニッケル基超合金」が用いられている。最新の技術で、ニッケル基超合金の耐熱温度は一千五百十度程度にまで向上している。

五十℃なのだ(ニッケル基超合金の融点は一千三百℃台)。一方で、最新鋭ジェットエンジンの燃焼温度は一千七百℃という超高温にまで達しようとしている。そのため、耐熱温度とのギャップを埋めるために、コーティング技術や冷却技術が開発されているが、実際には冷却することで効率が下がっているという指摘もある。これを解決するもつとも簡単な方法は、超高温域でも耐えられる合金を開発することだ。

モリブデンと、ケイ素、ホウ素の二元素からなる合金に、チタンと炭素を大量添加した合金である。この合金の密度は八・八g/cm³と既存のニッケル基超合金に近い値であり、しかも高温でも優れた強度を発揮することは、すでに同グループによって二〇一四年に発表されていた。この合金の融点は一千九百二十℃と極めて高いため、超高温での使用に耐えられるのではないかと期待されていた。

高温下では材料に独特の変化が起きる。その一つが「クリープ」である。通常、材料に一定の荷重を加えると、ある程度変形したところで止まる。しかし高温下では、時間の経過とともに変形が進んでしまう。どの程度の高温と荷重と時間に耐えられるかはその材料によって変わり、それを「クリープ特性」という。

東北大のグループは、モシブチック合金のクリープ特性について調べた。すると、百二十七MPaの応力で破断時間が一千時間に到達するときの温度は約一千三百六十℃と見積もられた。これは、ニッケル基超合金よりも二百℃以上高い温度である。このほか、一千二百℃で一%ひずみに到達する時間が百二十五時間となる負荷応力は約二百七十MPaと見積もられ、これはニッケル基超合金だけでなく、米ゼネラル・エレクトロニクス社が開発した高性能超合金をもしのぐ成績だという。

阪大のグループが使ったのは、遷移金属とシリコン(Si)を組み合わせた「遷移金属シリサイド」である。ニオブダイシリサイド(MoSi₂)とモリブデンダイシリサイド(MoSi)を組み合わせた「複相シリサイド合金」と呼ばれる合金材料だ。阪大の研究グループが二〇〇〇年代初頭に開発したこの材料は、二種のシリサイドが板状の形状を有し、それらが交互に積み重なった「ラメラ組織」を有している。そのため、結晶方位の制御によって特定の方向に延ばすことができる一方、高温でも強度を維持するという特性を持つため、高温材料として期待されている合金の一つだ。

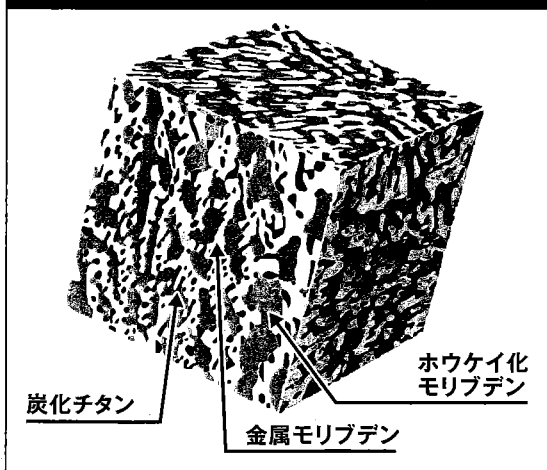
これまで阪大の複相シリサイド合金は、特定の方向からの加重には強いものの、別方向からの力には脆いなど、「弱点」を有してきた。今回、萩原准教授らのグループは、シリサイド合金に、クロム(Cr)とイリジウム(Ir)を同時添加することを提案した。

「量産」できるための生産体制についても考える必要がある。つまり、超合金の開発にあたっては、単に熱に強いだけでなく、「強

だという。また、Irを添加することによりラメラ組織を細かくすることで、室温での割れにくさ(破壊靱性)が向上するという実験結果もあった。今回は、両者を同時に微量添加することで、双方の性能を向上させることに成功したという。今後は、さらなる性能向上を目指し、実用化に向けて研究が進められる。

前述した東北大学の例をみても分かるとおり、「熱に強い合金」を開発してもすぐに実用化できるわけではない。工業材料として使えるようになるためには、「量産」できるための生産体制についても考える必要がある。つまり、超合金の開発にあたっては、単に熱に強いだけでなく、「強

新たに発明された耐熱モリブデン合金の構造



東北大ホームページより作成