

(718) ロケットモータ用チタン合金の開発

日産自動車

垣見 恒男

人工衛星打上げ用大型ロケットに使用されている上段用ロケットモータや軌道変換用ロケットモータは、人工衛星に直接接続されているため、衛星の性能向上に大きな影響を及ぼす。そのため、第一段ロケット、第二段ロケットと比較し、上段ロケットモータなどには、高性能かつ高信頼性が要求される。性能向上を満足する材料には軽量で高強度、良好な溶接性を有し、かつ耐環境性に優れたチタン合金が最も適している。ロケット先進国である米国やソ連においても、上段用にはチタン合金（主としてTi-6Al-4V合金）が使われており、衛星の性能向上とともにチタン合金の研究が一段と努力されている。我が国においては、当時東大、宇宙研が昭和40年に打上げたK-10S型テストロケットの上段用（ $\phi 200\text{mm}$ ）にTi-2Al-2Mn合金を採用したのが最初である。その後、東大、宇宙研の上段用ロケットは直径 $\phi 480\text{mm}$ 、 $\phi 780\text{mm}$ と大きなものが要求されたため当時としては画期的な製造法が採用された。すなわち、チタン合金板素材を爆発成形法により成形し、ケミカルミーリング加工法により、製造という方法であり、この方式はM-4Sロケットまで使用された。昭和46年に入り一段と性能向上を要求されたM-3C型ロケットでは、直径約1mの球形モータケースが必要となり、材料はTi-2Al-2Mn合金からTi-6Al-4V合金に変更された。Ti-6Al-4V合金は、すでに米国で昭和40年頃より、ロケット用として使用されていたが、当時我が国では材料特許、生産技術及び生産設備等の制約から本合金を採用出来なかった。しかしロケットの高性能化要求を満足するためには、高強度を有する本合金を採用せざるを得なくなったため、研究・開発が行なわれた。工法としてはTi-6Al-4V合金厚板を熱間プレス加工法を用いて半球に成形し、機械加工で仕上げを行なったあと、溶接で中心部を接合する製造法が採用された。しかし当時は、熱間圧延設備のパワー不足とか、本合金に対する圧延加工技術の未熟等の理由で圧延しやすい β 温度域で圧延加工した板材が用いられ、そのうえ熱間成形技術も未完成であったため、成形時に割れを生じることも多く大変な苦勞をした。昭和55年に至り、さらにロケットの高性能化が要求されたため、 β 温度域で加工した β プロセス材よりも約20%の強度向上が期待できる $\alpha+\beta$ プロセス材が採用された。このころになると、鉄鋼メーカーには圧延能力の大きな圧延機が設置されており、圧延抵抗が高くなる $\alpha+\beta$ 温度域でも圧延加工が可能であった。また、熱間プレス成形もサンドウィッチ法の採用により従来の成形法に比べ著しく改善することができ、更に急速冷却が可能でカントリー炉も導入されていたため、溶体化+時効処理が可能となり、焼鈍状態で使用していた従来の材料に比べ20%以上の強度向上を図ることができた。本合金についてはその後各種の改善が加えられ、現在、本合金の強度は0.2%耐力で規格値119 kgf/mm²を保証するまでに至っている。Ti-6Al-4V合金は、米国純チタン合金生産の65%を占るといわれるほどポピュラーな合金であるが、反面難成形性、難加工性という面もある。冷間での素材成形加工は、不可能に近く、もっぱら高温での熱間加工法を用いざるを得ないため、高温で大気中の酸素、窒素と反応しやすいチタン合金は脆化層を形成しやすく、このため加工中に割れを生じることがある。このような現象は、高価なチタン製品の材料歩留や生産性向上を低下する原因である。チタン合金は、大変魅力のある材料であるが、より加工性の良好な合金があるならば今よりは利用の範囲もたがり低コストで良好な製品をユーザーに提供できるのではないかと考える。米国等では、次世代の有望なチタン合金として冷間加工性の良好な、 β 型合金のいくつかが取り上げられ、航空宇宙産業のみならず、自動車産業等、民需の利用を目指して実用的なDATTA取得が行なわれている段階である。我が国でも、近い将来用途を拡大できる有望な新しいチタン合金の出現を望み次第である。