

3) 加工硬化曲線

日本冶金工業(株) 三浦健介
ソリューション営業部 課長

金属は圧延や引き抜き、押し出し、鍛造などの冷間加工をすることで強度や硬さが高くなる。これは、塑性変形に伴い転位が増殖・蓄積されることによるもので、変形量が増えるとともに加工に必要な力も増大する。この現象を加工硬化という。加工硬化はプレス、曲げなど多種多様な成形の加工性に影響するとともに、ばねなどの加工製品の強度を確保するためにも重要な特性である。

ステンレス鋼は金属組織により大別されるが、塑性加工に用いられるステンレス鋼はオーステナイト系（以下 γ 系）、フェライト系（以下 α 系）、オーステナイト・フェライト二相系（以下二相系）がほとんどである。さらに γ 系ステンレス鋼は、SUS304やSUS301などの塑性加工時に組織がマルテンサイト変態しやすい準安定 γ 系と、SUS316などの組織が変化しにくい安定 γ 系に分けられる。

加工硬化曲線とは縦軸に引張強さや硬さなどの機械的性質を、横軸に加工量をとったもので、図1に準安定 γ 系のSUS304、SUS301、安定 γ 系のSUS316、二相系のSUS329J4L、 α 系のSUS430の加工硬化曲線の一例を示す。図1は引張強さと冷間圧延率との関係を示したもので、冷間圧延率が増

大するほど引張強さも増大していることが分かる。

γ 系は α 系や二相系よりも曲線の傾きが大きく、塑性加工により強度が上がりやすい。 γ 系の中でも準安定 γ 系は加工量が増大するほどマルテンサイト変態量が増えるため、曲線の傾きがより大きくなる。

準安定 γ 系のマルテンサイト相への変化のしやすさは成分値が影響しており、その指標として、Ni当量がある。Ni当量は γ 相の安定度を示す指標で、大きい程 γ 相は安定でマルテンサイト変態しにくい。代表的な式として、平山の式などが知られている。

$$\text{平山の式：Ni当量} = 12.6C + 0.35Si + 1.05Mn + Ni + 0.65Cr + 0.98Mo$$

また、準安定 γ 系の加工硬化は加工温度にも左右されることが知られており、加工温度が高い程マルテンサイト変態が抑制される。温度の影響についての指標としてMd30があり、野原の式などが知られている。

$$\text{野原の式：Md30(}^\circ\text{C)} = 551 - 462(C + N) - 9.2Si - 8.1Mn - 13.7Cr - 29.0(Ni + Cu) - 18.5Mo - 68.0Nb - 1.42(v - 8.0) \quad (v: \text{ASTMの粒度番号})$$

Md30は γ 相単相の材料に30%の引張変形を与えた時、組織の50%がマルテンサイト変態する温度を示した指標で、Md30が低い程 γ 相は安定である。

準安定 γ 系においては、その成分から γ 相の安定度を知ることによって加工量や加工温度の影響を予測し、加工後の製品の強度を推定することが重要となる。

ステンレス鋼には時効処理をすることで強度が上がる析出硬化系もあるが、固溶化処理状態からの加工硬化挙動は固溶化状態の組織により大別でき、SUS631は準安定 γ 系に近い加工硬化挙動を示す。

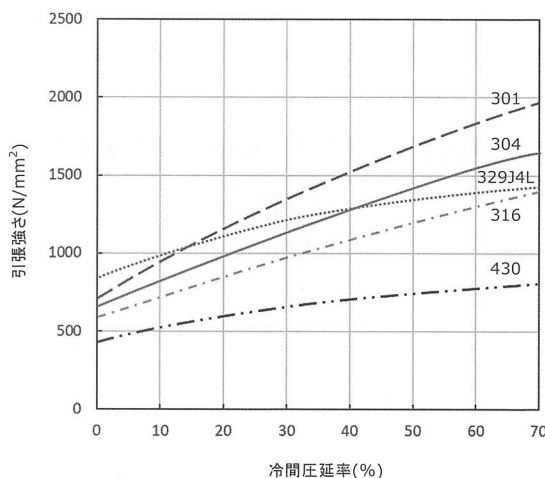


図 1 引張強さにおよぼす冷間圧延の影響