

特集号「金属材料の組織と機械的特性に対する 超強加工の効果」に寄せて

梅本 実*

Preface to the Special Issue "Effect of Ultrahigh Plastic Strain on the Microstructure and Mechanical Properties of Metals"

Minoru UMEMOTO*

本特集号には、超強加工（あるいは巨大ひずみ加工：Severe Plastic Deformation (SPD)）に関する最近の研究のレビュー8編が掲載されています。これらは2005年4月から活動している、日本鉄鋼協会材料の組織と特性部会傘下の「超強加工の材料科学研究会」の研究成果の一部を纏めたものであります。

超強加工に関する研究の多くは金属材料に大きな加工を加えると材料はどのようなになるのかという素朴な興味から出発しています。一般の教科書に載っている応力-歪み曲線は引張試験で測定したものであり、試料の破断が起こるまでの変形、伸びにしてせいぜい50%程度（真歪み0.4）までの歪みの範囲です。圧延や伸線加工では引張試験以上の大きな歪みを与えることができます。しかし、これらの加工方法では試料の厚さや直径が加工度の増加とともに小さくなり、試験片のサイズの点で必ず加工量の限界があります。超強加工を最も手軽に実現する方法は粉末試料をボールミルすることです。どのような材料にも適用でき、極限の加工状態を実現することができます。しかし、変形モード、歪量や歪速度などの加工条件が不明であること、力学特性の測定ができる大きさのバルク材にするには焼結過程が必要であるなどの問題点があります。1980年代以降になって、ECAP (Equal-Channel Angular Pressing) 法、ARB (Accumulative Roll Bonding, 繰返し重ね接合圧延) 法、HPT (High Pressure Torsion, 高圧ねじり) 法などの形状不変加工と呼ばれる新しい加工方法が開発されました。これらの加工法では試験片の形状が加工前と加工後で変わらないので、原理的には無限大の大きさの歪みを与えることが可能です。また試験片サイズの影響を含まない加工の効果を測定する事が可能です。これらの形状不変加工方法を使って真歪4以上の大きな加工領域の研究が進められました。その結果、これまでよく知られていた加工組織である転位セル構造を越える加工を加えると、結晶粒界が加工により作られ、元の結晶粒が分断されるという現象 (grain subdivision) が起こることが見いだされました。鉄鋼材料の場合、超強加工を加えると粒径 $0.2\ \mu\text{m}$ 程度の超微細組織

となります。この組織は焼鈍しても従来の静的再結晶を起こさず、粒成長のみを示します。そのため超強加工で超微細結晶粒組織が生成する現象は連続再結晶と呼ばれています。超強加工で高傾角の結晶粒界が形成されるメカニズムとして剪断帯同士の交叉が提案されています。超強加工を加えて作製した超微細組織を有する材料は高い強度を示します。そのため、超強加工は、合金元素添加に代わる新しい高強度化の手法として省資源、易リサイクル性の観点から注目されています。しかし、問題は延性が低いことです。結晶粒が $0.2\ \mu\text{m}$ 程度まで微細化すると、均一伸びがほとんど無くなります。これを克服するために、バイモーダルな結晶粒度分布を持つ材料や、複相組織材料が提案されています。

一方、工業的にはショットピーニング、ドリル加工、切削加工、研削加工などの機械加工により部品表面は超強加工を受けます。このような機械加工によって、鉄鋼材料では厚さ数 μm 程度の表面で粒径が $10\sim 20\ \text{nm}$ のナノ結晶組織が生成することが最近見いだされました。レールや軸受け部品では長期間の使用後にナノ結晶組織が生成し、クラックや剥離の原因となることが報告されています。このように超強加工は機械部品等で日常的に起こっている現象でもあります。機械加工を制御して部品表面にナノ結晶組織を形成させる事を利用した新しい表面改質技術の出現が期待されています。また、レールや転動疲労で生成する脆いナノ結晶組織は剥離に繋がることから、その生成原因の究明は、部品の長寿命化の鍵を握っています。

以上のように、超強加工は学術面でも工業面でも身近で興味深い現象です。本特集号では加工組織の発達から、形状不変加工法を使った超強加工による組織変化、機械加工による表面超強加工、鋼材しゅう動部の摩耗や転動疲労などの実用部品で起こる現象まで超強加工に関する幅広い分野のレビューを纏めました。本研究会の成果が超強加工を利用した新しい材料開発の糧となる事を祈りたいと思います。