



金属加工と材料特性

加 藤 健 三*

金属の塑性加工，すなわち，プレス加工とか各種成形加工を行うにあたって金属材料の特性がどのように影響をあたえるかは，きわめて興味のある問題である．一般的に力学で計算する場合は複雑になるので，なるべく単純化して材料を等方性として取扱う場合が多く，また，応力—ひずみ関係も完全塑性体とか直線硬化体とか仮定してあつかう場合が多い．しかし，現実にはうまくプレス加工を行う場合には，完全塑性体の金属板では，すぐ破断が生じてしまう．それは材料のうけるひずみが場所場所によって大きく違い，なるべく，ひずみ分布を一様に分布してやる必要があるためである．金属の塑性加工で，たとえばプレスの場合であれば，プレス型の形状がきまれば，どのような材料でも同じ形状にできるかというところではない．型が同じでも材料の特性が変わるとプレス性が変化して，よく絞れたり，絞れなかったりする．

以上のような立場から，先日，日本機械学会誌の鉄鋼材料特集号の会員の声にも書いたので，塑性加工でももう少し，材料特性を加味した理論の出現を待望したいという意味で，以下，2，3の例をあげて現状の分析をやってみよう．

(1) n 値 (加工硬化指数)：鉄鋼材料とくにプレス加工によく使用する鋼板などでは，引張試験による応力 σ —ひずみ ϵ 関係では，

$$\sigma = F\epsilon^n \quad \text{ここで } F: \text{加工硬化係数}$$

が成り立ち，鉄鋼会社では n 値を高くするための研究が進められた．その結果，低降伏点材とか超深絞り用鋼板などが生まれた．見掛けが同じ鋼板でも n 値が高い値を示したものは，スクライプトサークルテストなどのひずみ分布測定をやってみると，たしかに分布状態が一様にな

り，ある場所に集中しないために，むずかしいプレス加工ができることがわかった．ただし，その材料はもちろんのこと伸びが大きくて， n 値が高いということである．

(2) r 値 (ランクフォード値)：アメリカのUS スチール会社の研究所にいたランクフォード (Lankford) は鋼板と深絞り加工の関係をしらべているうちに，鋼板の外周部すなわちフランジ部は円周方向では圧縮変形をうけてプレス型の中に押込まれることから，鋼板の引張試験で板厚が変化しないで板幅が変化しやすい材料特性をもった板はよく絞られるということを見出し．

$$r = (\text{板幅ひずみ}) / (\text{板厚ひずみ}) = \epsilon_b / \epsilon_t$$

と表示して， r 値が高い材料が深絞り加工に適しているとした．この性質は材料の変形が等方的でなく異方性をもっているということで，板厚方向に変形しないで板幅方向に変形しやすいということである．ここ数年間，鉄鋼の研究所では r 値を高くするための研究が大に行なわれ， r 値競争時代を出現した．また，等方性塑性理論から脱皮して，異方性塑性理論も大きく進歩し，一方，金属における異方性の研究，とくにX線による集合組織の研究が推進された．ただし，ここで言っておきたいことは，ランクフォードは一介の冶金研究者であって理論家ではなかったということであり，その着眼点のすばらしさに敬意を表する次第である．

(3) B 値：以上のような外国人による材料特性に関する研究に刺激をうけたと言ってもよいかもしれませんが，われわれの研究室でも数年前から塑性加工と材料特性とを何とか結びつけたいと思って研究していたところ，最近，軽量形鋼，溶接管，屋根板，床板，壁板などの成形に用いられる冷間ロール成形加工でよく問題となる上下方向のそり変形に対して，材料特性が影

* 加藤健三 (Kenzo KATO)，大阪大学工学部金属材料工学科，教授，工博，金属塑性加工学

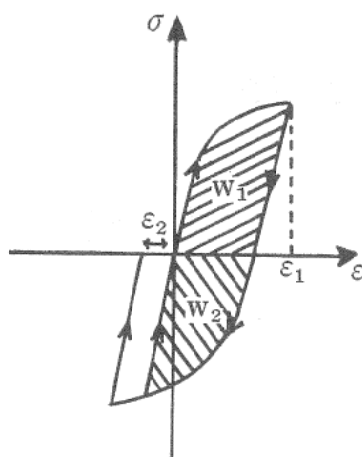


図1 塑性ヒステリシス

響することがわかり鉄、アルミ、銅その他の各種の金属材料の特性との関係をしらべたところ、従来の引張試験だけでなく、図1に示すように引張および圧縮の塑性ヒステリシスにおいて、引張りの仕事量を W_1 、圧縮の仕事量を W_2 として、次式を考えた。

$$B = W_2 / W_1$$

このBの値は、材料のバウシinger効果が大きくなると、反対に小さくなる値であり、バウシinger効果がないと、ほとんど1に近い値となる。ただ、厳密には n 値もきいてくるので、 n 値一定の材料については、バウシinger効果とよい相関になる。

実はロール成形におけるそり変形は板の長手方向に、とくにエッジで、引張り変形後圧縮変形が生ずる現象に起因するもので、引張り変形後に圧縮変形で引張ひずみを完全に解消すれば、そり変形が生じないわけであり、各種金属材料について研究した結果、そり変形とB値がよい相関を示すことを見出した。

以上の結果は、塑性加工で一度ある方向に変形が生じ、その後、反対の方向に変形が生ずるような加工では、必ず問題となってくることであり、現に石油ライン用のパイプの成形加工ではバウシinger効果で見掛け上の強度が低下する

と言った問題も生じており、われわれのB値という材料特性値も役に立つのではないかと自負している次第である。なお、今後ともさらに研究を進める必要があると考えておりますので、ご批判をお願いしたい。

終りに日頃考えていることを少々述べさせていただきます。

一つは超塑性 (Superplasticity) ということで、最近、大方の興味を集め、金属サイドまた機械サイドで研究が進められ、一部、実用化の声もきくが、まだまだ実用化が遠いように思う。それは、加工速度との関係であり加工速度を大きくできない場合が多いことである。原理としては、微細結晶粒超塑性とか変態誘起超塑性とかがあがるが、もう一步の研究が必要であろう。ただ、材料特性値としては、ひずみ速度依存指数 m 値が関係をもっており、この辺の事情が本稿で一言、つけ加えさせていただいた理由である。

それからもう一つは、塑性加工の理論の中に何とか材料特性を加えたいということで、たとえば圧延理論の中には変形抵抗 k_f と摩擦係数 μ が入ってくるが、この k_f は材料特性の影響を100%うけるわけであるが、材料特性値を完全に入れた変形抵抗の理論はまだない。一部、温度依存を考えたもの、また、実測値をもとした実験値は出ているが、まだまだ研究が必要であろう。また、後者の μ については最近、トライボロジー (Tribology) という学問分野としてあつかわれ、機械サイドおよび金属サイド、潤滑サイドの研究者によって研究が推進されているが、まだまだ問題が多く、今後の研究を期待したい。われわれの研究室でも現在、最高2800 m/minを出し得る超高速圧延機 (共同大実験棟) で圧延における摩擦問題に取り組んでおり、何とか材料サイドから材料特性との関係を明らかにして行きたいと思っている。