難加工材の塑性加工

志 村 宗 昭*

1. はじめに

——塑性加工における損傷を予測するための基本的知識——

材料の塑性加工において発生する損傷の問題は従来、現場的または経験的に処理されてきた傾向がある。それは、変形と破壊、あるいはそれぞれについての巨視的アプローチと微視的アプローチが、1950年代、1960年代においてはそれぞれ独立の専門分野として発達してきたことと関係がある。1970年代に入って、各分野の研究の相互交流あるいは包括的研究が行われ始めた。その背景には、省資源、省エネルギーの問題をひかえて、新しい材料、新しい加工法、そして高い信頼性への要求が高くなっていることがある。この状況の下では、塑性加工における損傷問題の解決は従来の方向の延長ではどうにもならず、確実な根拠に基づいた指針が要求されている。

新しい材料の、新しい加工法で問題になることは第1に、加工時に破壊が起こるか、もしくは目に見えるようなき裂が発生することであり、次に、品質管理テストを通過できないような欠陥ができること、第3に、次の工程で破壊に発展してしまうような欠陥ができること、そして、実際に使用してその製品が所期の性能を発揮しないことである。これらは、加工時に被加工材に導入された“組織的損傷”の程度と関係がある。そして、“組織的損傷”を予測できるか否かは、原理的に次の3分野の知識に依存する⁽¹⁾。

(1) 塑性加工が行われている時の、被加工材全体にわたっての、局所的状態(応力、歪、温度等)についての知識。

(2) 組織的損傷が生じるような、厳しい状態の下で、その材料がどのように挙動するか、についての知識。

(3) 予め存在する“組織的損傷”をもった材料が次の加工時にどのように挙動するか、についての知識。

2. 材 料

鉄鋼材料には、この材料特有の種々の脆性が存在す

* 東北大学助教授；金属材料研究所
Deformation Processing of Low-Workability Materials;
Muneaki Shimura (The Research Institute for Iron, Steel
and Other Metals, Tohoku University, Sendai)
1979年10月9日受理

る。従って、その脆性があらわれる温度範囲に注意して加工しなければならない。現在、工業的に広く使用されている鉄鋼材料の中には当然、加工性の難易があり、それに影響を与える材料因子について沢山の研究がある。しかし、将来展望として難加工材を考えると、それには次の3つの型の材料が対象になると思われる。

(I) 塑性加工時の流動応力が高く、変形時に相変態等を伴うもの(超高強度加工熱処理鋼)

塑性加工と変態、熱処理を有機的に組合せて新しい効果を得ようとする強化法に加工熱処理法(thermo-mechanical treatment)と呼ばれるものがある。ここ20年の間に加工熱処理法に関する研究が非常に数多く行われ、強度、靱性および疲労強度の優れた鋼が得られることが確かめられている。しかしながら、図1に示すように、この種の材料で工業的に使用されているものはきわめて少ない⁽²⁾。

図1 鋼の降伏強度と伸びの関係。

この種の鋼が工業的規模で余り発展していない理由の第1は1次加工における技術上の難点であり、他は2次加工上の難点および耐環境強度、靱性等、使用上の問題にある。

1次加工の点でみると、加工熱処理法では加工温度と加工時間を正確にコントロールすることが高性能の材質を得るための決め手の1つになっているが、この正確なコントロールが難しく、生産コストをあげる要因となっ

ている。次に、加工熱処理法における変形温度は通常の熱間圧延温度に比べて低いのが普通であり、従って流動応力が高く、より大きい加工力を必要とする。また、強度をあげるために加工率を非常に大きくする必要があるが、これもまた大きい加工力を必要とする要因である。そしてこの条件は既存の圧延機的能力を越える場合が多いのである。更に重要な問題として、工業的規模でも、また、工業的規模と実験室規模の間でも、性質の再現性が高くないことがあげられている⁽³⁾。

その例外として、加工熱処理法と類似した工程で多量に生産されている鋼種に HSLA (high-strength low-alloy) 鋼があるが、この場合には多量生産と自動化で低コストになっている。また高温炉と直接に連続した圧延工程を採用しているため、温度のコントロール範囲は小さい。更に、組織が微細なフェライトとパーライトで形成されているため、強度は比較的低く延性も高いため、2 次加工に余り大きい問題がない。

(II) 置換型固溶元素によって固溶強化した鋼(浸入型元素を低下させた高クロム・フェライト系ステンレス鋼等)

加工熱処理法によらない超高強度鋼(降伏強度 1380 MPa 以上)の場合の最近の傾向は、新しい溶解法の採用と厳しいコントロールによって、非金属介在物ならびに内部と表面の欠陥を少なくして、延性と靱性を増加させることである。この傾向を極度にすすめた例として高クロム・フェライト系ステンレス鋼がある。

高クロム・フェライト系ステンレス鋼がきわめて優れた耐食性をもっていること、およびこの材料の炭素と窒素を極度に低下(200 ppm 以下)させることによって延性が大幅に改善されることはかなり前から知られていた。ところが 1969 年、エレクトロン・ビーム連続溶解法による低浸入型元素の E-Brite 26%Cr-1%Mo 鋼が開発されると、この種の溶解法ならびに材料について世界各地で多くの研究、開発が行われ始めた。浸入型元素 C, N 量を下げ、更に炭化物安定化元素として Nb 等を添加することにより、伸びは増加し、シャルピー試験による延性-脆性遷移温度は低下する。この材料は、従来のオーステナイト系ステンレス鋼に代って化学プラント等で使用され始めている。

以上の例は、新しい溶解法によって浸入型元素量を極度に低下させることにより、延性低下の原因となるカーバイト類の介在物を減少させ、一方、置換型元素を多量に固溶させることによって、所期の性能を発揮させるところに特徴がある。このようなパターンでの合金開発は今後各方面で進行するであろう。たとえばマレージング鋼。

このような型の合金鋼における加工上の問題は、圧延

等の 1 軸性の高い応力状態における加工よりは、押出し等の 3 軸性の高い加工においてあらわれるようである⁽⁴⁾。

30%Cr-2%Mo 鋼の工業的規模の 1 次加工過程で生じた破壊例を調べた結果によれば、(i) 破壊の微視的機構が劈開、(ii) 組織が粗大粒の状態、(iii) 低加工度の状態、(iv) 割れの発生箇所は平均応力(静水成分)が比較的高い引張り状態、等の特徴が示された。この例は、延性-脆性遷移現象が、静水引張応力状態の下で、常温で発生したことを示すものであるが、置換型固溶元素を多量に含む体心立方構造をもつ合金系では、このような現象がおこる可能性が高い。

上述のように、普通の材料試験の結果では高い延性を示しながら、厳しい加工条件では予想外の破壊をおこすような材料は、別の型の難加工材とみなすことができる。

(III) 古典的な難加工材(たとえばセンダスト)

センダストは Fe-Si-Al 3 元合金の軟磁性材料である。この合金系は 9~10%Si, 5~6%Al 組成領域に初透磁率と最大透磁率の急峻をもつものである。

近年、真空溶解技術と結晶粒微細化技術等の進歩に伴い、センダストは高性能磁気ヘッド等に使用されるようになってきているが、現状では冷間圧延は言うまでもなく熱間圧延も不可能に近いと言われ、従来、センダストコアの作製には、ロスの多い、切断、研削の繰り返しの工程が採用されてきた。

ところで、センダストの薄板を塑性加工法で得ることは全く不可能なことであろうか。それについては、適当なシースを用いて 1273 K で鍛造すると 70% 以上もの圧縮変形を与え得る⁽⁵⁾、また、Nb 等の微量添加で熱間圧延が容易になる組成領域があり、100 μm の薄板を得ることに成功した、という報告もある⁽⁶⁾。

このように、特殊用途できわめて優れた特性を示すものの、もろく硬いために、塑性加工以外の手段で成形せざるを得ない、いうならば古典的な難加工材も当然、本論の対象である。

3. 加工時の、被加工材内の局所時状態についての研究

難加工材の塑性加工においては、通常の材料試験の結果からの類推は余り有効性をもたない。特に、前章の(II)、(III)のような型の難加工材においてはそうである。

塑性加工時の“組織的損傷”を予測するためには、先ず第 1 に、「塑性加工が行われている時の、被加工材全体にわたっての、局所状態(応力、歪、温度等)についての知識」が必要である。

近年、塑性加工に関する巨視的理論的研究の動向は、

従来のような加工力の計算から、変形しつつある物体内部の応力状態の詳細な解析と、その加工された材料の品質への効果へと移行しつつあり、現実の加工過程の複雑な状態を把握するために、数値解析の方法が研究されている⁽⁷⁾。

たとえば、すべり線場の理論は、剛塑性等方材料の平面歪条件という制限はあるものの、塑性加工時の被加工材内の応力や歪を推定するのに有力な方法であるが、最近すべり線場の構成にコンピュータが使用され、この手法の応用範囲が不静定問題や異方性材料へと広がっている。その一例が Collins らによる熱間圧延への応用である⁽⁸⁾。また、有限要素法による解析によって、定常過程だけでなく非定常過程における応力、歪、変形パターン等について詳細な情報が得られるようになっている⁽⁹⁾。図2は Kobayashi らによって得られた定常軸対称押出しにおける静水圧力の分布である。また、温度分布の差分法による計算例も発表されている⁽¹⁰⁾。

図2 定常軸対称押出しにおける静水圧力分布。

この方向の研究の歩みは一般的に言って緩慢であり、実際の加工過程とはかなり異なった条件を設定して計算が行われている。しかし、その成果は蓄積されつつあり、次に述べる変形能の知識と組み合わせ、加工性の予測に良い結果を得ている例もある。

局所の状態を知るためには、その材料の構成関係(応力-歪関係)を知る必要がある。現在、知られている構成関係の殆どは、1軸、低速、小歪等の限定された条件下のものであって、有効に利用するためには、変形経路、温度、歪速度の条件を考慮した、大歪までの構成関係が必要である。

現在、実際に採用されている加工速度は表1の通りであり、実験室における普通の衝撃試験における速度に匹敵する⁽¹¹⁾。

局所の状態を知るためには、ミクロ的観点からのアプローチも重要である。解明を必要とする事項を列挙すると、次のようになろう⁽¹²⁾。

(i) 熱間加工において、変形と回復過程を経た転位組織とサブストラクチャーの発達。それと「損傷累積」の関係、(ii) 高速変形における転位の挙動、特に重要なこ

表1 典型的な加工速度。

過 程	変形速度 (m/s)
引張り試験	$10^{-6} \sim 10^{-2}$
水圧プレス	$0.025 \sim 0.35$
管引き抜き	$0.05 \sim 0.5$
深絞り	$0.05 \sim 1.0$
薄板圧延	$0.25 \sim 25$
ハンマー鍛造	$2.5 \sim 10$
シャルピー衝撃試験	6
線引き(細)	$5 \sim 40$
気圧鍛造	$20 \sim 50$
爆発成形	$30 \sim 200$

とはある高い歪速度において、ある条件で延性の低下が観察されていることである。(iii) 変形双晶は同素変態およびき裂発生との関連で重要であるが、その発生に対する応力状態および変形の影響は余りよくわかっていない。

4. 厳しい状態の下での材料の挙動

——各種のクライテリアと破壊地図——

塑性加工時の“組織的損傷”を予測するために必要な原理的知識の第2は、「組織的損傷が生じるような、厳しい状態の下で、その材料がどのように挙動するか」である。このために、加工過程における破壊時の組合せ応力および、あるいはまた、歪を予測するための破壊クライテリアおよび破壊地図が役に立つ。

塑性加工(ただし、薄板の場合でない bulk deformation process)における破壊は、工具との位置関係で分類すると、(i) 自由表面割れ、(ii) ダイスと接している表面での割れ、(iii) 内部割れ、の3種に分類できる。このうち、表面割れについては、Keeler が板材の成形について提案した成形限界図(forming limit diagram)⁽¹³⁾と類似した手法によって、加工限界線図を実験的に作図することが、現在において最良の評価法と言えよう。

図3(a)は、円柱試験片のアプセット試験を行い、円柱の側面の表面歪をグリッド・マークから測定した結果から構成した加工限界曲線図である⁽¹⁴⁾。第1象限は薄板の成形における破壊、第2象限はアプセットにおける表面破壊である。複雑な鍛造過程の加工性の解析では他の象限を使用することもできる。

この加工限界線図と各種の破壊クライテリアを比較してみると、延性破壊を促進する効果をもつ引張応力の影響を基礎にした現象論的クライテリアの一例である Hoffmann⁽¹⁵⁾のクライテリアは実験結果との対応が良くない(図3(b))が、同じく現象論的クライテリアの1つで、引張り歪エネルギーの臨界値を基準にする Cockcroft⁽¹⁶⁾のクライテリアは、実験結果と大体一致している(図3(c))。なお、このクライテリアの有効性は熱間加工の場合も確認されている⁽¹⁷⁾。局所的なネッキング

図3 加工限界線図(板材成型 Keeler-Goodwin とバルク変形過程の表面割れ Kuhn ら)と各種クライテリア.

グ形成等の不安定条件に基づくクライテリアのうち、Venter ら⁽¹⁸⁾によるものを加工限界線図と比べてみると図3(d)、第2象限ではやや高い値を示すものの、大体実験結果と対応している。

空洞形成の開始点として介在物等の不均一性に着目する機構論的アプローチには、Ashby の転位モデル⁽¹⁹⁾、McClintock の空洞成長モデル⁽²⁰⁾等があるが、定量的予測ができるほどではない。空洞の連結とほぼ等価な局部的に薄い要素の挙動をモデルとする Lee と Kuhn⁽²¹⁾のクライテリアも実験結果と良く対応している図3(e)。

しかしながら、クライテリアから加工限界を決定することよりもまず、破壊モデル自体の改良が必要である。従って現時点においては、加工限界線図を実験的に確実なものにしていくことが最も有効である。

以上とは全く異なったアプローチによるクライテリアが Avitzur⁽²²⁾によって提示された。流れ-速度場の全エネルギー最小の条件から、破壊に導く加工因子を予測する、上界概念によるクライテリアは、原理的にはどんな加工法にも適用できる。しかし、この方法では材料の性質として歪硬化と歪速度感度指数しか考慮に入れることができない。このアプローチは、丸棒の押出しと引抜きにおける中心割れの解析に用いられ、ダイス角の増加

と加工率の減少に応じて中心割れの可能性が増加することが示された。

先に述べた加工限界線図は、局部における破壊歪の測定結果に基づいて形成されたものであった。これを応力空間に表示すると、降伏応力と対比して、広範囲の負荷径路を示すことができ、また、破断線と不安定線の関係を知ることができる(図4)⁽²³⁾。

最近、Ashby は、応力-温度空間に種々の歪速度における破壊モード間の関係を示す破壊機構図を提示した⁽²⁴⁾。そ

図4 降伏応力で規格化した軸を用いた限界図と破壊図。

れによれば、われわれは塑性と破壊の間だけでなく、破壊モード間の競合関係を確認しなければならないことが分かる。Ashby の破壊機構図は基本的に1軸引張り応力の状態におけるものである。破壊地図の概念をもっと一般的な負荷状態に拡張することができる。将来において、地図の形態は圧力や温度等を変数とする関数として破壊の仕事を表現するようになるであろう。そのようにして、各材料の破壊に対する抵抗性が、一般的に比較できるであろう⁽²³⁾。

空洞の発生と伝播による延性破壊までの歪に静水圧力が影響をもつことは考察されているが、そのデータはきわめて少ない。われわれは静水引張応力を定量的に扱うことのできる Bridgman 型の引張試験片を用いて静水引張応力と破断歪(断面収縮率)の関係を示すものである⁽⁴⁾。他の鋼種に比して、破断歪の3軸応力依存性が高いこと、静水引張応力がある値以上になると劈開破壊が起こることが分かる。次に、炭素鋼 S45C の破壊モードを、破壊歪、温度、静水引張応力の3次元空間の中で示せば、図6のようなものになる⁽²⁵⁾。図中、a 領域は繊維状破壊、c 領域は全面劈開、b 領域は両モードの共存の

図5 Fe-30Cr-2Mo 合金の破壊挙動におよぼす静水引張応力の影響。

縦軸は断面収縮率(または破壊までの歪)
横軸は最大静水引張成分の平均値 $\bar{\sigma}_1$
副尺は最大引張応力成分 σ_2

図6 静水引張応力、温度、破壊歪の3次元空間で表示した S45C 鋼の破壊地図。

条件を示す。これらの破壊地図は、まだ初歩的なものであって、実際の塑性加工条件とは異なる条件の下でつくられているが、前述の塑性加工時の破壊を定性的によく説明している。

5. 難加工材の加工法

(1) 各種の静水圧付加加工法

金属の塑性加工においては圧縮の静水応力が作用する条件下での変形が望ましく、特に脆い材料においてはこの点に留意する必要があることは、すでに指摘されている⁽²⁶⁾。そのため、圧延機の構造上、外部から静水圧を加えることの困難な圧延加工では、(i) 脆い材料を延性の高い材料で作ったシースに包んで圧延するシース圧延⁽²⁷⁾、(ii) 被圧延材の側面に延性の高い材料を接着し

て、引張応力を延性材料部に負わせて割れの発生を防ぐ異材接着法⁽²⁸⁾、(iii) 上下ロールに溝をつけ、この溝の間に通した厚板を介して材料の側面に拘束を与える拘束圧延法⁽²⁹⁾等が工夫されてきた。押出しにおいては、被加工材とコンテナやダイスとの間の摩擦力に起因する2次の引張応力の影響を小さくするために、主に2通りの方法が行われている。1つは、シース押出しであるが要領は圧延の場合と全く同じである。次は、静水圧押出し法である。これは文字通り加工素材に高静水圧力を付加することによって延性を高める効果と高圧媒体がピレットとダイス間で強制潤滑効果をもたらす効果が重っている加工法である。現在、この方法が適用されているのは、非鉄金属が主であるが、高圧媒体の改良に伴い、鉄鋼材料へも適用されるようになるであろう。ただし、ここで注意しなければならないことは、静水圧力の付加は万能ではないということである。延性破壊において静水圧力が延性を高める条件は、空洞が主応力方向に対して垂直方向に成長連結する場合だけであって、空洞が剪断方向に成長、連結する場合には静水圧力の効果は殆どないことに注意する必要がある。

(2) 加工限界線図の利用

上述の、静水成分のコントロールによって変形度を上げ得る理由は、先に述べた“組織的損傷”を予測するための基本的知識に基づけば、合理的に説明できる筈であり、逆に、基本的知識から難加工材の加工における最適条件を指示できる筈である。

たとえば、図4の加工限界線図は初歩的なものであるが、それに実際の工程における表面歪径路を重ねることによって、加工性に関して有効なアプローチを行うことができる。その歪径路が加工限界曲線と交叉する場合には、その交叉点で破壊が起こるであろう。そして、この欠陥発生を避けようとするならば、より高い加工限界線をもっている材料を使用するようにするか、または加工因子を変えることによって歪径路を曲げて、加工限界線との交叉を避けることである。図7はその説明図である。径 d の丸棒から、特定のボルトの頭の径 D をつくる場合、最終の必要歪は $\ln D/d$ となる。ある特定の摩擦条件で、ボルトの頭の拡大する自由表面内の歪径路が

図7 ボルト・ヘッドにおける歪径路(f_2)と材料成形限度線(f_1)の相互関係の説明図。

(a)であって、使用材料の加工限界線がAであると、最終のボルト頭径に達するためには加工限界線と交叉しなければならない。欠陥が形成されるであろう。欠陥の形成を避けるためには、図のBのような、より高い限界曲線をもつ材料を用いるか、または、最終ボルト頭径に達するまで限界線と交叉しないように歪経路を変える必要がある。これは、潤滑条件を変えて、円周方向引張り歪に伴う局部的圧縮軸方向歪の程度を増加させることによって達せられるであろう。

このように、目的に応じた各種の破壊地図を実験で作製し、それに基づいて最適加工条件を選択することによって、難加工材の狭い加工可能域を有効に利用することができるであろう。前述の(II)型の新材料に対しては、静水引張応力下の破壊地図を作る必要があるだろうし、また(III)型の難加工材については、とりあえず1軸の破壊地図が必要である。

(3) 広義の加工条件の重視

また、先にミクロの観点からのアプローチが必要であることを述べたが、これは狭義の塑性加工時、すなわち変形域内の現象についてだけでなく、特に変形域を通過した後の材質変化に関しても必要である。たとえば、加工熱理法によらない超高強度鋼の最近の動向は、延性と靱性を向上させるために、加工過程に対して厳しいコントロールと検査を要求している⁽³⁰⁾。中炭素低合金超高強度鋼の場合、熱間鍛造は普通 1333 K から 1503 K の温度で行われるが、鍛造後、大気焼入れ硬化によるき裂発生を避けるために徐冷しなければならない。中合金大気中硬化鋼(Medium-Alloy Air Hardening Steels)になると、条件は更に厳しい。たとえば H11 Mod(米規格)の場合、予め 1063~1088 K で予熱した後、鍛造温度 1393 から 1423 K まで均一に加熱する。鍛造は 1198 K 以下まで続けてはならず、必要に応じてしばしば再加熱を行う。鍛造後は 1063 K の炉にもどし、温度分布を均一にしてから徐冷する。

マレージング鋼の場合は、普通の鋼の熱間圧延と同様の技術で加工できる。しかし、Ti を多量に含む場合には高温強度の向上によって加工荷重または加工温度を高くする必要があるが、1533 K 以上での加工は避けなければならない。これは、Ti, Mo のミクロ偏析の影響を避けるためである。

(4) 難加工材のための加工装置

(I)型の難加工材の加工においては温度、時間のコントロールと、大きい必要加工力のために、特別の設備を必要とする。また、変形過程に回復、再結晶過程、変態過程を含み、それが製品の材質に敏感に反映されるから、ミクロ的に検討を要する種々の問題をもっている。

加工機械について簡単に触れると、板の強度を改善し、微細な粒径を得るため、スラブの粗圧延とプレート圧延のできる二重目的のミルを用いる鉄鋼会社が多くなっている。これらは、板の冷却コントロールのために、層流水冷および不活性ガス冷却の装置を付けている。また、1パスの加工率を大きくとるために、種々の新しいミルが設計、製作されている。

(III)型の難加工材のように、塑性加工の可能な温度範囲が狭い場合には、加熱したダイスと低歪速度による鍛造が効果的であろう。この等温鍛造においては、ダイスと鍛造材の温度は同じである。従って、ダイスの材料としては高い高温硬度をもつものを用いる必要があり、また、鍛造荷重および応力を低レベルに保って、ダイスの永久変形を避けなければならない。

文 献

- (1) H.C. Rogers : *Metal Forming-Interrelation between Theory and Practice*, Ed. by A.L. Hoffmanner, Met.Soc. AIME, Plenum Press, N. Y., (1971), p. 435.
- (2) M. Hatherly and L. H. Keys : J. Australian Inst. Metals., **16** (1971), 137.
- (3) E. B. Kula and M. Argin : *Deformation Processing*, Ed. by V. Weiss, Syracuse Univ., (1977), p. 245.
- (4) S. Saito, H. Tokuno, M. Shimura, E. Tanaka, Y. Kataura and T. Ototani : ASTM STP, to be published.
- (5) 小口 醇, 大田口 稔 : 日本金属学会誌, **37** (1973), 922.
- (6) 金子秀夫, 本間基文, 田中熙巳, 菅屋正達 : 日本金属学会講演概要, (1976・4月), 141.
- (7) J. A. Schey : *International Metals Reviews*, Dec., (1977), 302.
- (8) I. F. Collins : *Proc. Roy. Soc., Ser. A*, **303** (1968), 317.
- (9) S. Kobayashi and S. N. Shah : *Deformation Processing*, Ed. by V. Weiss, Syracuse Univ., (1977), p. 51.
- (10) G. D. Lahoti and T. Altan : *ibid.*, 99.
- (11) H. Nolle : *International Met. Rev.*, **19** (1974), 223.
- (12) U. F. Kocks, J. R. Cost and A. G. Evans : *Materials Science and Engineering*, **35** (1978), 133.
- (13) S. P. Keeler : *Machinery*, **74** (1968), No. 8, 94.
- (14) K. A. Kuhn : *'Deformation Processing'*, Ed. by V. Weiss, Syracuse Univ., (1977), 159.
- (15) A. L. Hoffmanner : *Metal Forming-Interrelationship between Theory and Practice*, Ed. by A. C. Hoffmanner, N. Y. Plenum Press, (1971), 349.
- (16) M. G. Cockcroft and D. J. Latham : *J. Inst. Metals*, **96** (1968), 33.
- (17) C. M. Sellars and W. J. McG. Tegart : *International Met. Rev.*, **17** (1972), 1.
- (18) R. D. Venter and M. C. de Malherbe : *Sheet Metal Ind.*, **48** (1971), 656.
- (19) M. F. Ashby : *Phil. Mag.*, **14** (1966), 1157.

- (20) F.A.McClintock : Trans. ASME, Ser. E.J. Appl. Mach., **90**(1968), 363.
 (21) F.W.Lee and H.A.Kuhn : Met. Trans., **4**(1973), 969.
 (22) B.Avitzur : Trans. ASME, Ser. B.J. Eng. Ind., **90**(1968), 79.
 (23) J.D.Embury and G.H.LeRoy : *Fracture*, vol.1. ICF 4, Waterloo, Canada, (1977), 15.
 (24) M.F.Ashby : Acta Met., **27**(1979), 1565.
 (25) S.Saito, M.Shimura and E.Tanaka : to be published.
 (26) 田中英八郎, 池田圭介 : 鉄と鋼, **54**(1968), 1367.
 (27) D.A.Cheer, R.E.Evans and J.N.Lowe : Sheet Metal Ind., **42**(1965), 595.
 (28) 田中英八郎, 福田武司, 渡辺貞夫 : 塑性と加工, **8**(1967), 317.
 (29) J.A.Shey : J.Inst.Metals, **94**(1966), 193.
 (30) *Metals Handbook*, 9th ed., vol.1, American Society for Metals, (1978), 421.

国際学会だより

宇宙構造物へロール成形加工の利用

昨年 10 月に 2 週間程, 東大木内助教授, また, 本号にご執筆下さった東北大志村助教授と共にロール成形技術の研究と調査のため訪米した。その際, 10 月 2 日より 3 日間, フィラデルフィアで SME(Society of Manufacturing Engineers)主催の Roll Forming Clinic が開催された。この研究会自体, クリニックというきわめてユニークな名前がついているが, 要はセミナーとは異なり, 講師からの技術および研究を主体とした講演を聞き, 各自が持っている日常の技術的問題について質問したり, 議論したりする気楽な研究会であり, 話の途中で質問してもかまわないようになっている。また, 講師は午前 2 名, 午後 4 名程度でゆっくり話を聞き, 10 時と 3 時にコーヒープレークがあり, 昼食は 3 日間とも全員で共にするといった親しみやすい集会になっており, 小生もいろいろな参加者と親密に話しあうことができた。

内容としては下記のようなものである。

- ロール成形のクライテリアとシステム
- ローラーダイのデザイン : 芸術か科学か?
- メタルフローとコンピューターデザイン
- 生産性向上と材料処理
- ロールと板の間の接触圧力
- フライングダイのデザイン
- 高張力鋼(HSLA)厚肉材のロール成形
- ニューマチックプレスのロール成形への適用
- コイル間ダウンタイムの除去法
- 成形材長さの精度問題

○自転車用リムのロール成形ラインの進歩

○アルミニウムのロール成形

○表面処理材のロール成形

○ロール成形用の潤滑の問題

○ロール成形における安全問題

以上のように比較的技術問題を中心とした研究会であるということができよう。

ところで, この研究会で 1 つだけきわめてユニークな発表が途中で行われた。それはヨーダー社の技師長のチャン氏から 10 分間程度のカラー映画で示されたもので宇宙構造物を宇宙空間でロール成形機械により建造しようということに関するものであった。

現在, 実際に NASA で研究開発を進めている由であり, 要するに, 宇宙開発に関して宇宙構造物を将来とも建設して行かなければならないが, 地上で構造物を用意してロケットで上げることにはかなりの技術的問題がある。これに対してロケットを用いて金属コイルと成形用のロール・フォーミング・マシンを宇宙に打ち上げ, 真空中にて重力場の外でロール成形加工で自由に宇宙空間に構造物用の断面材を送り出すわけで, 長さも自由にとることができ, また, 各種の形状に組み合わせることできる。現在は研究用のチェンバーの中にロール成形機を入れて種々実験を進めているようで, どのような形状の断面材が最適であるかということが大きな問題になっているようである。この発表は用意されたプログラムの中にはなく, 突如として報告されたものであるが, 一同大いに刺激をうけた次第であり, 何かしら発想の転換をせまられるような感じさえ受けた。記憶も生々しいので一筆した次第であり, 宇宙構造物に適した加工用金属材料が考えられるのではないのでしょうか。

(大阪大学工学部 加藤 健三)