

第 88 回講演大会討論会報告*

I. 鉄鋼の変形能

東北大学金属材料研究所 工博

座長 田 中 英八郎

材料の変形能とは破壊することなく塑性変形をつづける性質のことである。と簡単に定義（ドイツ鉄鋼協会「塑性加工の基礎」, 1966）することもできるが、その内容はどうか、また再現性のある量としてあらわすにはどんな方法が最適か、と言うことになる。とそれほど簡単なことではない。実際上重要であるこの問題についていろいろの立場から意見を出しあってみよう。と言うのがこの討論会を企画した意図でもあった。

始めに、加藤健三氏（阪大工）は「変形能の巨視的一般論」と題して変形能に対する現状の考え方を報告された。変形能の研究はその意呼するもののあいまいさに関連して、量的には多くおこなわれているが質的にはなかなか発展していない。現在、変形能という概念には大別して二とおりの考え方、つまり引張、圧縮、ねじりのような基礎的試験法によつて材料の特性値を求め、これを応用して各種の塑性加工法における材料の変形能を論じることができるとする立場と、基礎的試験の必要は認めつつもそれぞれの加工法に準じた試験を行なわなければ意味がないとする立場がある。この立場に沿つて棒材、板材の変形能の測定法を分類された後、加藤氏は一般に加工性が良好であるということは変形抵抗が小さく変形能が大きいことである。とする見方から、材料の変形能を左右する因子として冶金因子と加工条件、及び鉄の熱間変形能に対する化学組成の影響などを整理して報告された。

これに対して田村今男氏（京大工）は、変形能に影響する材質上の因子としては、1) 引張強さや 0.2% 耐力などで表現できる材料の強さ、2) ネッキングのおこしにくさ、3) 破壊のおこりにくさ、の三つが考えられる。とくに 2) の条件としては (i) $U = K_1 \epsilon^n$ における n の大きいこと、または (ii) $U = K_2 \epsilon^m$ における m の大きいことが重要であつて、(i) は冷間加工において重要で例えば、18-8 ステンレス鋼の深しぼり加工に応用されており、(ii) は熱間加工において重要でその顕著な例が超塑性である、と述べられた。他方、吉田清太氏（理研）は、変形能についての概念を明確にすることが大事であるとの観点から、1) 変形能と加工性はそれぞれ独立なものと考えた方がよい。前者は破断に至るまでの局所の全変形量で比較される性質のものであるのに対して、後者は破断部外の部分の形状変化や変形量がどの程度に達しうるかの比較概念である。したがつて変形能を加工性評価特性とすべきではなく、より材料学寄りの概念と考えるべきであろう。2) 現在さまざまな量的表現がなされているものの間の相互関係の検討と整理をおこ

なうことで、暫定的にせよ変形能の定義や表現法の明確化が図られる時期ではなかろうか、と述べられた。

つづいて正協謙次氏（京大工）が「金属の延性破壊について」と題して、延性材の一般的破壊について転位組織と介在物の相互作用に注目した微視的立場からの検討結果を報告された。変形途中で増殖された転位はもつれをおこしてセル組織を形成する。そしてセル壁の一部と介在物が交差した状態になる。このような場所には集積した転位からの集中応力が介在物と母材の境界に作用すると考えられるので、セル壁の転位密度がボイド核生成の条件として主要な因子となる。このような観点を、銅および炭素鋼の引張破壊挙動の電顕観察結果から裏付けられた。

これについて武智弘氏（新日鉄君津）から 1) 圧延された極軟鋼ではセルサイズは一般に非常に不揃いである上、bamboo structure もしばしば見られる。そこでセルサイズを求める場合の統計的処理はどうか。2) 一般に tangling によつて形成されたセル壁の転位群は刃状転位の列状集積のような単純な構造ではない。この場合に「セル壁転位による集中応力」はどのように評価すればよいか。3) 本研究では延性破壊の nucleation をおもに取り扱っているが propagation との関係はどうなるのか。などの質問がなされた。

次に「冷間据込み鍛造の形成限界」と題して、南部好機氏（新日鉄生産技研）による報告がおこなわれた。鋼材の冷間鍛造において据込み鍛造をおこなう場合、素材の外表面における割れ発生をもつて成形限界とすると、これは試験片寸法、端面の拘束条件などにより変形経路を介して変化する。これらの関係のもとに成形限界歪を結ぶ一つの成形限界曲線 (Forming limit diagram) が得られ、これは薄板のプレス成形における成形限界の概念と一致する。また据込み成形の割れの発生する側面の応力経路および応力状態は薄肉の中空試験片のねじりに軸力を付加したものと等価と考えることができ、そのようなシミュレーションテストの結果から求めた F.L.D. は円柱圧縮の F.L.D. とよい類似を示した。

この報告に対して戸沢康寿氏（名大工）は、1) 本報告では、成形限界はすえ込み変形によつて生じる歪（全歪）が材料固有の限界曲線 F.L.D. で示される臨界の歪状態に達する条件で決定できるとしているが、すえ込み変形中の歪履歴も限界歪に影響を与えるという実験結果を得ているので、本報告のような全歪の限界曲線の存在には疑問がある。2) 一般に繊維組織のために方向によつて破壊歪が変化する。したがつて歪履歴まですえ込み変形と一致させたとしてもシミュレーションテストとして適切ではないように思われる。との意見を述べられた。なお、同報告に対して篠原宗憲氏（東都大工）から 10 項目の質問が寄せられており、誌上討論になる予定である。

4 番目の講演は井上毅氏（神鋼中研）による「鋼の変形能および延性破壊過程におよぼす組織の効果」であ

* 本報告は昭和49年11月3、4、5日に行なわれた第88回講演大会における討論会のまとめです。

る。破壊延性 (ε_f) は第二相粒子の体積比 (V_f) によってのみ決まるものではない。球状炭化物粒径 (d_p) が大きくなるほど、すなわち粒間距離 (L) が大きくなるほど、ポイドが発生するまでの歪量 (ε_I) は大きくなる。ことが実験結果から明らかである。ポイド発生までの過程 (第 1 段階) では、マトリックスの転位密度が臨界値 (ρ_c) に達したときポイドが発生すると伝定すると、 $\varepsilon_I = (\alpha \cdot \varepsilon_0 \cdot b \rho_c L)^{1/2}$ となる。ここで α は定数、 ε_0 は転位の tangling などがおこりはじめる歪量、 b はパーガース・ベクトルである。また、ポイドが成長し最終破断にいたるまでの過程 (第 2 段階) では、この間の歪量 ε_{II} は $\varepsilon_{II} = (C^* - d_p)/G$ であらわされる。ここで C^* は最終破断直前のポイドの大きさ、 G は歪の増大に伴うポイドの成長率である。このようなモデルによつて、種々な組織の場合の実験結果を定性的に説明することができる。

これに対して南雲道彦氏 (新日鉄基礎研) から、1) ポイド発生条件式の導出において、転位密度がすべり距離と転位密度に比例して増加するという仮定をおいているが、すべり距離が炭化物の間隔に比例するというのは自明ではない。 d_p の効果についてはポイド発生にマトリックス中の限界転位密度を仮定するよりも、炭化物の微細分散化によつてすべり帯が炭化物に衝突してひずみ集中をおこす機会が増加するためと考えた方がよいのではなからうか。2) 第 2 段階でポイドが引張方向と直角に成長するためには多軸応力の存在が必要である。または破断条件としては応力状態と歪量との両者が含まれるべきであつて、報告者のモデルはそれを裏付ける根拠があるであらうか、などの意見が述べられた。

次に、「炭素鋼のオーステナイト領域における変形機構と延性との関係」と題して、酒井拓氏 (電通大) の報告がおこなわれた。試験片を高温引張変形後水素ガスによつて瞬間急冷できる装置を用いてオーステナイト領域における変形機構と延性の関係をしらべた。応力-歪曲線に応力振動がみられるが、その初期極大応力が熱的活性化による単一の速度過程にしたがつて変化すると仮定して求めた活性化エネルギーは、Fe 原子の自己拡散エネルギーとほぼ等しい値を示した。一方、試験片の全伸びは、低ひずみ速度領域ではひずみ速度の増加とともに増加したが、高ひずみ速度域では逆の傾向を示した。高温変形では、主クラック近傍における動的再結晶による細粒化とそれによるクラックの弧立化、または新しく形成された結晶粒界に沿うクラックの伝播などがみられ、これらは材料の全伸びを増加させる原因になりうる。

この報告に対して両角不二雄氏 (鋼管技研) から、1) 高温ねじり試験においても同様な傾向がみられること。2) 初期極大応力は動的再結晶と密接な関係があつて、その位置は温度一定の場合には加工度に依存し、この加工度とオーステナイト再結晶の活性化エネルギーとの間には直線的な関係があること、などが述べられた。しかし、この活性化エネルギーの扱いについて酒井氏は容認せず、議論は後日にもちこされた。

最後の講演は木原諄二氏 (東大工) による「パーライトの変形能」である。ピアノ線の伸線性と強い関係にあるパーライトあるいはベイナイトの伸線性を、伸線に成功した最後のパスで得られた線径 (D_{min}) と最初の線

径 D_0 から限界伸線加工度 $2 \ln (D_0/D_{min})$ を定義して調べると、引張試験における絞り及び降伏比は、素材の場合もまたある程度伸線した場合でも、限界伸線加工度を予知する指標とはならないことがわかつた。組織との関係でみると、高い限界伸線加工度を与えるための臨界層間隔というものがあるように思われる。結論的にいえば、材料に固有な変形能というものは存在せず、加工時に応力をどのように control して全体の歪をますかということが問題であると思われる。

この報告に対して南雲道彦氏から、パーライトを若干のコロニーの集りからなるドメンの集合体と考えた場合、ドメンが小さいほど伸びが大きいう結果が出ており、ドメンの概念を用いると説明が容易になるかもしれない。と言う意見が出された。また須藤一氏 (東北大工) から、伸線の場合には絞りは指標にならないかもしれないが、変形能のめやすとしての絞りを否定できるほど絞り自体についての研究がおこなわれていないのではないか、などの疑問が提出された。

この討論会全体を通じて言えることの一つは、「変形能について材料屋さんがこんな風に考えているとは知らなかつた」と言う吉田清太氏の発言にみられるように、材料学専攻と加工学専攻、微視的アプローチと巨視的アプローチ、あるいは学校と生産部門との間にある。問題についての理解の差異がある程度あきらかになつたことである。変形能と言うすぐれて工学的な概念について、異つた立場の人々のコンセンサスを求める試みとしてはまずまず成功であつたように思われる。席上、国際的な研究の動向として、近く冷間鍛造分科会で survey をまとめることになつていること、及び formability test について情報を集めていること (いずれも主査は工藤英明氏) について戸沢氏から紹介があつたことも付記したい。企画のミスで十分な討論時間を確保できず、多分に欲求不満を感じて帰られた方も多いと思われる。この点深くお詫したい。なお、今後のことになるが、討論に参加して戴いた方々はいずれも、変形能についてある程度独自の体系的な考えをおもちのようで、次の機会にでも御高説を充分に展開して戴きたいと思う。最後に、講演討論の内容を勝手にまとめさせて戴きましたが、筆者の聞き違いや誤解など何卒御容謝下さい。

II. オーステナイト系ステンレス鋼の 応力腐食割れの機構

九州大学工学部鉄鋼冶金学科 工博

座長 大谷 南海男

昭和 49 年 11 月 5 日本会第 88 回講演大会において、標記の討論会が開かれた。これは最近特に注目されている鉄鋼の環境ぜい化の中心課題として計画されたものであるが、参加者数は 160 名を越す盛況であつた。

本討論会では応力腐食割れ (SCC) の対象をオーステナイト系ステンレス鋼に絞り、主として割れの機構に関する討論を目的として、大谷南海男座長 (九大) の司会で、つぎの講演が行なわれた。

(1) ステンレス鋼の応力腐食割れと機構因子