大径溶接鋼管におけるバウシinger効果について

平 忠 明*

1. 緒 言

バウシinger効果とは、塑性変形を受けた金属材料において、予ひずみと逆方向の変形時の降伏応力が、同方向の再負荷時の降伏応力と比較して低下する現象である。そのため、金属材料が塑性加工を受ける場合、バウシinger効果がその機械的性質に与える影響は大きい。反面バウシinger効果は短時間低温熱処理によって消失するのも特長である。

鉄鋼業においてはその製造プロセスで逆方向の塑性変形を繰返し受ける例は無数に考えられるが、大半は加工(圧延)終了温度がバウシinger効果消失温度よりも十分高いために、圧延による異方性の問題は別として、バウシinger効果が製品の品質に影響を与える場合は少ない。したがって、バウシinger効果が問題とされるのは冷間加工を受ける場合であり、鋼板のコールド・レベリング、熱延コイルのアン・コイルング、条鋼・形鋼・レール・鋼管等の矯正および UOE・ERW・スパイラル等の溶接管製造においてである。

なかでも、溶接管製造においては素材から製品に到るまでに加工硬化およびバウシinger効果を繰返し受けるために製品の強度特性に与える影響は大きい。特に近年エネルギー危機を背景として石油開発が非常に活発になり、それに使用されるラインパイプもシベリアあるいはアラスカのプロジェクトに代表されるごとく高張力・高靱性化している。鋼管が高張力化するに従い、加工硬化による降伏強度の上昇よりもバウシinger効果による降伏強度の下降の影響が顕著となるために、工場における品質管理の上からもこれらの定量的把握が重要な問題となる。さらに製品である鋼管の円周方向の引張試験を行う場合も、冷間での矯正加工が加えられるために製品の肉内圧強度とは異った特性値を示すことも大きな問題である。

本資料では一般的なバウシinger効果に関する諸研究について簡単に述べるとともに、工業的見地から大径溶

接鋼管に関して行なったバウシinger効果の研究について概説する。

2. バウシinger効果に関する研究の推移

バウシinger効果は1881年にBauschingerによって鉄について発見されて以来⁽¹⁾数多くの研究がなされている。バウシinger効果は当初多結晶金属においてみられるものとされ、結晶粒の不均一性にもとづく内部応力で説明されており^{(2)~(4)}、たとえばTreuting⁽⁵⁾は簡単な2結晶モデルを用いて次のように説明している。

「多結晶金属においては結晶の迂り変形の異方性や結晶方位の差などによって各部の降伏強さが異なっている。荷重を受けると降伏強さの低いすなわち弱い結晶粒は強い結晶粒よりも塑性変形の量が大きく、除荷後は前者に圧縮残留応力が後者に引張残留応力を生ずる。多結晶金属においてはこの強い結晶粒と弱い結晶粒が散在していると考えられるが、弱い結晶粒に着目すると、引張の再負荷では圧縮残留応力の存在によって最初の負荷のときより降伏強さは上昇し、逆方向の圧縮の負荷では反対に降伏強さは低下する」。

一方、SachsとShoji⁽⁶⁾は α -Brassの単結晶においても丸棒の引張-圧縮試験によりバウシinger効果が生ずることを明らかにした。また、金属学における変形・加工硬化理論における転位論の発展と相まって、微視的機構の説明がいろいろと試みられている^{(7)~(10)}。たとえば、Seeger⁽¹¹⁾は塑性変形が進行すると転位がセルを形成しそれにPile-upすることによりセル組織内部にBack-Stressを生じ加工硬化をきたすが、逆方向にはこのBack-Stressで変形が容易に進行しバウシinger効果を生ずるとするものである。

これらの研究と相前後して、バウシinger効果を定量的に評価しようとする研究が数多く行なわれており、バウシinger効果の大きさをバウシingerひずみ^{(7)(12)~(81)}、予変形時の応力との比^{(13)(15)~(17)(19)~(21)}、あるいは塑性変形の仕事量⁽²²⁾⁽²³⁾等のパラメーターとして表示している。また、結晶粒度・組織・成分等がバウシinger効果に及ぼす影響も種々研究されており⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾、バ

* 日本鋼管技術研究所福山研究所係長

Bauschinger Effect on Line Pipe ; Taira Tadaaki (Fukuyama Research Laboratories, Technical Research Center Nippon Kokan K.K. Fukuyama)
1974年11月29日受理

ウシinger効果が低温熱処理により消失することも確認されている⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾。

さらに、塑性学においても、変形に対する異方性の問題としてバウシinger効果は重要な問題であり、多軸引張・広幅引張・ねじりあるいは曲げ試験により降伏曲面に及ぼす影響^{(26)~(33)}、さらには塑性疲労との関係についても研究がなされている⁽³⁴⁾。

一方、大径溶接鋼管におけるバウシinger効果という工業の見地からは、パイプラインの設計(特定の環境および操業条件のもとで所要の油・ガスを輸送するのに必要な鋼管の寸法・材質)に即したラインパイプを製造する場合には、各種の材料について鋼板と鋼管の強度変化を確実に予測しておく必要があり、以下に述べるような一連の研究を実施した。

3. 大径溶接鋼管におけるバウシinger効果

ラインパイプは通常降伏点設計で使用されており使用応力は降伏強さ(以下YSと略す)の80%に達するものがあり非常に苛酷な使用条件といえる。また、高度な低温衝撃特性が要求される場合には強度は靱性と逆相関にあるために、鋼管製造にあたって適正なるYSの管理は重要な問題である。

高張力ラインパイプの製造法の代表的なものとしては、鋼板を素材とするUOE方式と熱延コイルを素材とするERW方式がある(写真1~4)。これら両製管方式による材料の板厚方向の変形状況を図式的に示したもの

が図1である。UOEの場合素材から鋼管引張試験までの工程において中立軸より内側の板厚部(大径管の場合この中立軸は管厚中心にほぼ一致する⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾、以下内面側あるいは外面側と略す)は圧縮の加工硬化を1回、バウシinger効果を1回および引張の加工硬化を2回受けている。これに対して外面側はバウシinger効果を4回受けている。バウシinger効果を1回受けた場合のYSの低下を図2に示す。鋼管の引張試験においては、加工硬化およびバウシinger効果により降伏点が明瞭に現れないために、降伏強さとして0.5%全伸びでの応力を取る場合が多い。この領域ではバウシinger効果は遷移領域にありYSの大幅な低下が認められる(図中 $\sigma_{0.5}$)。このYSの減少は強度が高いほど顕著であり、また圧縮ひずみが2%近傍で最小となる。バウシinger効果がほぼ定常状態になる2.0%全伸びでの応力 $\sigma_{2.0}$ はほぼ無ひずみ材のYS以上の値を示しており、しかも強度が低いほどこの加工硬化量が大きくなっている。

鋼管の引張試験を行う場合にも矯正による塑性変形のため図1に示すようなバウシinger効果が問題となり、それから得られるYSは鋼管の内圧強度に対するYSに管厚外面側のバウシinger効果、および内面側の加工硬化を重量させたものである。通常前者の影響の方が大きく、この関係を示したものが図3であり、矯正試験片から得られるYSはRing Tension(後述)から得られるYSよりも小さく^{(37)~(41)}鋼管の強度レベルが高くなるほどその差が大となり15 KSi(約10 kg/mm²)に達する。

写真1 UOE(Uプレス)。

写真3 UOE(エキスパンダー)。

写真2 UOE(Oプレス)。

写真4 ERW。

	フォーミング	A	B	C	D	E	F
		ブレイト	曲 げ	圧 縮	拡 管	偏 平	引 張
		U-プレス, O-プレス	O-プレス	拡 管	プレス	引張試験	
UOE	プロセス						
	ひずみ分布						
ERW	プロセス	コイル	ブレーク, ダウン	フィンパス, サイザー		プレス	引張試験
	ひずみ分布						

図1 大径溶接鋼管のフォーミング例.

図2 圧縮予ひずみが $\sigma_{0.5}$, $\sigma_{0.2}$ に及ぼす影響.

このように鋼板から鋼管さらに鋼管引張試験への各工程におけるYSの変化は非常に大きく、品質管理の基準を明確にするために次のような手法により、種々の材料・造管条件について各StageでのYSを求めた。まず単軸試験により引張・圧縮を繰返し与えた試験を行い(図4), その結果を解析することにより任意の予ひずみを与えた場合の応力-ひずみ曲線を一般式として求め、つぎに鋼管という平面問題に対しては、図1に示したフォーミングをシュミレートしたひずみ履歴に均等曲げの単純理論を適用して全管厚についての応力計算を行った。

図3 Ring Expansion と矯正試験によるYSの比較.

(1) バウシinger効果の定量的調査

(i) 方向の異なる予歪が1回のみの場合

バウシinger効果の大きさを定量的に表示した Welter⁽¹⁹⁾ および Wooley⁽¹³⁾ のバウシinger効果係数の定義を図5に示す。前者は無ひずみ材のYSと比較したものであり、後者はバウシinger効果は異方性の程度を表わすものという考えに基づいて、予ひずみによる加工硬化を考慮に入れたものである。

No.	負荷方向	予ひずみ
1	引 張	2.88%
2	引 張	3.0
3	引 張	2.96
4	引 張	3.08
5	引 張	—

図4 引張・圧縮予ひずみの繰返し試験.

B_{EF} : バウシinger 効果係数
Welter の定義

$$B_{EF} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y}$$

Wooley の定義

$$B_{EF} = \frac{\sigma_m}{\sigma_1}$$

図5 バウシinger 効果係数の定義.
(Welter 及び Wooley の定義)

各種のラインパイプ材についてバウシinger 効果を調査した結果、最も普遍性のあるパラメーターとして図6に示すように無ひずみ材の現在変形が進行している方向の(図では圧縮)応力-ひずみ曲線を予ひずみ量(図中 ϵ_1)だけ平行移動したものを基準に採り、遷移領域では0.5%ひずみでの応力比:

$$B_{0.5} = \sigma_2^a / \sigma_1^a \quad (1)$$

定常領域では3.0%ひずみでの応力差

$$\sigma_{3.0 \text{ diff}} = \sigma_1^b - \sigma_2^b \quad (2)$$

をもってバウシinger 効果を定量的に評価した。これらの定義に基づいて計算したバウシinger 係数 $B_{0.5}$, $\sigma_{3.0 \text{ diff}}$ を図7に示す。いずれも予ひずみの対数値に対して直線関係が認められる。このことは、予ひずみが与えられると0.5%および3.0%での応力値を求めることができ、これらの2点から適当な函数形を仮定すると、バウシinger 効果が生ずる場合の応力-ひずみ曲線を求め

図6 バウシinger 効果係数の定義
($B_{0.5}$, $\sigma_{3.0 \text{ diff}}$). 図7 バウシinger 効果係数 ($B_{0.5}$, $\sigma_{3.0 \text{ diff}}$).

① X 42, ② X 60, ③ X 80 ① SGP, ② 5 LB, ③ X 52

図8 各種材料のバウシinger 効果係数 ($B_{0.5}$).

得ることを示している。

各種の鋼板およびコイルについて求めたバウシinger 係数 $B_{0.5}$ を図8に示す。全般に強度レベルが高くなるほど $B_{0.5}$ は小さくなり、バウシinger 効果が顕著になることを示している。このバウシinger 効果の大きさを支配している要因としては、予ひずみの大きさ以外に材料の強度特性(YS, TS, 加工硬化指数, 降伏伸び), 組織, 圧延・熱処理条件, 結晶粒度, 転位密度, セル構造, 析出物の形態・量・分布状態などが考えられるが、バウシinger 効果の大きさはこれらの要因をすべて包含したものとして材料の強度レベルで概略推定し得るようである。

(ii) 方向の異なる予ひずみが2回以上の場合

バウシinger 効果を繰返し受ける場合については図9

に示す相当ひずみ ϵ_{eq} を定義し、図 10 に示すごとく無ひずみ材の応力-ひずみ曲線を ϵ_{eq} だけ平行移動したものを基準に採れば、バウシinger効果が1回のみの場合と全く同様に定量的取扱いが可能である。相当ひずみ ϵ_{eq} とは各種のひずみ履歴を受けた材料が無ひずみ材の場合と比較してどの程度まで加工硬化しているかを示すものであり、いろいろの特性値について重回帰分析を行った結果、各種の材料・予ひずみの組合せについて精度良く適用可能なものとして図 9 に示すような塑性変形による仕事量が得られた。これから求められた相当ひずみ ϵ_{eq} を用いれば図 10 に示すごとく、遷移領域・定常領域のバウシinger係数 $B_{0.5}$ 、 $\sigma_{3.0 \text{ diff}}$ は図 6 に示したバウシinger効果が一回のみの場合と同一の函数形で取扱えるのみならず、これで定義されたバウシinger係数 $B_{0.5}$ は図 11 に示すように繰返し予ひずみの回数によらずほぼ同一の値を示す。このことは式(1)(2)で定義されたバウシinger係数は材料の変形に対する異方性の程度を表わす尺度としてかなり普遍的なものであり、かつバウシinger効果はその直前の予ひずみに大きく支配されることを意味している。

図 9 方向の異なる予ひずみを与えた場合の相当ひずみ (ϵ_{eq})。

図 10 方向の異なる予ひずみを与えた場合のバウシinger効果係数の定義 ($B_{0.5}$ 、 $\sigma_{3.0 \text{ diff}}$)。

図 11 方向の異なる予ひずみを繰返し与えた場合のバウシinger効果係数 ($B_{0.5}$)。

(2) 大径溶接鋼管の強度解析

前節で述べた遷移領域・定常領域におけるバウシinger効果係数 $B_{0.5}$ 、 $\sigma_{3.0 \text{ diff}}$ 、および応力の方向が異なる予ひずみを繰返し受けた場合の材料の加工硬化の程度を示す相当ひずみ ϵ_{eq} を用いれば、任意の予ひずみを与えた場合の0.5、3.0%ひずみでの応力をかなりの精度で求めることができる。各種の材料についてコンピューターにより標準偏差を求めたところ Standard deviation : σ は 0.9 kg/mm^2 であった。これら2点が求められると、函数形を適当に選択すれば、応力-ひずみ曲線を求めることができる。図 12 に引張から始まってバウシinger効果を繰返し与えた場合の計算値と実測値をプロットして示してあるが、かなり良好な一致を示しており、実測値と計算値の Standard deviation : σ は 2.8 kg/mm^2 であった。

これらの応力-ひずみ曲線を用いて次のような均等曲げの仮定のもとで、鋼板から鋼管、さらに鋼管引張試験の各工程における YS の変化を求めた。

- 横断面は曲げ加工中平面を保持し縦繊維に直交する。
- 横断面の形状寸法は曲げ過程中変化しない。

図 12 方向の異なる予ひずみを繰返し与えた場合の応力-ひずみ曲線(実験点と計算値の比較)。

- (c) 板厚の縦繊維間には剪断力は生じない。
- (d) 各繊維の垂直応力とひずみの関係は、単純引張・単純圧縮の応力とひずみの関係に一致する。

なお、各工程でのひずみ履歴は図 1 に示した模式図において、たとえば UOE 鋼管の場合はその板厚と外径の比 t/D および O プレスでの圧縮率、エキスパンダーでの拡張率により決定される。

このような手法により計算で求めた各工程での YS は、工場生産における種々の材料、造管寸法・形状のもとでの YS の変化を非常によく近似しうるものであり品質管理の基準を明確にすることができる。

(3) 鋼管の引張試験法の検討

鋼管に内圧が作用した場合に発生する応力は、円周方向応力が軸方向のほぼ 2 倍に近いために、大径管では海底管の場合のようにパイプライン敷設時に軸方向に大きな荷重が作用する特殊な例を除いて、通常引張試験は円周方向で実施される。この場合は試験片に曲げ戻しによる塑性変形が与えられるために、鋼管が本来有している内圧に対する強度とは全く異った値を示すことになる。このことは図 3 に示したように、強度レベルが高くなる程矯正に起因する管厚内面側の加工硬化よりも、管厚外面側のバウシinger 効果の影響が大きくなり、両者の差が大きくなる。

この矯正による塑性変形の影響の他、鋼管は管厚方向で製管による加工量異なることによる強度分布などにより、つぎに述べるような特殊な試験方法のもとでは異った YS を示し、これらを詳細に検討することにより鋼管の強度の諸特性を良く理解することができる。つぎに各種の試験法の紹介とそれから求められる YS の比較を示す。

(a) 通常試験

本来鋼管が有している内圧強度(これをパイプの真の強度と見做し以下 σ_T と略す)に管厚内面側の加工硬化による YS の上昇と外面側のバウシinger 効果による YS の低下を重畳させたものである。(48.7 kg/mm²)

(b) リング・エキスパンション・テスト

鋼管の σ_T を求める試験法であり ASTM A 370 に規定されている。当社で使用している試験機を写真 5 に示す。本試験機の原理は図 13 に示すごとく、内圧により Ring を変形させ、圧力と Ring の円周方向伸びから YS を求めるものである。(54.7 kg/mm²)

(c) フープ・テンション・テスター

リング・エキスパンション・テスターは現在 σ_T を求める唯一のオーソライズされた試験法であるが、工業試験としては設備・能率面で問題がある。そこでパイプ試験材を曲げ戻さないで弧状のまま引張試験を行う試験機

が考えられる。この機構を図 14 および写真 6 に示す。しかし、この試験では試験片と取付台の間に摩擦が生ず

写真 5 リング・エキスパンション・テスター。

図 13 リング・エキスパンション・テスター原理図。

図 14 フープ・テンション・テスター原理図。

写真 6 フープ・テンション・テスター。

るために σ_T より若干高い値を示すという問題がある。(56.6 kg/mm²)

(d) 丸棒削り出し引張試験

図 15 に示すごとく鋼管を矯正しないで曲率部から丸棒試片を削り出すものである。鋼管の場合一般に管厚の表層に近い方が塑性変形量が大きく、したがって加工硬化の差により管厚方向で強度が異なり、管厚中心部が最も低い YS を示す。したがって丸棒削り出し試片の場合は若干 σ_T よりも低い値を示すが、安全サイドでありしかも簡便であるため、 σ_T を求める方法としては非常に有効なものである。(54.0 kg/mm²)

図 15 丸棒削り出し引張試験。

(e) 1/2 管厚引張試験

試験片矯正後に図 16 に示すごとく管厚外面側のみあるいは内面側のみを削除すれば、加工硬化およびバウシinger効果の個々の影響を明確にすることができる。

(内面側：66.1 kg/mm²，外面側：43.9 kg/mm²)

図 16 1/2 管厚引張試験。

(f) 低温熱処理

バウシinger効果は短時間低温熱処理により消失するため、試験片を矯正後例えば 250℃ で 5 分間保持後放冷の熱処理を行なうと、それから得られる YS は σ_T にほぼ近いものが得られる。これは一種の Aging の促進であり、Mobile Dislocation の Trapping により説明されるが、厳密に言えば冶金的な変化を起しているために σ_T を求める方法としては問題がある。(53.8 kg/mm²)

(4) X線回折による考察

近年 X 線回折は金属材料の結晶組織の変化検出に広く応用されており、残留応力測定、集合組織の観察等に実用化されている。また材料が塑性変形を受けた場合は回折線はひろがりを示し、塑性変形の程度を半価幅の変化で定性的に捕えることができる。この回折線のひろがりに対する理論的考察はいろいろとなされているが、現在のところひずみの場所的不均一が主たる原因ではないかとの説が有力である⁽⁴²⁾。

たとえば、塑性疲労における 1 サイクル中での半価幅の変化を調べたところ、圧縮から引張あるいは引張から圧縮に応力の方向が変化した直後において、半価幅が一時減少し材料が軟化していることが報告されている⁽⁴³⁾。また、マイクロビッカースの硬度測定においても同様に一時軟化現象がみとめられることが報告されている⁽²⁴⁾⁽⁴³⁾。

以上の考えにもとづき、X 線回折によりバウシinger効果を観察した結果について述べる。

(i) 半価幅による観察

図 17 に供試材のひずみ履歴を示すが、6 本の試験片にある一定の圧縮の塑性ひずみを与え (A 点)、その内 5 本を順次逆方向 (引張) に 0.25~3.0% の塑性変形を与えた (B~F 点) ものである。また X 線回折の設定条件を表 1 に示す。これら A~F 点で示した 6 組、圧縮予ひずみ 3 レベル計 18 個の試材について回折強度曲線を採り、そのプロファイルを解折して得られる積分幅⁽⁴⁴⁾ (半価幅に対応するもの) を求めた。

図 17 供試材ひずみ履歴。

表 1 X線回折条件。

装 置		島津 VD-1
回折機	面線	(2.2.0)
特性 X 線	圧電	Co-Kα
管電圧 (kV)	管電圧 (mA)	Fe 35
ダイバージェンススリット幅 (mm)	スキャタリングスリット幅 (mm)	8 2.00
スキャタリングスリット幅 (mm)	レーシーピングスリット幅 (mm)	1.00
レーシーピングスリット幅 (mm)	スキャン速度 (deg/min)	0.30
スキャン速度 (deg/min)	チャート速度 (mm/min)	1/4
チャート速度 (mm/min)	測定速度 (mm/min)	20
測定速度 (mm/min)	測定時間 (sec)	10

図 18 に横軸の予ひずみを残留塑性ひずみで採り、縦軸に積分幅の変化を示しているが、圧縮から引張に変形の方法を変化させた直後すなわちバウシinger効果の遷移領域 (図 17 の B, C 点) で積分幅が一時減少しており、材料が軟化していることを示している。この遷移軟化の領域を経た後は材料は塑性変形量にほぼ比例して積分幅が増加しており、単純引張の増加率とほぼ一致している。

図 18 予ひずみが積分幅に及ぼす影響.

(ii) 塑性ひずみパラメーター P 値による観察

X線回折のプロファイルの Line Broadening から塑性ひずみ量を推定する方法として、図 19 に示した塑性ひずみのパラメーター P 値を採用する場合があります、調質圧延材のひずみ測定などに利用されている⁽⁴⁵⁾。

バウシinger 効果の大きさを支配するものとして各種の因子が考えられるが、それらを包含したものとして強度でほぼ推定しうることをすでに述べた。しかし近年ラインパイプ用素材に用いられる厚鋼板のコントロール・ローリングの技術的進歩と相伴って、従来の強度その他の要因のみでは必ずしも明快に説明し得ないことが多く、塑性ひずみのパラメーター P 値とバウシinger 効果の大きさとの相関を調査した。

塑性ひずみのパラメーター P 値は図 19 に示すごとく $K_{\alpha 1}$ の最大強度から、バックグラウンド値を引いた値を I_{max} とし、また $K_{\alpha 1}$ と $K_{\alpha 2}$ の間にある極小部の強度からバックグラウンド値を引いた値を I_{min} とし

$P = I_{min}/I_{max}$ で定義したものである。

ほぼ類似した成分系数種および圧延条件を変えたものについて、この P 値とバウシinger 効果係数 $B_{1.0}$ の関係を示したものが図 20 であり、残留塑性ひずみが大き

図 19 塑性ひずみパラメーター P 値.

† 未発表、50 年春期鉄鋼協会に発表予定。

いほどバウシinger 効果が顕著になることを示している†。

これら P 値に及ぼす要因を検討することによりバウシinger 効果のメカニズムについてさらに詳細な検討が可能であり、また大径溶接鋼管において大きな問題であるバウシinger 効果を素材の製造条件から考察することができる。

図 20 塑性ひずみパラメーター P 値とバウシinger 効果係数 $B_{1.0}$ の関係.

4. あとがき

大径溶接鋼管に問題を限れば、品質管理・品質保証の上でバウシinger 効果は影響が大きく、非常に精度良く定量的推定を行う必要がある。バウシinger 効果に関する研究は近年各方面で活発に行なわれているが、大径溶接鋼管の製造プロセスに適用しうるものはない。したがって、ここではとくに工業の見地から、パイプ素材である実用材料について、まず応力方向の異なる予ひずみを繰返し与えた場合の単軸試験から応力-ひずみ曲線を一般式で求め、次いで均等曲げ理論を適用して鋼管の各プロセスでの応力計算を行なえることを示し、問題解決を試みた例を紹介した。

文 献

- (1) J. Bauschinger : *Civiling* N.F., **27**(1881), 289.
- (2) E. Heyn : *J. Inst. Metals*, **12**(1914), 3.
- (3) C. Zener : *Elasticity and Anelasticity of Metals*, University of Chicago Press, (1948).
- (4) H. Schwartzbart, M.H. Jones and W.F. Brown : *Observations on Bauschinger Effect in Copper and Brass*, NACA Research Memorandum, E 51 D 13, (1951).
- (5) R.G. Treuting : *Residual Stress Measurements*, ASM, (1952).
- (6) G. Sachs and H. Shoji : *Z. Phys.*, **45**(1927), 776.
- (7) S.N. Buckley and K.M. Entwistle : *Acta Met.*, **4**(1956), 352.
- (8) P.B. Hirsch : *Dislocations and Mechanical Properties of Crystals*, (1957), 92.

- (9) E.Orowan: *Internal Stress and Fatigue in Metals*, Elsevier, (1958), 59.
- (10) J.C.M.Li: *Acta Met.*, **18** (1970), 1099.
- (11) A.Seeger: *Dislocation and Mechanical Properties of Crystals*, Jhon Wiley, (1957), 243.
- (12) T.M.Elsesser, O.M.Sidebottom and H.T.Corten: *Trans.ASME*, **11** (1952), 1291.
- (13) R.L.Wooley: *The Philosophical Magazine Series No.7*, **44** (1953), 597.
- (14) C. H. Wells: *Journal of Basic Engineering*, *Trans.ASME*, (1967).
- (15) 熊倉重典: 日本機械学会誌, **70** (1967), 1287.
- (16) 五弓勇雄, 岸 輝雄: 塑性と加工, **10** (1969), 863.
- (17) R.V.Milligan: *The Bauschinger Effect in a Series of Ni-Co Alloys*, BENET R & E Labo., (1971).
- (18) T.C.Harrison, R.T.Weiner and G.D.Fearneough: *J.Iron Steel Inst.*, May, (1972), 334.
- (19) G.Welter: *Dynamic Torsion of Metals and Alloys Used in Aircraft Construction*, Metallurgica (1949), Part 1 p.188, Part 2 p.253, Part 3 p.313.
- (20) R.V.Milligan, W.H.Koo and T.E.Davidson: *Trans.ASME*, June., (1966), 480.
- (21) R.M.Jamieson and J.E.Hood: *J.Iron Steel Inst.*, January, (1971), 46.
- (22) W.Jäniche, E.Stolte and J.Kügler: *Techn. Mitt. Krupp*, **23** (1965), 117.
- (23) 加藤健三, 斎藤好弘, 藤田米章: 第21回塑性加工連合講演会, (1970).
- (24) 五弓勇雄, 岸 輝雄: 塑性と加工, **10** (1969), 863.
- (25) 五弓勇雄, 岸 輝雄, 和田 光: 金属学会誌, **34** (1970), 154.
- (26) F.Garofalo and J.R.Low, Jr.: *J.Mech. Phys. Solids*, **3** (1955), 275.
- (27) 福田 実: 塑性と加工, **7** (1966), 349.
- (28) 白鳥英亮, 池上皓三: 日本機械学会論文集, **34** (1968), 850.
- (29) S.T.Rolfe, R.P.Haak and J.H.Gross: *Trans. ASME*, September, (1968), 403.
- (30) 五弓勇雄, 岸 輝雄: 金属学会誌, **34** (1970), 161.
- (31) 林 郁彦: 塑性と加工, **11** (1970).
- (32) 戸沢康壽: バウシinger効果によって生ずる実用上の問題点シンポジウム予稿集, 金属学会, (1971), 13.
- (33) 浜田 実, 田中正隆: 日本機械学会論文集, **38** (1972), 36.
- (34) 岡村弘之: 高圧力, **3** (1965), 470.
- (35) G.Sachs and J.D.Lubahn: *National Defense Research Committee Report*, Serial NO M382, (1944).
- (36) 益田森治: 薄板の曲げ加工, 誠文堂新光社, (1962).
- (37) H.C.Cotton and B.J.Thomas: *ISI P-135 Conference*, (1970), 12.
- (38) G.M.Lees and R.T.Weiner: *13th Mechanical Working and Steel Processing Conference*, AIME, (1971).
- (39) W.A.Maxey: *Pipe Yield Strength Measurements*, Battelle Memorial Institute, (1969).
- (40) 長谷部茂雄, 大塚健純, 北川善康: 鉄と鋼, **56** (1970), 118.
- (41) 平 忠明, 大須賀立美, 石田康勝: *Mechanica Working and Steel Processing Committee AIME*, (1973), 33.
- (42) A.R.Stokes and A.J.C.Wilson: *Proc.Phys. Soc.*, **56** (1944).
- (43) 平 修士, 後藤 徹: 第9回X線材料強度に関する討論会予稿集, 日本材料学会, (1970).
- (44) R.A.Rachinger: *J.Sci. Instr.*, **25** (1948).
- (45) 白岩俊男, 寺崎富久長: 住友金属, **23** (1971).

新 刊 案 内

Dictionary of Metallurgy (in six languages)

(六カ国語対照 金属辞典)

今 井 勇之進 他編

英・独・仏・露・西・日の6カ国語対訳の金属工学用語辞典がはじめて刊行された。特定分野に偏らずに英語のアルファベット順に約8,000語を収録し、それぞれに他国語の対訳をつけると同時に、巻末に約400頁をさいて各国語による索引を付けている。すなわち上記6カ国語の何れからでも対応語を探せる仕組みになっている。その「まえがき」に述べているごとく、「近年世界各国が工業立国を志向し、これ等の国々に於て刊行される論文誌、単行本の数も年々増加が著しい。しかも情報化の時代とあって地球の総てが隣国の

如き、時には隣家の如くなって来た。従って Dictionary of Metallurgy も2カ国語間のものでは不便な場合が多く」になっている現時点で、英独仏以外に高い工業水準を持つソビエト圏や、近年進展著しい中南米圏への情報疎通の端緒を拓いた意義は大きい。わが国の金属工学関係者は勿論のこと、諸外国においてもこのまま利用し得る体裁をとっている。また辞典としてではなく、読物的に各国語を比較してみるのも面白い。ただ各国語それぞれ1:1の対応羅列なので、もっと詳しく知りたい向きには普通の2カ国語の辞書を併用する必要がある。これらは参考文献として紹介されている。編集者が断わっているように、勿論完全とは言い難く、慙を言えばかりがない。しかし1967年以來編集に取組んだ委員、幹事諸氏の並々ならぬ御苦勞に心からの敬意を表すると同時に、今後機会あるごとに改訂増補が行われ、世界の辞典として成長することを祈念したい。

(O.I.)

[A5判 1200頁 1974年 定価 13,000円(〒400円) 鉄鋼新聞社]