Osaka University Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 金属材料における脆性と延性 |
| Author(s) | 佐治, 重興 |
| Citation | 大阪大学低温センターだより. 1980, 31, p. 5-7 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/6674 |
| rights | |
| Note | |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

# 金属材料の低温における脆性と延性

工学部　佐 治 重 興（吹 田 4450）

エネルギー問題が世間の話題にのぼる昨今であり，今後，核融合炉，ＭＨＤ発電，磁気浮上高速鉄道などの開発と実用化が進められるにつれ，超電導材料をはじめ，各種構造用材，配管材，低温用弁の部品材など種々の用途に適した低温用材料への要求が高まるであろう。金属材料はその優れた延性（靱性）と強度の故にとくに重要である。低温になると脆化する金属材料もあるが，一部の金属材料では低温になるほど延性（靱性）と強度がともに向上する。

普通鋼（炭素鋼）はおよそ−50℃ 以下で，殆んど伸びずに不安定な脆性破壊をする。鉄鋼に限らずタンダステン，モリブデン，クロムなど体心立方格子の結晶構造を有する金属や合金は一般に低温脆性を示す。脆性破壊の過程は応力集中による微小亀裂の形成とその伝播であり，破壊はへき開および結晶粒界で起る。一方，銅，ニッケル，アルミニウム，ステンレス鋼など，面心立方格子を有する金属は極低温でもある程度伸びて安定な延性破壊をする。

図１に体心立方金属の延性−脆性遷移曲線の例を示す。遷移温度域では延性破面と脆性破面が混在する。遷移温度は金属の種類，合金元素や不純物の種類と量，結晶粒の大きさ，予歪量構成組織，切欠の有無，変形速度などによって異る。酸素，炭素，窒素などの元素はごく微量でも遷移温度に大きい影響をおよぼす。Rees ら[2]は純鉄中の酸素量がおよそ0.0003wt％以上になるとシャルピー衝撃遷移温度が急激に高くなることを示した。純鉄中の酸素は結晶粒界に偏析して粒界破壊を促進するとされているが，共存する炭素や窒素の影響との関連については必ずしも明らかでない。すなわち，粒界に偏析した炭素や窒素は粒界の凝集力を強めて脆化を抑制するとの考え方やそれを支持する実験報告もある。[3][4] また，炭素量（＞0.02wt％）や窒素量（＞0.04wt％）が増えると炭化物や窒化物の数が増してへき開破壊が起り易くなって脆化する。帯域溶融法でとくに精製された純モリブデンや純鉄は液体ヘリウム温度附近でかなりの延性を示す。図２は純鉄についての最近

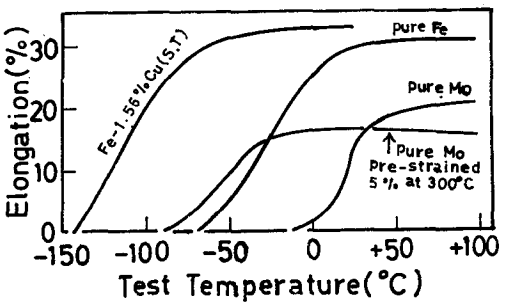


図１ Ductile-brittle transition curves[1]

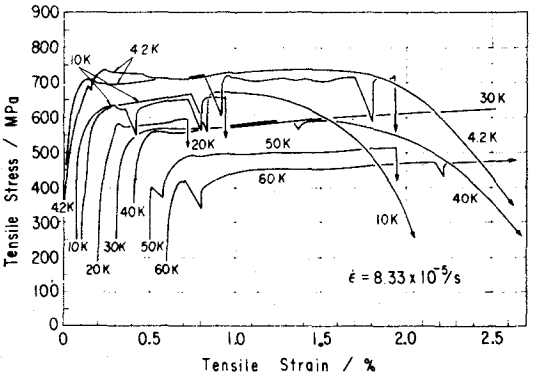


図２ Stress-strain curves of pure iron ($RRR_H \simeq 3600$) at temperature below 60 K. The origin of the tensile strain is shifted for clarity.[5]

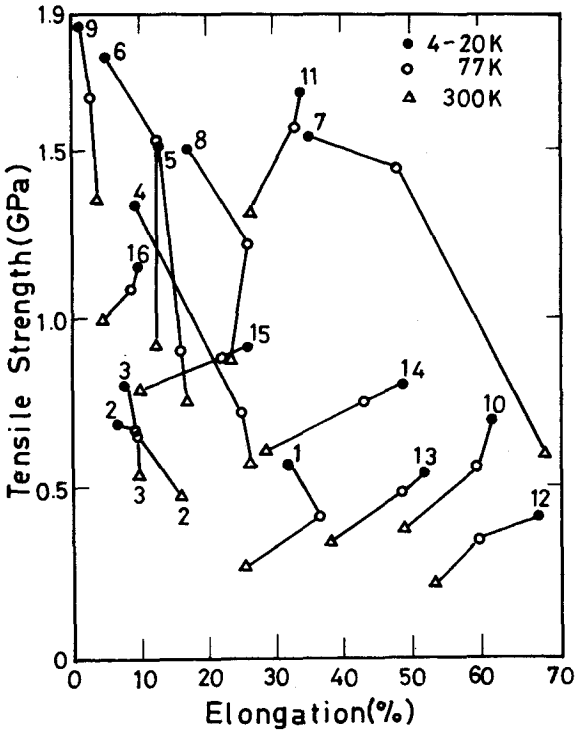


図 3. Relationships between tensile strength and elongation for the various metals at low temperature

1 Al alloy 5083-O
2 Al alloy 2024- T4
3 Al alloy 7075- T6
4 Pure titanium
5 Ti-5 Al-2.5 Sn (ELI)
6 Ti-6 Al-4 V (ELI)
7 SUS 304(annealed)
8 9% Ni steel 2800
9 18% Ni maraging steel
10 Pure nickel
11 Inconel X
12 O.F.H.C. copper
13 10% cupro-nickel
14 Cu-4% Ti alloy (as quenched)
15 Cu-4% Ti alloy (aged)
16 Cu-4% Ti alloy (60%roll+aged)

(1-13: from Cryogenic Materials Data Handbook)
(14-16: present work; SAJI, OGAWA, HORI)

の結果である。

実用材料では延性破壊を示す場合でも伸びの値が実用上必要な大きさをもたねばならない。各種の低温用金属材料について，4～20K，77Kおよび300Kにおける引張強さと破断伸びとの関係をプロットすると図3のようになった。試料番号1～13はCryogenic Materials Data Handbook中のデータからのリプロットであり，14～16は筆者らの実験結果である。図から次のことが分る。常温において，高い引張強さを示す材料は概して伸びが小さく，伸びの大きい材料の引張強さは概して低い。また，低温になるほど，各種材料の強さは程度の差はあっても高くなっている。これは結晶中に存在し，変形をもたらす「転位」の動きが低温では鈍くなるためである。他方，低温での伸びは次の3グループに大別できる。

(1) 温度の低下とともに連続的に増大する。
(2) 温度の低下とともに連続的に減少する。
(3) 液体窒素温度附近までは増大するが，それ以下の温度では減少する。

銅やニッケルおよびその合金には(1)グループに属するものが多く，チタンやその合金，高力アルミ合金，ステンレス鋼などには(2)グループに属するものが多い。

筆者らが研究を進めているCu-Ti合金は比較的新しく開発された優れた強靱性をもつ高力銅合金の一つである。これまで本合金の加工熱処理による強化に関する基礎研究[6]を進めてきたが，今回，常温における優れた強度と靱性が低温ではともに向上することが明らかになった。

延性破壊の場合，くびれ発生までの均一変形が長く続くほど大きい伸びを示す。均一変形が続くためには，(1)式で近似される真応力($\sigma$)－真歪($\varepsilon$)曲線の加工硬化率nの値が大きいことが重要である。

$$\sigma = A(B+\varepsilon)^n \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで，A，Bは定数，nは応力や歪に関係しない一定数となる場合もあるが，一般には歪区間によって変る。加工硬化率は材料の集合組織，粒界や析出物など転位の動きを拘束する種々の障害物，積層欠陥エネルギー，変形双晶などの影響を受けるが，一般に温度が下がると大きくなる。したがって，温度の低下による伸びの増大は理解し易い。伸びの減少の見られる場合には応力集中による脆性的破壊の発生が関係していることが多い。

低温における延性のより完全な理解には，低温変形における加工硬化現象と応力集中に注目した多くの研究が必要と思われる。なお，第3図中の筆者らの結果は大阪大学低温センター吹田分室のインストロン試験機および連続フロー・クライオスタットを用いて得られたことを付記します。

## 参考文献


1) 堀　茂徳，佐治重興，大谷三郎，村瀬光俊
日本金属学会誌 37 (1973)，88.

2) W.R.Rees and B.E. Hopkins
J.Iron Steel Inst. 169 (1951)，157.

3) 本多龍吉
日本金属学会会報 7 (1968)，725.

4) 堀　茂徳，鈴木雅則，雲丹亀泰和
日本金属学会誌 44 (1980)，138.

5) H.Matsui，S.Moriya，S.Takaki and H.Kimura
Trans. JIM 19 (1978)，163.

6) 例えば，S.Saji and E.Hornbogen
Z.Metallkunde 69 (1978)，741.