

- No.1 (昭 33—1), p. 9~14
- 2) 守川, 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 44, No.8 (昭 33—8), p. 872~880
- 3) 守川, 小野寺, 荒木田: 鉄と鋼, 44, No.11 (昭 33—11), p. 1259~1265
- 4) 下田秀夫, 小野寺真作, 徳田 昭: “大型鋼材の変態特性(I), (II)”, 日本金属学会講演大会にて発表, 昭和 32 年 10 月 (戸畑) および昭和33年 4 月 (東京)
- 5) R. Castaing, J. Philibert & C. Crussard: J. Metals, April 1957, p. 389~394
- 6) 7th Rep. Heterogeneity Committee, Iron & Steel Inst., Special Report No.16 (1937), p. 1~14
- 7) 河合正吉: 鉄と鋼, 41 (1955) No.8, p. 854~857; No.10, p. 1090~1092; No.11, p. 1172
- ~1174; No.12, p. 1233~1236; 同 42 (1956), No.1, p. 14~18, p. 19~22; No.2, p.85~88 p. 89~93; No.4 p. 301~306; No.5 p. 383~391
- 8) E. Marburg: J. Metals, Feb. 1953, p. 157~172
- 9) B. Gray: J. Iron & Steel Inst., Vol. 182, Part 4, (April 1956), p. 366~374
- 10) 例えば A. Hayes & J. Chipman: Trans. AIME Vol. 135 (1939), Iron Steel Div., p. 85~132
- 11) C. Wagner: J. Metals, Feb. 1954, p. 154~160
- 12) M. Ballay: Rev. de Mét., XXV (1928), p. 427 et p. 509
- 13) A. W. Porter: Trans. Faraday Soc., 23 (1927) p. 314~316

Timken 16-25-6 の引張り性, 曲げ性と鑄造組織との関係*

(無変態合金鑄塊の鍛造性について—II)

山根 寿 巳**・美馬 源次郎***

Relationship between High-Temperature Tensionability and Bendability of as-Cast Structures of Timken 16-25-6

(Forgeability of transformation-free alloy ingots—II)

Toshimi Yamane, and Genjiro Mima

Synopsis:

In the first report, entitled “Forgeability of Transformation-free Alloy Ingots (I)” the authors reported the relationship between the forgeability and as-cast structures, which are a granular structure and columnar one, For the purpose of the auxiliary experiments of the first report, by both impact and static tensile tests and bending tests at high temperature the relationship between tensionability, bendability of as-cast structures of Timken 16-25-6 were studied.

The direction of the tensile stress was parallel to the long axial direction of a columnar (longitudinal), and vertical to it (transversal). Bending directions of the columnar structure were bending stress applies to bend the columnar axis (longitudinal) and applies to does not bend the columnar axis (transversal). Both experiments were performed dynamic and static.

The results were as follows:

(1) The best elongation is obtained in the case of stress is applied to the longitudinal direction and next, the granular structure, the least elongation is obtained when the stress is applied to transversal, in the tensile test.

In the bending test, the best elongation is obtained in the transversal direction, and next, the granular structure, the least elongation is obtained in the longitudinal.

The easy crack forming case is stresses that applied to separate the boundaries of columnar. The static test shows better elongation than dynamic one, in the both experiments.

(3) Working energies until specimens broken, are most in the granular structure, next,

* 昭和 33 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 大阪大学工学研究科大学院学生, 工修

*** 大阪大学工学部, 工博

the transversal columnar one and least in the longitudinal, in the tensile test but in the bending test the ordering of the transversal and longitudinal is reversible.

(4) Cracks are formed in grain boundaries and developed along them.

The practical application of this study is in the case of the forging of a three-wings ingot. It must be forged as far as possible as to avoid the direction parallel to the columnar axis.

In the last, the authors discussed the difference of the working resistances of cast structures of the behaviors of crackings owing to cast structures.

I. 緒 言

前報において、Timken 16-25-6 の鍛造性と鑄造組織の関係を材料学的な立場から、池島氏が鍛造実験に使用した¹⁾磁石をハンマーに取り付け、感応コイルに誘導される感応電流が加工速度に比例することを利用する装置により、応力-歪曲線をえて、鑄造組織である柱状晶の長軸と平行に鍛造した場合、柱状晶軸と垂直に鍛造した場合、粒状晶を鍛造する場合につき、また静的に同様組織を高温で圧縮した時に現われる種々な違いについて調べた。それらの結果、割れについては柱状晶を長軸方向に平行に圧縮した場合が最もわれやすく、次に粒状晶、柱状晶軸に垂直に圧縮した順に割れが発生しにくかった。本報においては、鍛造において現われるこれらの結果を確認する補助実験として、高温衝撃引張り試験、高温衝撃曲げ試験、および高温静的引張り試験、高温静的曲げ試験を柱状組織、粒状組織について行ない、それらの間に現われる色々な現象の違いを調べた。かくして材料学的な立場からの鍛造性に対する鍛造組織との関係をえた。

II. 実験試料および試験片

第II報において使用したと同じ Timken 16-25-6 の鑄塊より、柱状晶組織と粒状晶組織を出来るだけ接近した個所から切り出した。鑄塊の分析結果は Table 1 の通りである。

引張り試験片は静的、動的試験共に Fig. 1 (a) に示すような形、寸法で柱状晶組織については、引張り方向と柱状晶長軸方向が平行な場合（縦方向引張り）と以下言

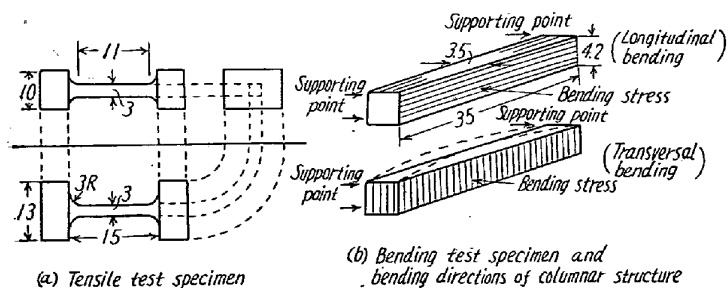


Fig. 1. Tensile and bending tests specimens (unit mm)

Table 1. Chemical analysis of the sample (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.15	0.95	1.94	0.024	0.026	25.57	16.22	6.00

う。引張り方向と柱状晶長軸が垂直な場合（横方向引張り）について高温試験を行った。高温曲げ試験片は Fig. 1 (b) に示すようなもので、柱状晶試験片は柱状晶長軸に曲げ応力がかかる方向（横曲げと言うことにし Fig. 1 (b) の上の図）と、柱状晶長軸に曲げ応力がかからない方向（縦曲げと言う、Fig. 1 (b) 下の図）の曲げ試験を行った。

III. 実験装置および方法

高温静的引張り試験装置は Fig. 2 (a) のようなチャックに試験片をおき、ニクロム線炉の中で 600, 800, 900, 1000°C の所定温度に加熱し、100% の伸びに 10 分間となる割合で荷重を加えて行つた。引張り試験機は Dension社製で錘をアームの上を滑らすことにより機械的に荷重を加えて行き最大荷重 1000lb のものを使用した。高温静的曲げ試験装置は Fig. 2 (b) に示すようなチャックに試験片をとりつけ、炉の中で、600, 800, 900, 1000°C に加熱し、静的引張り試験と同じ割合で荷重を加えながら、静的引張り試験の時と同じ引張り試験機で高温静的曲げ試験を行つた。高温衝撃引張り試験は 200 kg·m の能力のあるアイゾット試験機を改良して、Fig. 3 のごとき²⁾チャックを作り、Eなる中空の個所に加熱炉から試料を取り出して入れ、出来るだけ速くアイゾットハンマーにてHをおすことにより衝撃引張り力を試験片に加えた。高温衝撃曲げ試験は 160 kg·m のシャルピー試験機に高温静的曲げ試験の支点と同じ長さの支点を有する試験をおくセットを作り、加熱炉より所定温度に加熱した試験片をとり出してセットにおき、速やかにハンマーで曲げ応力を加えた。衝撃試験の場合は両試験共に試験片を炉より取り出し後の温度降下を測定しておき補正をした。

引張り試験片には 13mm を標準とした標点をうち曲げ試験片には曲げの中央をはさんで 4.5mm を標

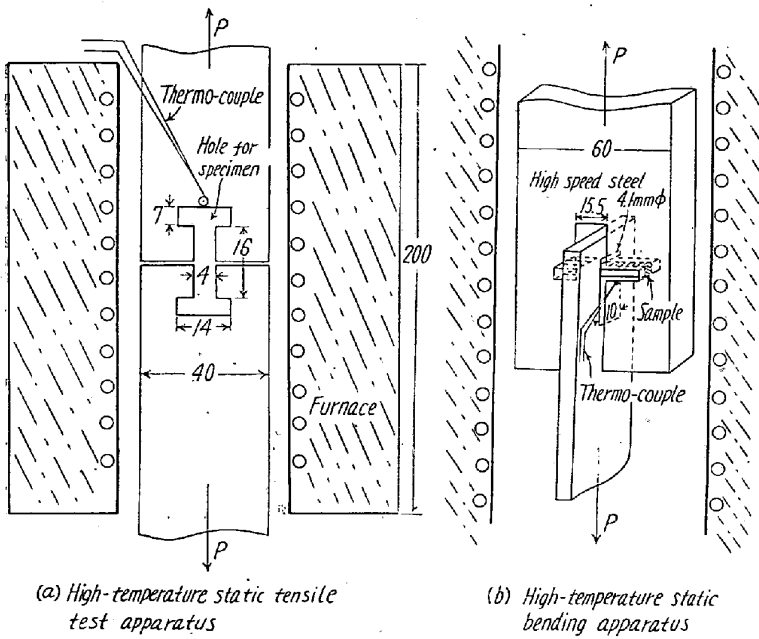


Fig. 2. Testing apparatuses of static tension and bending.

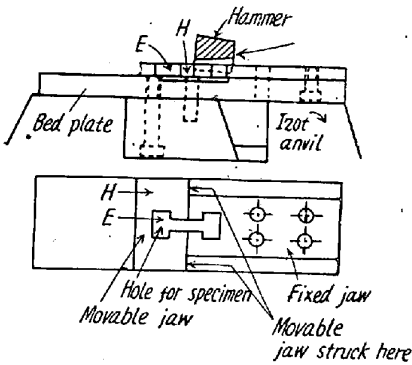


Fig. 3. Impact tensile test apparatus²⁾

準とした標点をうち1/100mm精度のコンパレータを使用して割れの入っている部分の長さを差し引き、初めの標点距離と曲げ試験後の標点距離とにより伸びを求めた。

IV. 実験結果

1. 高温衝撃引張り試験

切断迄の引張り加工エネルギー、および伸びを縦軸にとり横軸に試験温度をとり図示すると Fig. 4 のようになる。切断迄の引張り加工エネルギーは加工温度が高くなるとほぼ直線的に低下しており鑄造組織による引張り加工エネルギーの差は加工温度が高くなるに従って小さくなっている。切断迄の引張り加工エネルギーは粒状組織の場合が一番多く必要とし、次いで柱状晶組織を縦に引張った場合、一番小さいのは柱状晶組織を横に引張った場合であった。伸びは良い方から柱状晶縦、粒状晶、柱状晶横の順であり、高温圧縮試験における静的および衝撃圧縮試験共に、圧縮率から見た場合割れの発生しにくいのは柱状晶横圧縮、次いで粒状晶、柱状晶縦圧縮が一番割れが発生しやすいという順序と比べて興味ある挙動を示している。

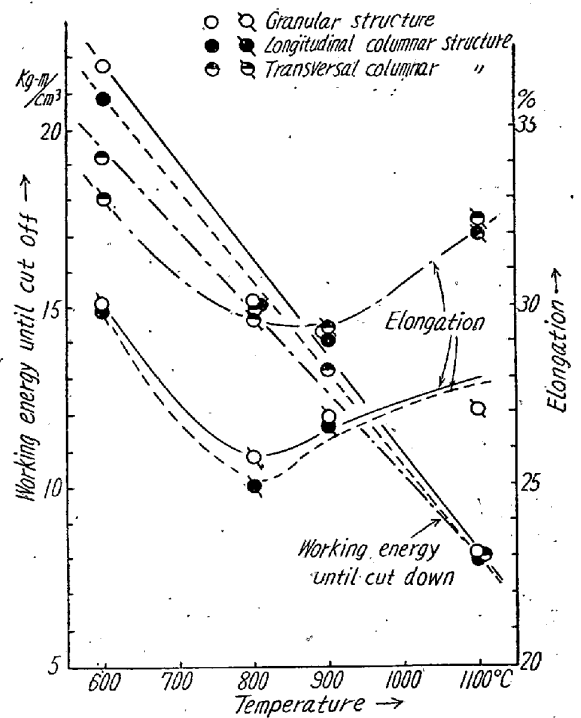


Fig. 4. Results of impact tensile test.

2. 高温静的引張り試験

600, 800, 900, 1100°Cにおける粒状晶組織、柱状晶縦、柱状晶横引張り試験に対する応力—歪曲線は Fig. 5 に示す通りである。いずれの試験温度においても初期勾配は粒状晶が一番大きく、次いで柱状晶横、一番小さいのは柱状晶を縦に引張った場合の順であり、抗張力、伸び、および切断までの引張り加工エネルギーを縦軸にとり横軸に引張り試験温度をとり各組織について示すと Fig. 6 のようになる。抗張力は大きい方から粒状晶、柱状晶縦、柱状晶横の順であり、伸びは柱状晶縦が一番良く、粒状晶、柱状晶横の順に少なくなっている。また切断

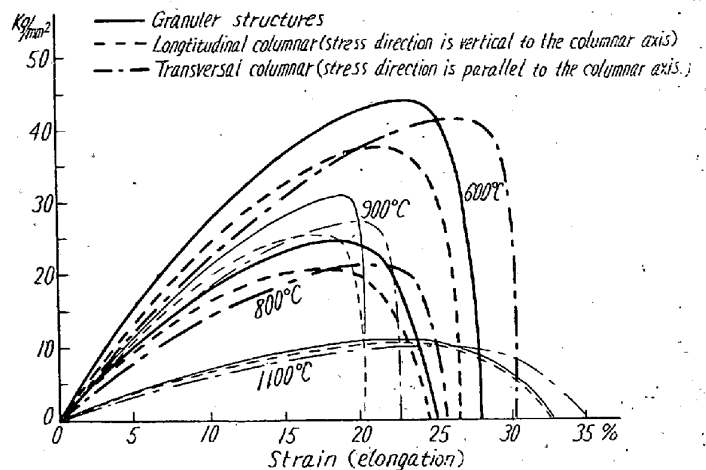


Fig. 5. Static tensile stress-strain curves at various temperatures.

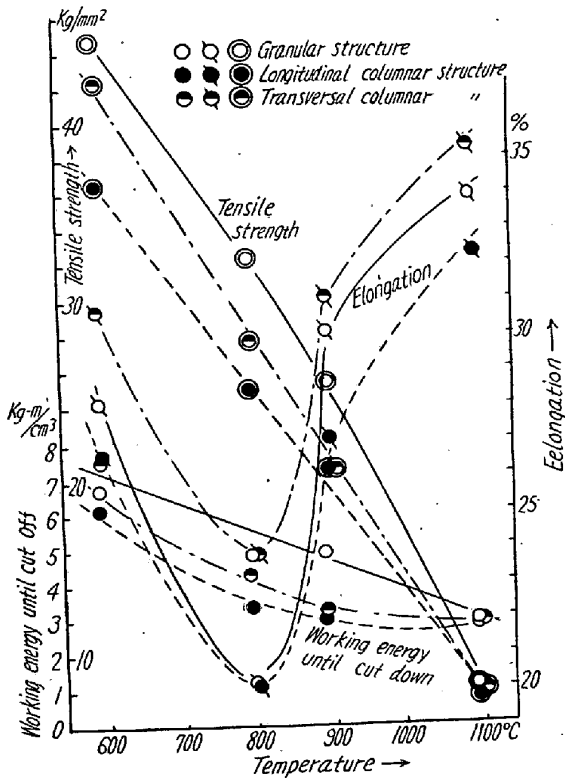


Fig. 6. Results of static tensile test.

迄の引張り加工エネルギーは高温衝撃引張り試験における場合と組織による違いの順位と同じであり、静的引張りの方が組織による伸び、切断迄の引張り加工エネルギーの違いは小さくなっている。

3. 高温衝撃曲げ試験

高温衝撃曲げ試験に対する結果をまとめて図示すると Fig. 7 のようになる。ここにおける曲げエネルギーとは装置図で示した曲げ試験用チャック（支点距離 15・5 mm その中央で両支点より反対側から曲げ応力をかける）で試験片を 180° 曲げるに必要なエネルギーである。曲げエネルギーを最も多く必要とするのは粒状晶、次いで柱状晶縦、柱状晶横組織の順であり、伸びの上では柱状晶横組織が最も良く、次いで粒状晶組織、柱状晶縦曲げの順に悪くなる。これは言葉を代えて言えば柱状晶の長軸方向の粒界を離すような方向に応力が作用する場合は最もわれやすいことになる。

4. 高温静的曲げ試験

600, 800, 900, 1000°C における静的曲げ試験の応力-歪曲線は Fig. 8 に示すように、初期勾配は粒状晶組織が一番大きく、次いで柱状晶横、柱状晶縦曲げの順であるが歪がますに従って途中で柱状晶縦曲げの方が同一歪でも高い応力値を示すようになる。これはいずれの試験温度についても同じである。

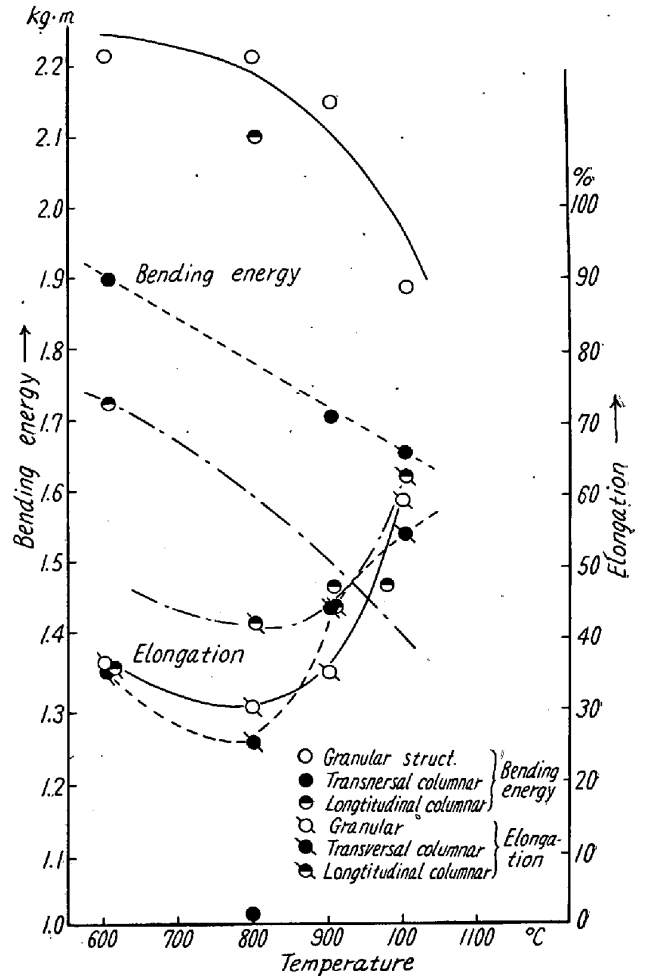


Fig. 7. Results of dynamic bending test.

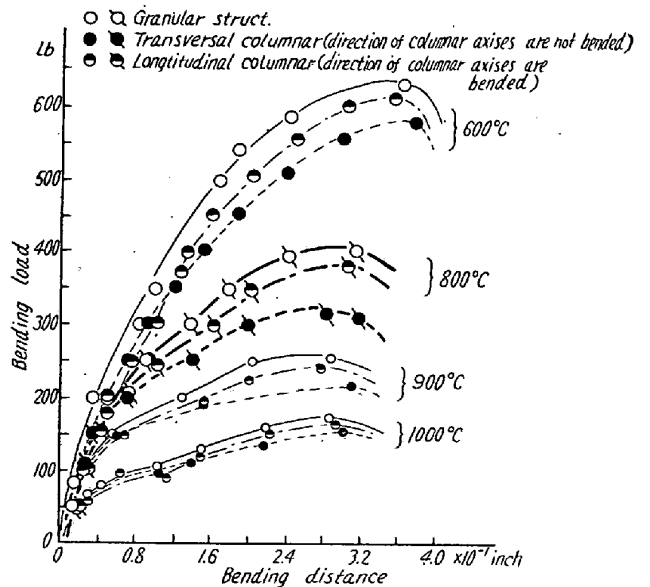


Fig. 8. Static bending test curves.

加工温度曲げ加工エネルギー、および伸びの関係は Fig. 9 に示すようになる。高温静的曲げ試験においても、曲げ加工エネルギーおよび伸びの铸造組織による違いは高温衝撃曲げ試験における場合と同じである。ただ铸造

組織による量的な違いは衝撃試験における場合よりも小さくなっている。

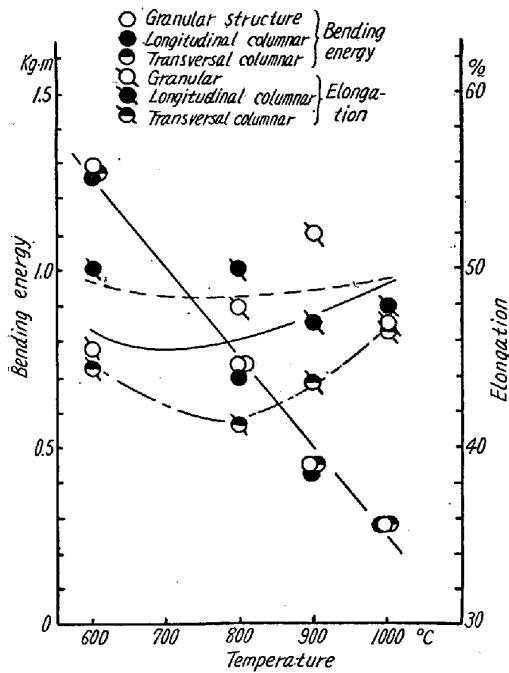


Fig. 9. Results of static bending test.

Photo. 1 は矢印の方向に各写真に記入してある試験温度, 組織についての衝撃および静的引張り試験の割れの顕微鏡写真である。このようにいづれの鑄造組織, 試験温度においても割れは結晶粒界において発生した粒界に沿って発達しやすいことが認められる。また, Photo. 2 は衝撃および静的曲げ試験により生じた割れを各試験温度, 組織について示した例であり, 曲げ方向は矢印の方向である。これらの写真においても割れは結晶粒界において生成し, また粒界に沿って割れが進行していくのが認められる。

V. 結 論

以上の実験結果から次のことがわかる。

(1) 引張り応力が作用する場合は, 粒状晶軸方向に応力が作用する場合は一番伸びが良く, 次いで粒状晶組織で最も伸びの悪いのは柱状晶軸と垂直に引張り応力が作用する場合である。曲げ試験においても同じようなことが言える。両試験とも柱状晶長軸方向の結晶粒界を引き離す方向に応力が作用した場合が最も割れやすい。

(2) 引張り試験, 曲げ試験共に静的加工の方が衝撃加工よりも伸びは良い。

(3) 破断迄の加工エネルギーは引張り, 曲げ試験共に衝撃, 静的にかかわらず, 粒状晶が最も多く必要とし,

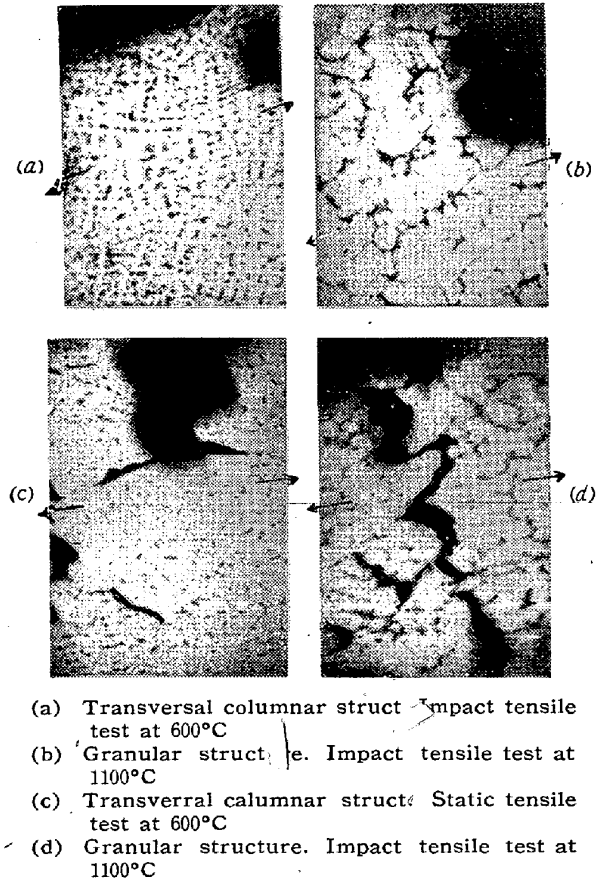


Photo. 1 Micro-structures of tensile test specimens.

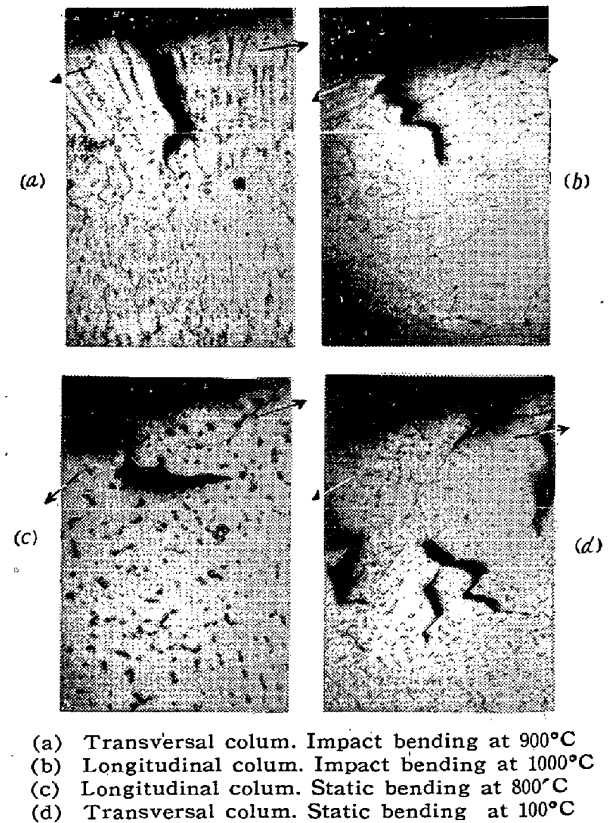


Photo. 2. Micro-structures of bending test specimens.

次いで柱状晶長軸と平行方向に応力を加えた場合、または柱状晶長軸を曲げるように応力がかかった場合、最も少いのが柱状晶軸と垂直方向に応力を作用させた場合、または柱状晶長軸方向の結晶粒界を離なすように応力を作用させた場合の順になっている。

(4) 割れはいづれの試験方法、試験温度においても結晶粒界に発生し、粒界に沿って発達しやすい。

高合金耐熱鋼の鑄造に当つては3つの翼をもつ三翼鑄型 (Three wings ingot)³⁾ または星形鑄型が使用される。星形鑄型に鑄込み後の鑄塊は各翼のものと部分から切り離し、中央の偏析部分は使用しない。かかる星形鑄塊の切断された翼の部分の鑄造組織は切断した面以外の鑄型に接している三面には垂直に柱状晶が発達し中央に粒状組織があり、切断した面は中央部に粒状晶左右両端は柱状晶の長軸方向が見られる。このような鑄塊の鍛造方向は可及的に柱状晶長軸と平行方向に鍛造するのを避ければ良いから、切断した面から鍛造するか、または切断した面と相對する側の面を鍛造するようにし、柱状組織を一応破壊してから切断面と垂直方向にある2面からも鍛造すればよい。かくすれば柱状晶を長軸方向と垂直に最も多く鍛造していることになり、割れ発生の確率を減少させることが出来る。

VI. 考 察

1. 鑄造組織 (粒状晶, 柱状晶縦, 柱状晶横) による変形抵抗の違いについて

鑄造組織に関する研究によると、不純な面心立方晶金属は柱状晶長軸方向に(100)面が柱状晶長軸と垂直に並んでおり粒状晶組織では各結晶粒は任意の方位を有している。⁴⁾ それ故柱状晶縦加工ということは(100)面を垂直に、すなわち立方晶のa, b, c 3軸のうちa, b, 2軸には垂直に、残りの1軸であるc軸には平行方向に加工をしていることになる。柱状晶横加工はある1軸a軸に対しては垂直方向に、他の2軸b, c軸に対しては任

意の方向から加工していることになる。一方粒状晶組織の場合は3軸に対して全く任意の方向から加工していることになる。塑性加工における送り方向は(111)面の<100>方向であるから、柱状晶縦加工、柱状晶横加工、粒状晶加工における結晶に対する加工方向と送り方向との関係から、柱状晶縦加工が最も加工しやすく、柱状晶横加工がこれに次ぎ、粒状晶加工が最も加工し難く変形抵抗は大きくなるわけである。

2. 柱状晶組織の圧縮加工と引張り加工における割れの挙動の違いについて

圧縮試験においては柱状晶縦圧縮が圧縮率の上では最も割れやすく、柱状晶横圧縮が最も割れにくくなっている。これに反して引張り試験においては圧縮試験とは反対に柱状晶縦引張りが最も伸びが良く、柱状晶横引張りが最も伸びが悪い。柱状晶縦圧縮の場合は柱状晶が縦方向に細長いために、柱状晶の束で粒界を引き離すように曲げ応力がかかるために割れやすく、柱状晶横圧縮の場合は柱状晶の束が合わさるように応力が作用し粒界を離す応力が作用しないためであろうと考えられる。柱状晶縦引張り試験では柱状晶縦圧縮試験の時とは反対に柱状晶の束が集るように応力が作用し柱状晶横引張りの場合は柱状晶長軸方向の粒界を引き離すように応力が作用するためであると考えられる。

終りに本研究のために試料を提供して頂いた住友金属株式会社に対して深く感謝致します。

文 献

- 1) 池島俊雄: 住友金属鋼管製造所, 昭24年5月
- 2) Leech Gregory, Eborall, J. Inst. Metal, 1955. March p. 347
- 3) C. Sykes, J. Iron and Steel Institute Vol. 156, 1947, July p. 321
- 4) M. Martus, Progress Metal Physics. Vol. 5, 1954, p. 287