

論 文

UDC 669.14-462-153 : 621.771.237 : 621.785.3 : 621.771.63.011

自動車用鋼管の加工性におよぼす管寸法 (t/D)

および熱処理の影響*

泉 総一**・貝 田 邦 義***
竹 田 秀 俊**・二 沢 喬一郎****Effect of Tube Size and Heat Treatment on Formability of Steel
Tube for AutomobileSōichi IZUMI, Kuniyoshi KAITA,
Hidetoshi TAKEDA, and Kyōichirō NISAWA

Synopsis:

Effects of the tube size (t/D) and heat treatment on formability of steel tubes for automobiles were studied by using steel tubes of the size $45\phi \times 5.0$ mm and $75\phi \times 1.6$ mm (the tensile strength range from 30 to 60 Kg/mm²).

The main results obtained are as follows.

(1) Expanding and 90° flattening formabilities are decreased by the increment of tube size (t/D). In the flare forming of materials having tensile strengths above 50 kg/mm², singular behavior is recognized, in comparison with the other forming processes, in that an increase of t/D gives a superior formability.

(2) In flare forming, the circumference of a tube is not deformed into a uniform shape but the "earring" is remarkably increased in tensile strength materials. On the other hand, in expand forming, as the circumference of a tube is deformed into a uniform shape and the ratio of strain of a welded part to that in the circumference of a tube increases; this is considered to be a very severe forming method.

(3) The effect of heat treatments of formability of steel tubes becomes larger by increasing the tensile strength on S content. The effect of heat treatments is also varied by the method of forming. These changes of formability result from the variation of the microstructure, metal flow, and hardness at welded parts affected by the heat treatment.

(Received April 16, 1974)

1. は じ め に

プロペラシャフトおよびリヤークスルケーシング用鋼管などに代表される自動車用鋼管は管の肉厚と外径の比 (t/D , t : 肉厚, D : 外径, 以下本記号で表示する) が大きくなるほど, また, 高強度鋼管ほど, 溶接部の性状が劣化して, 加工性が低下すると言われている¹⁾. したがって, 自動車用鋼管は内部応力の除去, 加工性および結晶組織の改善のために, その用途に応じて, 歪み取り焼鈍や焼きならしなどの種々の熱処理を施される場合が多いが, これらの熱処理が鋼管の各種の加工性におよぼす影響についての検討例は少ないようである.

著者らは前報²⁾において, 熱処理を施さない自動車用

鋼管の加工性におよぼす素材帯鋼の製造条件の影響について明らかにした.

本報告は自動車用鋼管の加工性におよぼす熱処理 (焼鈍, 焼準) の影響を中心とし, さらに, 前報と同様な管種 ($t/D=2.1\%$, 11.1%) を用いて, 各種の加工性におよぼす管寸法の影響および鋼管の加工における変形状態についての検討を行なった結果である.

2. 供試材および実験方法

2.1 供試料

供試材 Table 1 に示すように前報と全く同一の熱延鋼板を用いた. すなわち, 強度水準は 30~60 kg/mm² で鋼種はそれぞれの強度に対応させてリムド, Al セミ

* 昭和49年4月16日受付

** 新日本製鉄(株)室蘭製鉄所 (Nippon Steel Corp., Nakamachi, Muroran 050)

*** 新日本製鉄(株)相模原技術センター

**** 新日本製鉄(株)製品技術研究所

Table 1. Composition of specimens.

Tube size (mm)	Tensile strength (kg/mm ²)	Type of deoxidization	Low S	Ceq (C+1/7Si+1/6Mn)
45φ×5.0	30	Rimmed	—	0.081
		Al-killed	○	0.145
	45	Al-Semi-killed	—	0.310
		Al-Si-killed	○	0.309
	50	Al-Si-killed	—	0.410
		〃	○	0.465
75φ×1.6	30	Rimmed	—	0.132
	45	Al-Si-killed	—	0.348
	50	Al-Si-killed	—	0.406
		〃	○	0.446
		〃	○	0.423

キルド, Al キルド, Al-Si キルドの 4 鋼種を選び, 各強度水準毎に低硫鋼処理したものを加えた.

これらの熱延鋼板を高周波誘導溶接機で, 45φ×5.0 (外径を D , 肉厚を t とすると, $t/D=11\%$), 75φ×1.6 mm ($t/D=2.1\%$) の 2 管種に製管し, 試験に供した.

なお, 管寸法 (t/D) の影響および変形状態の検討については, 前報と同様にいずれも熱処理を施さない鋼管 (原管) を用いた.

2.2 実験結果

2.2.1 鋼管の加工性試験

前報と同様に, 鋼管の代表的な加工性試験として挙げられる 90° 偏平, 押し拡げおよび拡管試験について実施した.

なお, 各特性値は次式より算出した.

$$\text{偏平率} = \frac{D_0 - H}{D_0 - 2t} \times 100(\%)$$

$$\text{押し拡げ率} = D/D_0$$

$$\text{拡管率} = D/D_0$$

ただし, t : 鋼管の肉厚 (mm)

D_0 : 鋼管の外径 (mm)

D : 鋼管の外周に亀裂が生ずるまでに成形可能な最大外径 (mm)

H : 鋼管の偏平高さ (mm)

2.2.2 歪み量の測定

鋼管の各加工における歪み量の測定は, Fig. 1 に示すように, 溶接部を中心として 5 mm のスクライブドサー

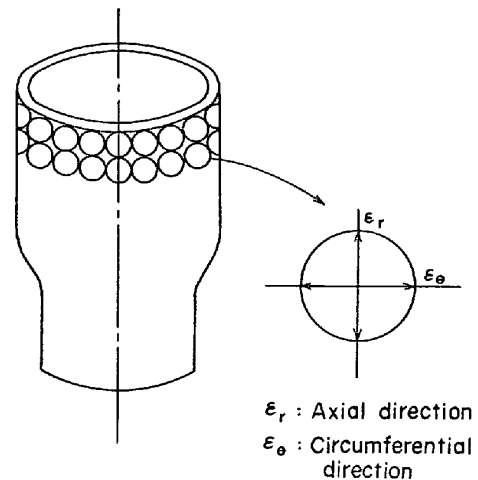


Fig. 1. Measurement of strain at expand forming.

クルを電解腐食 (エレクトロエッチ) 法で書き, 加工前後のサークルの長さを測定して実歪みで表示した. 歪みは同図に示すように, 二軸方向の値を求め, 軸方向 (L 方向) の歪みを ϵ_r , 円周方向 (C 方向) の歪みを ϵ_θ とした.

2.2.3 熱処理

熱処理の影響の検討は, 管寸法 45φ×5.0 mm の各強度水準の鋼管について行なった. 熱処理は内部応力の除去, 硬さの低下を目的とした歪み取り焼鈍 (600°C - 30 min) および前加工の影響を除去し, 結晶粒を微細化して機械的性試を改善するために行なわれる焼準 (950°C - 30 min) の 2 種類を行なった.

なお, 冷却はいずれも空冷のままとした.

3. 実験結果および考察

3.1 鋼管の加工性におよぼす管寸法 (t/D) の影響

先に, 筆者らは自動車用鋼管の溶接部欠陥に対する管寸法 (t/D , t : 肉厚, D : 外径) の影響を検討し, 溶接部欠陥は t/D が大きくなるほど増加するので, t/D が大きな管種に対しては通常水準以上に清浄な素材が必要であることを明らかにした²⁾. また t/D が大きくなるほど, 溶接部の性状が劣化して, 加工性が低下することは一般的に知られている事実である.

本実験においては, 各加工試験における t/D の影響を $t/D=11.1\%$ と $t/D=2.1\%$ の管種を用いて検討した. Fig. 2 は前報²⁾において, 各加工性と強い相関関係が認められた $[C \text{ 当量} + 5(S + 1/2P)]$ をベースにして, 各加工性におよぼす t/D の影響を示したものである. 全体的な傾向としては拡管と偏平加工においては t/D の影響が顕著に認められ, この両加工における溶接部の性状の影響の大きさが推察される. しかしながら, この両

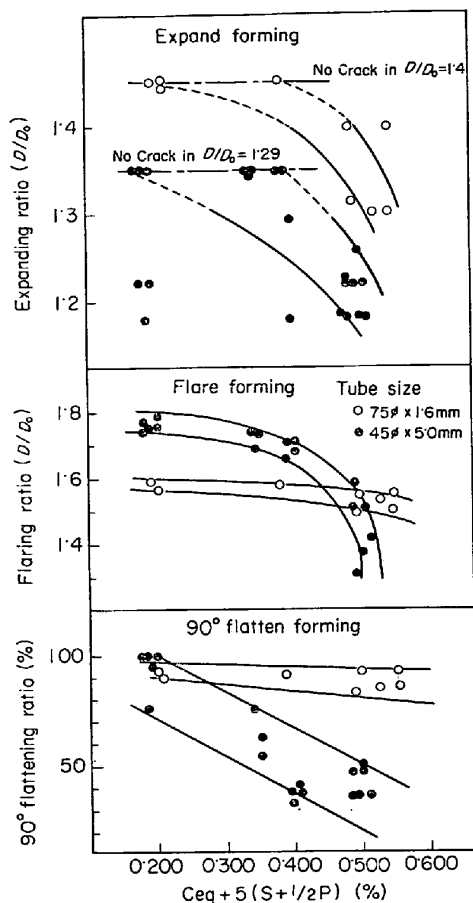


Fig. 2. Effect of tube size (t/D) on formability of steel tube.

加工においても t/D の影響程度は若干異なる挙動を示す。すなわち、拡管加工においては素材帯鋼の強度水準にかかわらず、全領域にわたって、厚肉管の加工性が劣化しているのに対して、偏平加工においては軟質材領域では、 t/D の差がほとんど認められない。偏平加工の場合、密着偏平が可能な状態を偏平率 100% としているので、軟質材クラスのように試験値が 100% 近い値のものでは、鋼管の加工性の差を判定する事が困難となり、試験法としては検出能の点で多少の問題があると思われる。

なお、厚肉管の拡管加工の場合、図から明らかなように一部の供試材に著しいバラツキが認められる。これは前報でも述べたように、鋼中の「O」および「S」水準が比較的高い鋼種に多く、局部的な濃厚偏析の影響が加工性の低下の一因になっているものと考えられる。

押し拡げ試験においては、引張り強さが 50 kg/mm^2 以下の領域で、 t/D の大きい管種が高い加工性を示しており、前出の 2 試験値と比較し、全く異なる挙動を示す。次節の変形状態の検討のところで述べるように、亀裂が母材部（溶接部以外）で生ずる引張り強さ 50 kg/

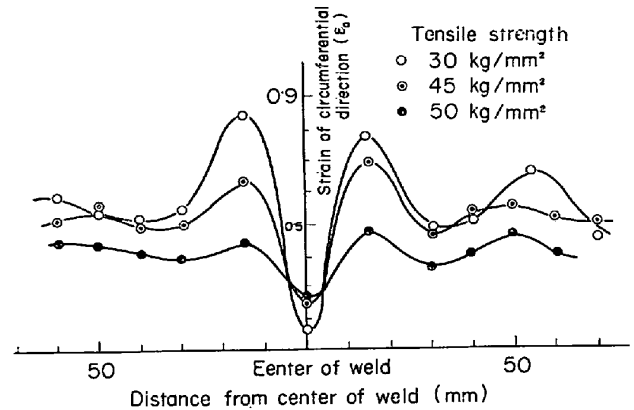


Fig. 3. Effect of tensile strength on strain of circumferential direction at flare forming (tube size: $45 \times 5.0 \text{ mm}$).

mm^2 以下の領域 [C 当量 $+5(S + 1/2P) < 0.500$] では、その加工限界は素材の機械的性試の影響を強く受けるものと考えられる。したがって、同一強度においては、板厚効果による延性の向上が押し拡げ率を向上させる結果となり、厚肉管の押し拡げ加工性が高い値を示すものと思われる。また、引張り強さが 50 kg/mm^2 を越えるとこの関係が逆転するのは、亀裂発生位置が溶接箇所に移動して、溶接部の性状の影響が大きく現われるようになり、溶接部の変形能の乏しい厚肉管（主として、溶接部のメタルフロー立上り角度に起因する。前報参照）の加工性が低下するためと推察される。

このように、押し拡げ加工性におよぼす管寸法の影響が、素材帯鋼の強度水準（ C 当量）によつて逆転する現象を上述の理由で解釈すると、本実験で得られた t/D の影響は普遍的な現象とは見なされず、肉厚 t が一定で、管外径 D が小さく、結果的に t/D が大きくなった場合は、本実験におけるような機械的性質におよぼす板厚効果を考えることができないので、ここで得られた結果とは異なる挙動を示すものと考えられる。

3.2 鋼管の加工における変形状態について

従来から鋼管の加工性試験における変形状態の検討例は比較的少なく³⁾⁴⁾、鋼板のプレス加工におけるような体系的な解析はなされていないようである。そこで、本実験では鋼管の各加工における変形状態を調べ、その試験値の意義についての検討を行なった。本実験で実施した 3 加工性試験のうち、偏平試験については変形自体は単純で、溶接部の内外面の強度特性を調べる試験法と見なすことができるので、ここでは、押し拡げと拡管加工についての検討を行なった。

厚肉管の測定結果として Fig. 3 に押し拡げ加工の管端における円周方向の歪み量におよぼす素材強度の影響

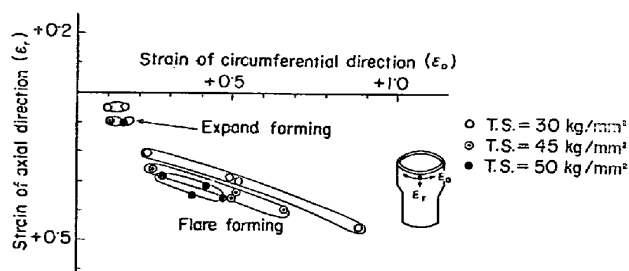


Fig. 4. Deformation constitutional diagram in forming of steel tube ($45\phi \times 5.0$ mm).

を、また、Fig. 4 に鋼管の各加工における変形状態図⁶⁾を示す。

前報で述べた押し拡げ加工における軟質材の著しい耳 (earring) 発生現象は Fig. 3 に示す円周方向の不均一な歪み分布の測定結果からも明らかである。この押し拡げ加工における earing の発生機構については次のように考えられる。軸方向への収縮が比較的自由的な押し拡げ加工においては、管周全体が均一に変形せず、強度が高い溶接部の変形が拘束されることは前報でもふれたとおりである。このように微少面積ではあるが、低歪み領域 (溶接部) が存在するため、管周全体の変形を均一に保とうとする作用が働き、低歪み領域 (溶接部) とごく隣接する箇所に変形が集中する結果、管周全体の変形のバランスがくずれて、earring 現象となつて現われるものと推察される。この考え方は Fig. 3 に示すように、最大くびれはいずれの鋼種においても、溶接中心部から 15 mm の位置に集中している事実から裏づけられる。

鋼板のプレス加工における二軸方向の変形状態を表示する方法として用いられている変形状態図⁶⁾を鋼管の加工に適用した Fig. 4 から、押し拡げ加工と拡管加工の変形状態の違いが明りように認められる。すなわち、両加工とも円周方向の最大歪み量 (実歪み) は、押し拡げ加工の 0.50~0.90 に対し、拡管加工では 0.10~0.15 と 5 倍~6 倍ほど押し拡げ加工が大きい値を示す。これは両加工における溶接箇所以外 (母材部) の伸び量の差が現われている結果であつて、溶接部の変形量に関しては大きな差は認められない。したがつて、拡管加工においては、管周全体の変形量中に占める溶接部の歪み量の割合は大きくなり、本質的に変形能の乏しい溶接部にとつて非常に厳しい加工法といえる。実際加工においても、リヤーアクスルなどで、管外径の 1.15 倍程度、管周の伸び量に換算すると 15% 程度の低歪み状態で亀裂が入ることもある。拡管加工は実際加工例も多く、また、加工が厳しいゆえに拡管不良のトラブルも多いので、鋼管の加工性を調べる試験としては重要な試験法の 1 つにあ

げられる。しかしながら、本試験法の難点として、限界拡管率を求めるのに連続的に処理できないのと、ポンチを圧入して、拡管した後処理の問題で作業性が非常に悪い点があげられ、連続的に処理可能な試験法の開発が必要とされる。

一方、押し拡げ試験に関しては、試験値がほとんど非熱影響部の伸び量によつて決定されるという性格上、溶接鋼管の加工性試験としての意義について、多少の疑問がある。すなわち、非熱影響部の伸び量によつて押し拡げ加工限界が決定されるということは、素材帯鋼の伸び、引張り強さ、その他の引張り特性値で代表できるということを意味する。また、試験値の絶対量もネッキングを数カ所含んだものであり、その押し拡げ率は拡管率の場合と異なり、実際の鋼管加工への適用は考えられない。ただし、高強度厚肉管の場合 (本実験結果では $t/D = 11.1\%$ で、引張り強さが 50 kg/mm^2 以上)、溶接部で亀裂が発生し、試験値におよぼす溶接部の影響が大きくなるので、このクラスでの押し拡げ試験法の適用は溶接鋼管の加工性を表示する試験法として有効と考えられる。

3.3 鋼管の加工性におよぼす熱処理の影響

鋼管は製管時にロールフォーミングにより管寸法 (t/D) に相当する加工歪みを受けるので、鋼管の材質は素材よりも硬化するのが通例である。また、溶接部については、溶接時の急熱、急冷により C 当量が高くなるほど急冷組織が生ずるので、鋼管の非熱影響部よりも硬化し、メタルフローの露出とあいまつて、この部分の延性は非常に乏しい。

したがつて、鋼管の t/D が大きく、高強度材ほど、原管は加工性に乏しいので、用途に応じて延性を回復する手段として、また、内部応力の除去を目的として熱処理が施される。次に、これらの熱処理が鋼管の加工性におよぼす影響について検討した結果を述べる。

3.3.1 組織および硬度におよぼす影響

鋼管の機械的性質および加工性に大きな影響をおよぼす溶接部を中心とした組織と硬度の熱処理による変化についての検討を行なつた。

Photo. 1 に熱処理前後の溶接熱影響部の組織を示した。写真から明らかなように、熱処理前の原管においては、引張り強さが 30 kg/mm^2 で、C 当量が低いクラスでは、溶接部組織の粗大化が認められるが、強度が上り、C 当量が高くなると急冷組織が現われ、 50 kg/mm^2 クラス (C 当量が 0.40% 以上) では中間段階組織が顕著となる。これらの溶接部の組織は焼鈍により若干改善される程度であるが、焼準しを行なうと完全に母材部と

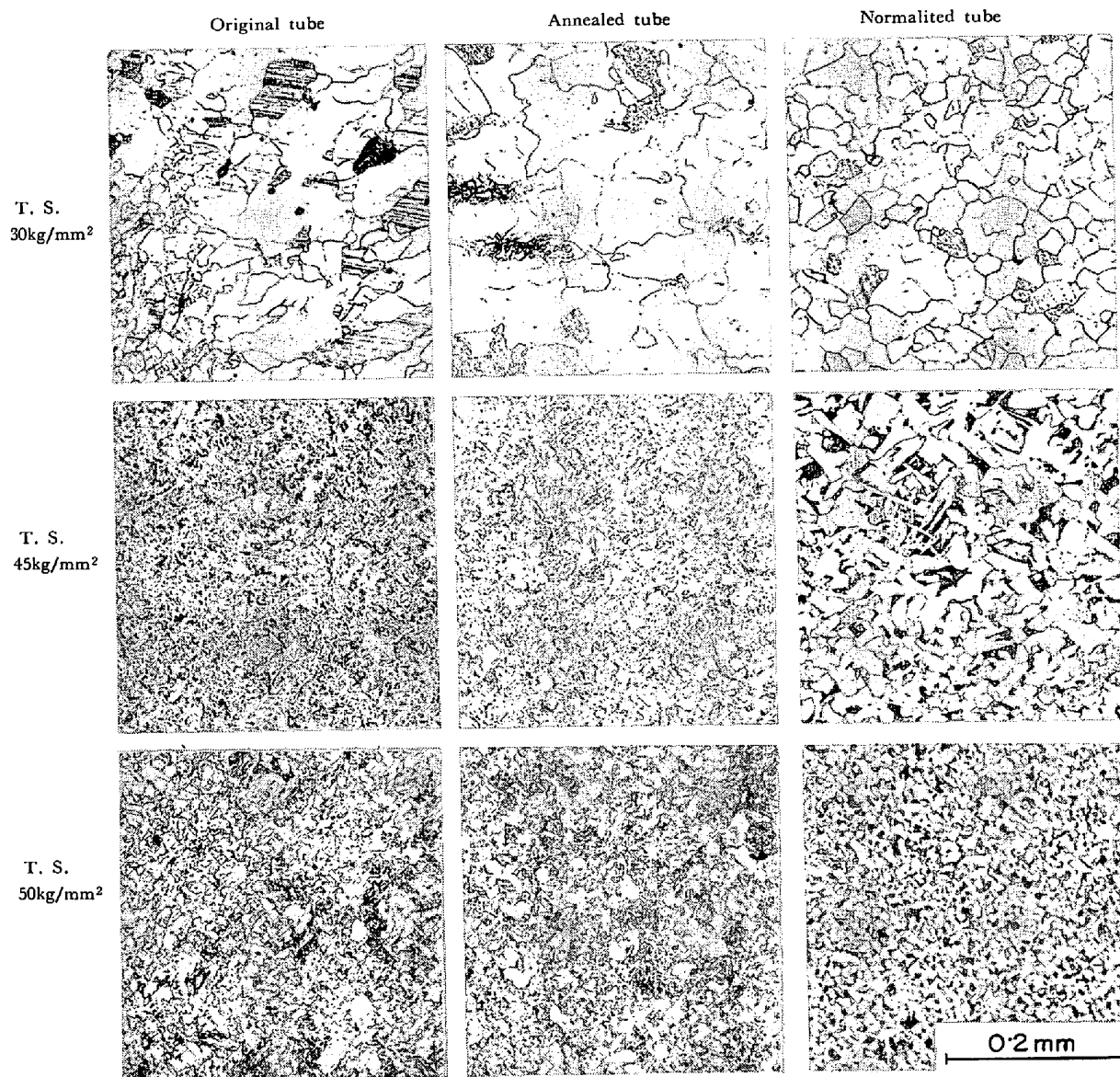


Photo. 1. Effect of heat treatment on microstructure of heat affecting zone ($45\phi \times 5.0\text{mm}$).

同等の組織となる。また、一般に原管の母材部の組織より焼準後の組織の方が結晶粒は大きく粗大化する傾向が認められる。

Photo. 2 に引張り強さ 45 kg/mm^2 クラスの溶接部のメタルフロー状態におよぼす熱処理の影響を示した。Photo. 2 からバンド状組織は熱処理により拡散し、低減しているのが明らかであるが、特に、焼鈍にくらべて処理温度の高い焼準において効果が顕著である。したがって、焼準処理においては溶接部の組織の改善のほかにメタルフローの改善の効果が期待できる。

Fig. 5 に溶接部の硬度分布におよぼす熱処理の影響を示す。図から明らかなように、引張り強さが 50 kg/mm^2 クラスにおける焼鈍が明りようでない以外は、各強度クラスにおいて熱処理の影響が明らかに認められる。すなわち、原管の硬度と比較し、焼鈍処理で $H_v =$

$20 \sim 40$ 、焼準処理で $H_v = 40 \sim 70$ ほど溶接部の硬度は低下する。また、焼鈍においては前述したような組織的な改善は少ないので、硬度は全体的に低下するが、溶接部の硬化部はやはり認められる。一方、焼準処理の場合、溶接熱影響部の解消および組織の均一化とともに、硬度分布も均一となり、溶接部を中心とした硬度分布パターンに硬化部が存在する原管および焼鈍処理と比べて著しく異なる。

このような熱処理による鋼管の溶接部を中心とした組織および硬度分布の変化は、次節で述べる鋼管の加工性におよぼす熱処理の影響を解釈する上で、重要な要因となる。

3.3.2 加工性におよぼす影響

鋼管の加工性におよぼす熱処理の影響を検討するため、厚肉管 ($45\phi \times 5.0\text{mm}$) の扁平試験値と押し抜け試

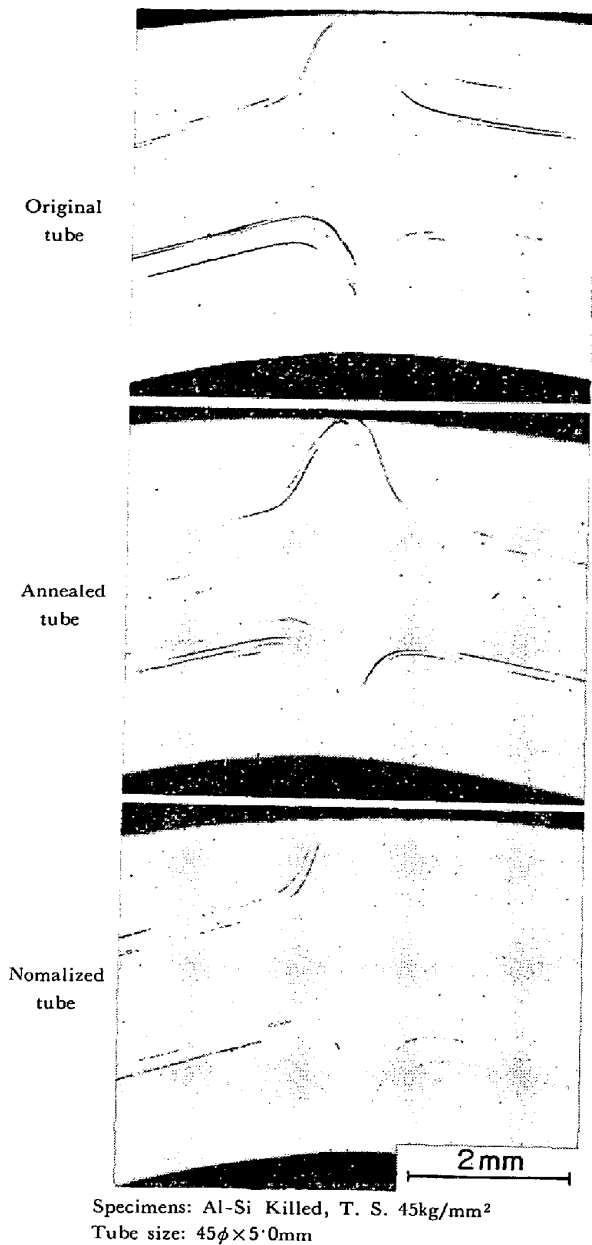


Photo. 2. Effect of heat treatment on banded structure.

驗値について検討した。

Fig. 6 に熱処理条件と偏平値の関係を素材の引張り強さと成分（鋼中 S 量）別に層別して整理した結果を示す。これらの図から次の事がわかる。①原管の偏平値は強度が高くなるほど低下する。②同一強度レベルでは低 S 材の方が偏平値は良好となるが、熱処理による向上が最も大きい。（熱処理による強度低下の効果を含む）、③焼鈍と焼準処理では焼準処理の方がはるかに効果がある。

Fig. 7 には、偏平値および押し抜け値におよぼす素材の成分 $[C \text{ 当量} + 5(S + 1/2P)]$ と熱処理の影響を示した。本図から偏平値および押し抜け値については原管の

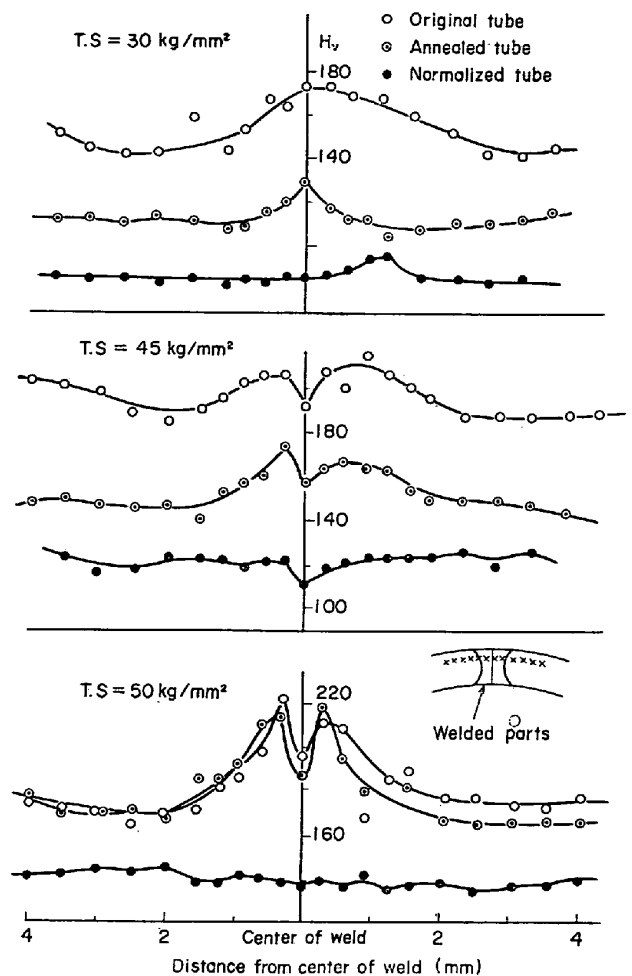


Fig. 5. Effect of heat treatment on hardness of welded parts ($4.5\phi \times 5.0\text{mm}$).

方が成分の影響が強く現われるが、焼準管の場合は、熱処理によつて、これらの特性値が向上する結果、成分の影響がかなり弱くなつているのがわかる。

Fig. 8 は偏平値におよぼす熱処理の影響を、熱処理による強度変化を加味して整理した結果である。 $S \geq 0.010\%$ の場合、同一強度レベルで比較しても、熱処理による偏平値の向上が認められ、焼鈍、焼準の順に偏平値は高い値を示す。 $S < 0.010\%$ の場合には、原管の偏平値が向上しているためか、焼準の効果は比較的少なく、焼準処理における向上が大きい。

次に、同様の比較を押し抜け加工性 ($D/D_0 = 1.6$ における合格率) について行なつた場合 (Fig. 8) は、原管に比べて熱処理による押し抜け性の向上が認められるが、焼鈍、焼準の差は同一強度で比較した場合、とくに認められない。かえつて、一部の供試材に見られるように、熱処理によつて、押し抜け加工性が劣化することがある。

以上、熱処理による鋼管の加工性の変化について述べ

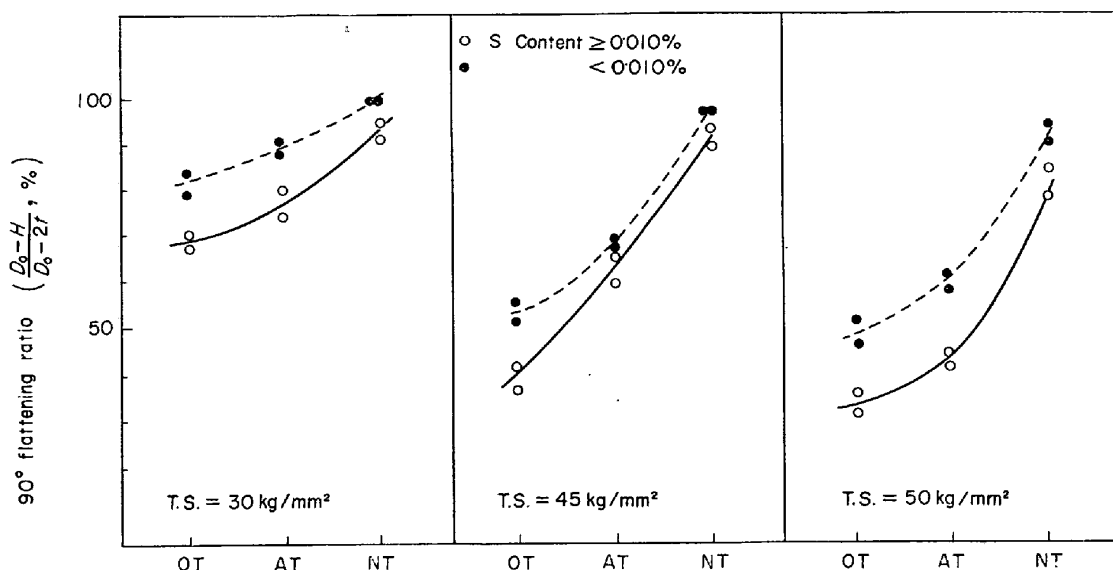


Fig. 6. Effect of heat treatment on 90° flattening ratio.
($4.5\phi \times 5.0$ mm, OT : original, AT : Annealed, NT : Normalized)

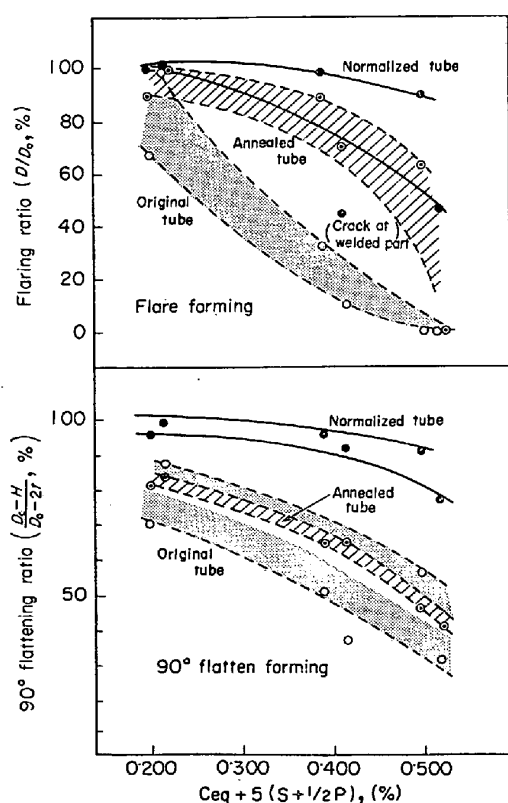


Fig. 7. Effect of chemical composition and heat treatment on the formability of steel tube ($4.5\phi \times 5.0$ mm).

たが、これらの結果を以下に要約する。

・90° 偏平値

焼鈍による偏平率の向上は非常に少なく、原管のパラツキの上限程度の水準である。しかし、焼鈍によつて偏平率は原管の2倍以上と著しく向上し、この傾向は強度

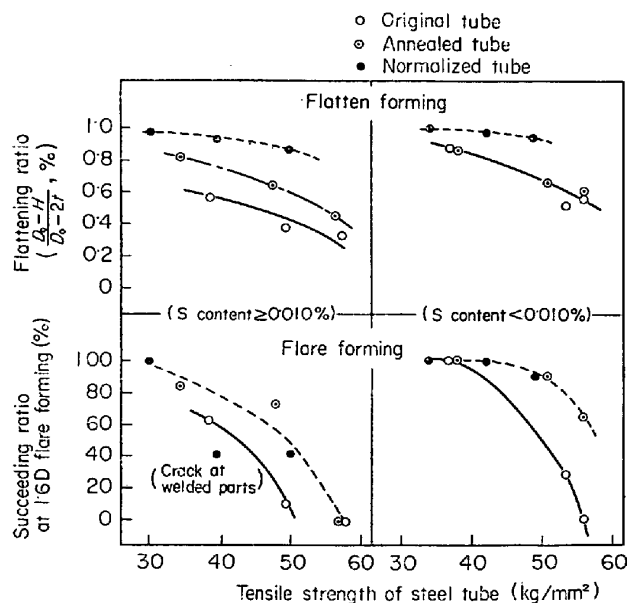


Fig. 8. Effect of heat treatment on the relation between formability and tensile strength of steel tube (4.5×5.0 mm).

レベルが高いほど、また、S水準が高い素材において著しい。

・押し拡げ率

焼鈍、焼準のいずれの熱処理においても押し拡げ率は向上するが、偏平値の結果と異なり、焼鈍による向上が顕著で、焼準処理による向上程度が少なく、一部ではあるが、焼鈍管より低い押し拡げ率を示す場合もある。なお、素材の強度、鋼中S量の増加は偏平率の場合と同様に、これらの効果を顕著にする傾向を示す。このように、鋼管の加工性におよぼす影響が加工様式によつて著

しく異なる挙動を示すことについては著者らは次のように考える。

90° 偏平試験は溶接部外表面の溶接強度を検出する試験方法であつて、その試験値には溶接部の性状のみが現われ、鋼管母材部の性状は全く関与していないと考えてよい。したがつて、製管による内部応力の除去を目的とする焼鈍処理においては、溶接部の急冷組織やメタルフローの改善効果は少なく、溶接部の硬化部も存在する結果、焼鈍管の偏平値は原管に近い水準を示すものと考えられる。一方、焼準管においては前述したような溶接部における組織を中心とした大幅な改善がそのまま偏平率の向上に結びつく。このような偏平試験で得られた結果および考察は、同じように溶接部の性状が加工限界におよぼす影響が大きい拡管加工においても基本的に適用できるものと思われる。

押し拡げ加工は偏平加工と異なり、前報で述べたように、母材部の性状が無視しえない大きな要因となる。したがつて、焼鈍によつて、母材部を中心とした内部応力の除去→軟化現象が進み、結果的に母材部の変形能の向上が押し拡げ値の向上に寄与することになる。焼準管の場合は硬度分布のところでも述べたように、溶接部、母材部ともに硬度は全く均一分布となる。このような状態で押し拡げ加工を行なうと、原管の場合に見られる溶接部における変形拘束現象は生じないで、管全周にわたつて、均一に変形は進行することになる。しかしながら、溶接部を含んだ管周全体の硬度分布が均一であつても、焼準処理によつて完全に消去しきれない溶接部のメタルフローの存在によつて、その立上り角度が大きいほど、メタルフローに直角に近い角度で応力が作用することになり、溶接部から亀裂が生じやすくなることは容易に推察される。そのため、焼準管の押し拡げ加工においては溶接箇所の軟質化、均一化現象が認められているにもかかわらず、試験値はそれほど向上しないものと考えられる。

これらの考え方を立証するために、Fig. 9に押し拡げ試験後の割れ発生位置に注目して、原管強度、成分（鋼中S量）別に、各熱処理状態における割れの発生位置を示した。本図から明らかなように、原管の場合、母材部割れが圧迫的に多いのに対し、熱処理後は溶接割れが多くなり、とくに、焼準管ではすべて溶接部に割れが発生するようになる。また、強度の高い鋼管ほど溶接部割れが多いことも明らかである。Fig. 8においても、焼準後の押し拡げ率が原管と比較して劣化する現象が認められたが、これはすべて溶接割れに起因しているものである。

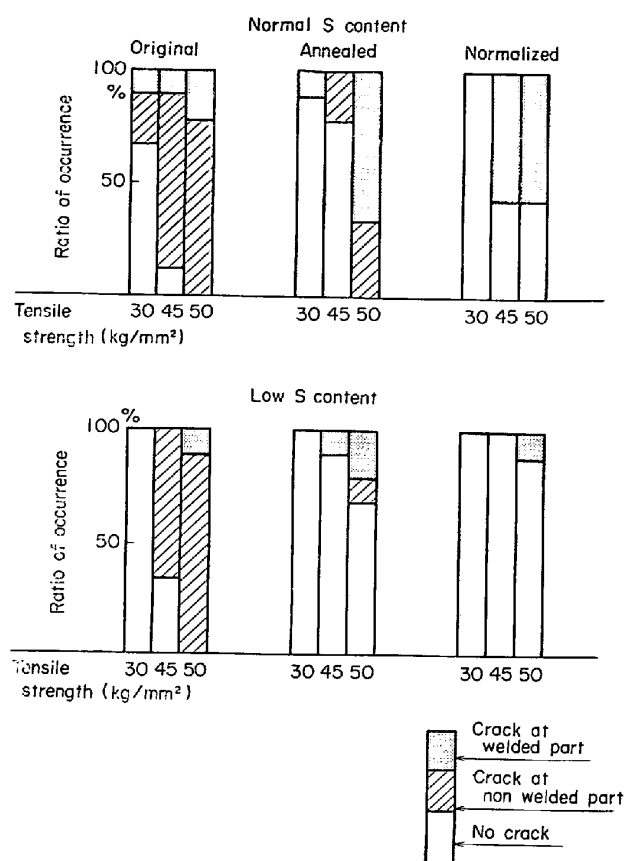


Fig. 9. Effect of heat treatment on the position of crack at 1.6D flare forming ($4.5\phi \times 5.0$).

溶接部割れが生じた焼準管が原管の場合と大きく異なる点は、押し拡げ値が原管で認められるように、極端に劣化しないことである。これは、焼準処理によつて溶接部の変形能が向上するので、溶接部に亀裂が発生するまでに、母材部の変形量が増大するためと考えられる。

以上述べた歪み取り焼鈍や焼準などの熱処理による鋼管の加工性の変化については、機械的性質や内部応力に起因した形状性におよぼす影響を含めて、鋼管の品質設計上、十分に認識する必要がある。

4. 結 言

高強度化の趨勢とともに、要求品質水準が高度化しつつある自動車用鋼管の加工性におよぼす熱処理の影響を中心に、さらに、強度水準の異なる鋼管の加工における管寸法の影響および変形状態についての検討を、管寸法 $45\phi \times 5.0\text{mm}$ と $7.5\phi \times 1.6\text{mm}$ の2管種を用いて行なつた。得られた結果を要約すると次のとおりである。

1) 拡管加工と偏平加工においては管の肉厚と外径の比 (t/D) が大きいほど、加工限界は劣化する。しかし、拡管加工においては素材帯鋼の強度水準にかかわらず、 t/D が大きいほど、加工限界は劣化するが、これに

対して、偏平加工の場合、軟質領域では、 t/D の影響がほとんど認められない。

2) 押し拡げ加工においては、強度が 50 kg/mm^2 以下の領域で、 t/D の大きい管種が高い加工性を示し、他の加工性と全く異なる挙動を示す。この押し拡げ加工における特異な挙動は、素材の強度水準により亀裂の発生位置が異なる現象によつて説明づけられる。

3) 軸方向への収縮が比較的自由な押し拡げ加工においては管周全体が均一に変形せず、強度の高い溶接部の変形が拘束されるため、管周全体に *earing* 現象が発生し、軟質材ほどその発生程度は著しい。この場合、加工性は母材部の伸び量によつてほとんど決定されるといえる。

一方、拡管加工においては、管周の変形は均一に進展し、その歪み量は $0.10 \sim 0.15$ と著しく低く、管周全体の変形量中に占める溶接部の歪み量の影響が大きくなるので、非常に厳しい加工法と解釈される。実際加工においても拡管不良のトラブルは多く、鋼管の加工性を明らかにする手段としては有効な試験法であると考えられる。

4) 溶接部の急冷組織は焼鈍により若干改善し、焼準処理ではほとんど母材部と同等の組織となるが、一般に、熱処理前の原管母材部の組織よりも結晶粒は大き

い。バンド状組織は焼準処理によつて完全に消去されないが、拡散して、低減される傾向が認められる。溶接部のビッカース硬度は焼鈍処理で $20 \sim 40$ 、焼準処理で $40 \sim 70$ ほど低下する。また、焼準では溶接部に硬化部が残るが、焼準においては組織の均一化に対応し、硬度分布も均一となる。

5) 加工性におよぼす熱処理の効果は、強度および S 水準が高いほど顕著になるが、加工様式によつて、その影響程度は異なる。すなわち、 90° 偏平加工においては焼鈍による加工性の向上は少ないが、焼準によつて、原管の2倍以上という著しい向上が認められる。一方、押し拡げ加工性は焼鈍による加工性の向上が顕著であつて、焼準管の向上程度は焼鈍管を若干上まわる程度である。このような加工性におよぼす熱処理の影響が加工様式によつて著しく異なる現象については、熱処理による母材部を含めた組織、メタルフロー、硬度分布の変化によつて理解される。

文 献

- 1) 原田：鉄と鋼，53(1967) 6, p. 641
- 2) 泉，貝田，竹田，二沢：鉄と鋼，60 (1974) 14, p. 2173
- 3) 田所：塑性と加工，11 (1970), p. 764
- 4) 後藤，清水：塑性と加工，4 (1963), p. 131
- 5) 吉田：理化学研究所報告，44 (1968), p. 159