引拔鋼管の衝撃強度に及ぼす切欠きならびに焼鈍しの影響*

上田 太郎** 田中 政夫** 古田 俊久***

Effects of Notch Radius and Annealing on the Impact Strength of Cold Drawn Steel Tubes

by

Tarō UEDA, Masao TANAKA and Yasuhisa FURUTA

(Faculty of Engineering, Osaka University, Osaka) (Mitubisi Electric Co., Ltd., Amagasaki)

Following the line of the previous reports, we have investigated the effects of notch sharpness and annealing on the notched tube impact bending strength of small-diameter, cold drawn and seamless steel tubes (the dimensions of the tube : $25\phi \times 1.5$, the reduction percentage in the tube drawing : 10 and 30%).

The results obtained are outlined as follows.

(1) With larger reduction percentage in the tube drawing, the notched tube impact bending strength decreases. And its decrease is noticed most clearly in the impact test at low temperature, say at about -100°C . But when the cold drawn tubes are soft-annealed at 700°C , the above effect disappears.

(2) When the cold drawn tube is annealed at low temperature, say at $200\sim 400^{\circ}\text{C}$, its hardness increases to some extent and its impact strength does not change. But when it is annealed at above 400°C , its hardness does not decrease, but its impact strength increases gradually. And when it is annealed at above recrystallization-temperature (600 and 700°C), its hardness decreases largely and its impact value increases rapidly.

(3) With the reduction of notch radius of impact test-specimen, its impact value decreases. And this effect is more clearly noticed in the impact test at lower temperature. But in the soft-annealed steel tubes, such notch effect is not clearly seen.

(4) The impact strength of the cold drawn steel tubes reaches its maximum value near the room temperature, but rapidly decreases at below -100°C , and drops almost to zero in value at -190°C .

(5) When the cold drawn tube is annealed at $400\sim 450^{\circ}\text{C}$, its hardness scarcely decreases, and its impact strength increases to some extent. Moreover, this heat treatment removes its internal stress by the cold drawing. Therefore, in order to make the cold drawn steel tubes tough, it is advisable to anneal them at $400\sim 450^{\circ}\text{C}$.

(6) In the impact test of cold drawn steel tubes, we recommend the low temperature test at about -100°C , because this test shows the difference in these tubes most clearly.

(Received July 8, 1964)

1 緒 言

小径の引拔鋼管の衝撃強度を知る目的で第1報¹⁾、第2報²⁾においては管自体を試験片とする衝撃試験を実施し、その強度に及ぼす鋼種、寸法(肉厚)、引拔加工度、加工後の時効、試験温度、衝撃試験法などの影響を検討した。

本報は引き続き第1報¹⁾で述べたと同じ方法により引拔鋼管の有溝わん曲衝撃強度に及ぼす試験片切欠きの形状ならびに引拔加工後の焼鈍しの影響について試験し

た結果である。

2 供試鋼管および試験方法

供試鋼管は通常の鋼管材としてよく使用されている炭素量0.1%程度のリムド鋼よりなる引拔加工度10および30%、外径25mm、肉厚1.5mmの継目無引拔鋼管である。¹⁾ Table Iはその化学成分を示したものである。前報¹⁾においてはリムド鋼のほかキルド鋼の管につ

Table I. Chemical compositions of tested steel tubes (%).

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.13	0.01	0.45	0.011	0.018	0.07

* 本報を「引拔鋼管の衝撃強度について(第3報)」とする。

原稿受理 昭和39年7月8日

** 正 会 員 大阪大学工学部 大阪市都島区東野田町

*** 三菱電機(株) 尼崎市南清水字中野

いても試験し、引抜加工後の時効の影響などを比較検討したが、両者で同様な結果を示したので本報においてはリム鋼製の継目無鋼管のみを試験に供した。鋼管の寸法も前報においては外径 25mm で肉厚 1.5 および 2 mm の 2 種については比較試験したが、この程度の肉厚の差異では試験結果に特に著しい変化が認められなかつたので本報においては外径 25mm、肉厚 1.5 mm の鋼管のみを試験の対象とした。また、引抜加工度も加工度の小さい 10% と大きい 30% の 2 種について試験した。

以上のような 供試鋼管について今回は引抜加工後 200~700℃ の各温度で 30 分間焼鈍ししたときの鋼管の衝撃強度変化を追究した、なお、衝撃試験は第 1 報で述べた有溝わん曲衝撃試験法で実施し、Fig. 1 はその試験片の形状を示したものである。前報においては中央部に底の丸み半径 5 mm の切欠きを付した試験片について試験したが、今回はこの丸み半径を 5 および 2.5 mm の 2 種にし、これにより鋼管の衝撃強度に及ぼす切欠きのするどさの影響を検討した。また前報と同様

衝撃強度に及ぼす 試験温度の影響をみるため +100~-190℃ の温度範囲内の 7 段階の温度で試験を実施した。これらの温度で試験を実施する手順、その他試験法はすべて第 1 報で述べた有溝わん曲試験の場合とまったく同じで衝撃速度も同じく 3.5m/sec である。

Fig. 1. Notched tube impact bending test-specimen.

3 試験結果および考察

Table II は供試引抜鋼管を 200~700℃ で焼鈍したときの静機械的性質、主として硬度の変化を示したものである。引抜加工度 10 および 30% の鋼管、いずれの場合も低温焼鈍しにより硬度はやや上昇し 300℃ 付

Table II. Static mechanical properties of tested steel tubes.

Annealing temperature (°C)	Reduction percentage in tube drawing : 10%				Reduction percentage in tube drawing : 30%			
	Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%) (l=100mm)	Rockwell hardness (R _c)	Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%) (l=100mm)	Rockwell hardness (R _c)
As drawn	38.0	41.9	21.1	20	—	56.5	6.5	29
200	—	—	—	20.5	—	56.1	8.9	30.5
250	—	—	—	21.5	—	—	—	30.5
300	—	—	—	24	55.5	56.8	11.3	32.5
350	—	—	—	22.5	—	—	—	31.5
400	—	—	—	22.5	—	—	—	31
450	—	—	—	21.5	—	—	—	31
500	—	—	—	17.5	50.0	54.0	—	27
600	—	—	—	14	39.6	46.2	—	21.5
700	27.3	35.2	35.1	10.5	28.4	35.0	40.1	11.5

近で最大値を示す。また、焼鈍温度 500℃ 以上では再結晶のため急激に硬度ならびに強度が低下し、伸びが上昇するのが認められる。

Fig. 2~11 は引抜加工後 200~700℃ の各温度で焼鈍した鋼管を、+100~-190℃ の試験温度で有溝わん曲衝撃試験を行なった結果である。図よりいずれの場合も 10% 加工鋼管に比べ加工度の大きい 30% 加工鋼管のほうが衝撃値が小さく、引抜加工における加工硬化度が衝撃値に大きく影響することがわかる。試験温度による衝撃値の変化は各図より +100~-30℃ の温度範囲では常温付近で最大値を示すか、あまり変化がない傾向にあり、次にこれより試験温度が低下するとしだいに衝撃値が減少し、-190℃ では完全な脆性破壊を

示すことが認められる。なお各図縦軸の衝撃値は鋼管試験片衝撃破壊時の吸収エネルギーを試験片切欠底の断面積で除した値を示したもので、この値は当然切欠きのするどいほど小さいことが考えられる。Fig. 2~11 の実線は切欠底半径 5 mm、点線は 2.5 mm の結果で加工度 10 および 30% いずれの場合も切欠きのするどいほうが衝撃値が小さい傾向にあることが認められる。ただし、いずれも脆性破壊を示す -190℃ における試験ならびに再結晶温度以上、特に 700℃ で軟化焼鈍した鋼管についての試験では以上の切欠きならびに引抜加工度の影響は不明りようである。

Fig. 12~18 は引抜鋼管の衝撃値が引抜加工後の焼鈍しによってどのように影響されるかを検討するため、

Fig. 2~11. Effect of test temperatures on the impact value of steel tube, annealed at various temperatures after cold drawing.

以上の結果を各試験温度における衝撃値—焼鈍温度曲線として示したものである。脆性破壊を示す-190°Cの試験結果では焼鈍温度の影響はほとんど認められないが、それ以上の試験温度における結果では衝撃値は焼

鈍温度 400°C 付近より漸次大きく再結晶温度以上、すなわち 600, 700°C になると急激な増大を示す。

したがって、これらの結果と Table II の結果より引抜鋼管を軟化させず、しかも衝撃値をいくぶん改良

Fig. 12~18. Effect of annealing temperatures after cold drawing on the impact value of steel tube in various test temperatures.

するには引拔加工後 $400\sim 450^{\circ}\text{C}$ で低温焼鈍するのが有効と考えられる。かくすることにより引拔加工時に発生した内部ひずみも除去でき、安定な強じんな鋼管とすることができる。

また、上で述べた衝撃値に及ぼす引拔加工度、切欠きのするどきの影響なども Fig. 12~18 より一層明白に認められる。特に低温試験になるほど、これらの影響による差異が大きく認められ、したがって各種鋼管の衝撃強度の比較には -100°C 付近の低温で試験を実施するのが適当であると考えられる。これはこの温度付近が鋼管の延性破壊より脆性破壊へ移行する遷移温度領域に相当し、諸因子の影響により衝撃強度が大きく

変動するからである。

4 総 括

前報に引き続き小径の継目無引拔鋼管（外径 25mm ，管厚 1.5mm ，引拔加工度 10 および 30% ）の有溝わん曲衝撃強度に及ぼす試験片切欠きのするどきならびに引拔加工後の焼鈍しの影響について検討した。その結果を総括すると次のとおりである。

(1) 引拔加工度が大きくなるほど鋼管は加工硬化して衝撃強度が減少する。この場合その引拔加工度による減少度は -100°C 付近の低温衝撃試験で最も顕著に認められる。しかし、引拔加工後 700°C で軟化焼鈍しするとこのような加工度による衝撃強度の差異は不明

りようとなる。

(2) 引拔加工後200~400℃で低温焼鈍しすると、引拔加工のままの鋼管に比べ硬度はいくぶん上昇するが、衝撃強度はあまり変わらない。しかし、焼鈍温度が400~450℃になると硬度は引拔加工のままの鋼管と大差ないにもかかわらず衝撃強度はしだいに増大する。さらに600, 700℃の再結晶温度を越えた焼鈍しでは鋼管は急激に軟化して衝撃強度は急増大する。

(3) 衝撃試験片の切欠底の丸み半径が小さくて切欠きのするどいほど衝撃値は小さくなる。またこの影響は衝撃試験温度の低いほど著しく現われる。しかし引拔加工後700℃で軟化焼鈍した鋼管ではこのような切欠きの形状の影響はあまり顕著に現われない。

(4) 引拔鋼管の衝撃値は衝撃試験温度が常温付近のとき最大値を示す傾向にある。これより温度が低下すると衝撃値はしだいに減少し、-190℃ではその値はほとんど零となり脆性破壊を示す。

(5) 以上を総合して引拔鋼管は引拔加工後400~450℃で焼鈍しすることにより引拔加工のままの鋼管に比べ硬度はそれほど低下せず、衝撃強度がいくぶん大きくなり、しかも、加工時に発生した内部ひずみが除去できて一層強じんな鋼管とすることができる。

(6) 引拔鋼管の衝撃強度の比較には遷移温度領域の-100℃付近の低温で試験するのが衝撃強度の差異を明白に表わし最も適当していると考えられる。

終りにあたり本試験の材料を提供された三和金属工業株式会社に対し深く感謝の意を表する次第である。

(昭和38年5月11日 日本材料学会第12期総会講演会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 上田太郎, 田中政夫, 高岡竜太, 材料, **12**, 812 (1963).
- 2) 上田太郎, 田中政夫, 材料, **13**, 22 (1964).