引拔鋼管の衝撃強度について (第1報)*

(有溝曲げ衝撃試験結果)

上田 太郎** 田中 政夫** 高岡 竜太***

On the Impact Strength of Cold-Drawn Steel Tubes

(Ist Report, Results of Notched Tube Impact Bending Test)

by

Tarō UEDA, Masao TANAKA and Ryūta TAKAOKA

(Faculty of Engineering, Ōsaka University) (Ōsaka Kinzoku Kōgyō Co. Ltd.)

In order to determine some characteristics of the impact strength of small-diameter and thin-walled steel tubes in the longitudinal direction, we have performed the notched tube impact bending test of cold-drawn, seamless steel tubes. And in this test we have investigated the effects upon the impact strength of cold-drawn steel tubes, of the class of the steel in question (whether rimmed or killed steel) the dimensions of the tube ($25\phi \times 1.5^t$ and 2^t), the reduction rate of area by drawing (10, 20 and 30%), aging after cold-drawing ($100^\circ\text{C} \times 7\text{ hr}$, $200^\circ\text{C} \times 15\text{ min}$ and $200^\circ\text{C} \times 2.5\text{ hr}$ heating) and the impact test temperature ($100 \sim -190^\circ\text{C}$). The results obtained are outlined as follows.

(1) With larger reduction rate of area by drawing, the notched tube impact bending strength decreases in every tube, and the transition temperature rises that moves from the ductile fracture to a brittle one.

(2) The impact strength is of almost constant value between 100° and -60°C in every tube, but gets rapidly smaller below -100°C , and all steel tubes get perfectly brittle fractures at -190°C .

(3) The effect of aging after cold-drawing on the impact strength was scarcely recognized in this test.

(4) The thicker the wall of the tube, the greater is the energy absorbed in the fracture of the impact test. But the effect of various factors on the impact strength tends to be similar in both the instances of thick tubes and thin ones.

(Received July 24, 1963)

1. 緒 言

近年鋼管はその用途を漸次拡大し衝撃荷重の作用する機械部品などにも応用され、従来鋼管に実施されていた引張、扁平、曲げ、押しひろげなどのいわゆる静的試験だけではその性能表示が充分でなく、衝撃荷重下の強度の解明も必要とされている。

これに関連して今までも鋼管の衝撃強度について試験研究した報告もあるが、これらにおいてはいずれも鋼管そのままを試験片とせず、その側壁より衝撃試験片を切り出す方法によって試験を実施している。しかし実用鋼管には小径薄肉のものも多く、これらにおいてはこのような方法によりその強度を求めることは困難である。したがってこのような小径薄肉鋼管の衝

撃強度については従来ほとんど試験研究されていない現状である。

そこで従来の引張り、扁平、曲げ、押しひろげ試験などと同じく小径薄肉鋼管そのままを試験片とする衝撃試験を実施し、これら鋼管の衝撃強度に及ぼす諸因子を影響を究明することとした。ここではそのうち通常のアイゾット衝撃試験と同様な方法で実施した引拔鋼管の有溝曲げ衝撃試験結果に及ぼす鋼種（キルド鋼とリムド鋼）、鋼管寸法（管厚）、引拔加工度、引拔加工後の時効、衝撃試験温度などの影響について報告する。

2. 供試鋼管および衝撃試験方法

供試鋼管は Table 1 にその化学成分を示すリムド鋼およびキルド鋼製の継目無引拔鋼管で、この2鋼種を供試したのは引拔鋼管の衝撃強度が引拔加工後の時効によりどの程度に影響されるかをリムド鋼と時効現

* 原稿受付 昭和38年7月24日、当学会第11期総会講演会にて講演（昭37.5）

** 正員 大阪大学工学部

*** 大阪金属工業株式会社

象の少ないキルド鋼とにおいて比較検討するためである。また、供試鋼管は外径 25mm、管厚 1.5 および 2 mm の 2 種の寸法のもので、これらは Table 2 に示す引拔工程により製造され、それぞれ 10, 20 および 30 % の 3 種の引拔加工度を持ったものである。

Table 3 はこれら供試鋼管の静機械的性質を示したもので、引拔加工度が大きになれば引張強度、硬度は増大し、なかでも本供試鋼管ではキルド鋼の方が強度が大きい。なお本表中の加工度 0 % のものは引拔加工度 20 % のものを 680°C で 20 分間軟化焼鈍した鋼管である。

引拔加工後の時効の影響は各引拔鋼管を 100°C×7hr, 200°C×15min および 200°C×2.5hr 加熱して人工

時効させ、これら鋼管を試験することにより検討した。

また衝撃強度に及ぼす温度の影響は衝撃試験を 100, 60, 10 (室温), -30, -60, -100 および -190°C の 7 段階の温度で実施することにより究明した。この場合、衝撃試験をこれらの温度で実施する方法としては液体窒素、ドライアイスとアルコール、温水などを入れた魔法びん中へあらかじめ試験片を 5~10 分間浸漬保持してこれらの温度にし、その後取り出してすみやかに衝撃試験機の試験片支持台に取り付け、5 秒以内に衝撃試験が完了するような方法を採用した。

次に衝撃試験にも種々の場合があるが、本試験ではまず小径鋼管の衝撃曲げ強度を求めることとした。また小径鋼管をそのまま衝撃曲げ試験する方法としても種々のやり方が考えられるが、上述のような 7 段階の温度で試験片の温度変化が起こらないうちにすみやかに試験を実施する方法を採用したので、本試験では試験機としてアイゾット衝撃試験機を用い、これに Fig. 1 に示すような形状の有溝試験片を Fig. 2 に示すように支持し、図の打撃点のところに打撃力を与えて衝撃破壊させることとした。すなわち Fig. 1 に示すよ

Table 1 Chemical compositions of tested steel tubes (%)

Classification	C	Si	Mn	P	S	Cu
Rimmed steel tube	0.11	0.01	0.40	0.009	0.020	0.14
Killed steel tube	0.12	0.17	0.40	0.015	0.023	0.11

Table 2 Dimensions and reduction of area of tested steel tubes

Clas- sification	Dimension of tubes								Reduction of area by drawing (%)	
	Before cold drawing				After cold drawing					
	Out dia- meter (mm)	Inner dia- meter (mm)	Wall thickness (mm)	Sectional area (mm ²)	Out dia- meter (mm)	Inner dia- meter (mm)	Wall thickness (mm)	Sectional area (mm ²)	Actual	Nominal
ϕ t % 25×2×10	26.5	22.3	2.1	161.0	25.0	21.0	2.0	144.5	10.2	10
25×2×20	27.0	22.4	2.3	178.5	25.0	21.0	2.0	144.5	19.0	20
25×2×30	28.0	22.8	2.6	207.5	25.0	21.0	2.0	144.5	30.4	30
ϕ t % 25×1.5×10	26.5	23.3	1.6	125.2	25.0	22.0	1.5	110.7	11.6	10
25×1.5×20	27.0	23.5	1.75	138.8	25.0	22.0	1.5	110.7	20.2	20
25×1.5×30	27.0	23.0	2.0	157.1	25.0	22.0	1.5	110.7	29.5	30

Table 3 Static mechanical properties of tested steel tubes

Classification	Rimmed steel tube			Killed steel tube		
	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%) (l=100 mm)	Rockwell hardness (R _c)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%) (l=100 mm)	Rockwell hardness (R _c)
ϕ t % 25×2×0*	34.6	40.4	11.5	42.2	34.6	13
25×2×10	46.7	16.0	27	55.4	13.2	30
25×2×20	55.7	—	31.5	64.4	—	35
25×2×30	58.9	—	32	72.7	—	36.5
ϕ t % 25×1.5×0*	34.4	39.8	12	43.9	30.3	15
25×1.5×10	51.5	—	37	59.3	—	40
25×1.5×20	55.2	—	42.5	67.8	—	45.5
25×1.5×30	65.1	—	45.5	72.8	—	49.5

* Soft annealed at 680°C for 20 min

うに長さ 53 mm に切断した鋼管中央部に切欠底半径 5 mm の切欠きを付したものを試験片とし、これに Fig. 2 に示すような心金 (101), (102) を入れて通常のアイゾット衝撃試験法と同様な方法で試験した。衝撃試験に際しては試験片 (100) および心金 (101), (102) を一体にして魔法びん中で一定試験温度とし、これをすみやかに試験機支持台の金具 (103) および (104) の間に挿し込み、衝撃試験機のハンマーを振りおろして試験片を衝撃破壊させた。

なお、この試験の衝撃速度は通常のアイゾット衝撃試験と同じく 3.5 m/sec で試験はいずれも 2 回実施し、その平均値をもって試験結果とした。

3. 試験結果および考察

Fig. 3 および Fig. 4 は上述の試験方法により測定した外径 25 mm, 管厚 1.5 および 2 mm 引拔鋼管の衝撃破断時の吸収エネルギーすなわち有溝曲げ衝撃強度と試験温度との関係を示したものである。図より管厚 2 mm のものは 1.5 mm のものに比べ吸収エネルギーは大きい、いずれも 100 $\sim$ -60 $^{\circ}$ C, 2 mm 管厚の時効させたものでは 100 $\sim$ -30 $^{\circ}$ C の試験温度範囲でそれぞれ吸

t (Wall thickness) : 1.5 and 2

Fig. 1 Notched tube impact bending test specimen

Fig. 2 Specimen support for notched tube impact bending test by Izod testing machine

where (100) : Test specimen (104) : Setting anvil
(101) : Upper plug (105) : Clamping bolt
(102) : Lower plug (106) : Clamping nut
(103) : Setting anvil (107) : Frame

収エネルギーは温度の高低に関係なく、ほとんど一定の値を示す傾向にある。しかし、これより温度が低下すると管厚 2 mm の方はその減少割合は大きい、いずれもその吸収エネルギーは次第に小さくなり、-190 $^{\circ}$ C では完全な脆性破壊を示すに至る。焼鈍したリムド鋼管およびキルド鋼管は引拔鋼管に比べ大きな吸収エネルギーを示すが、試験温度による変化は引拔鋼管の場合とほぼ同様の傾向を示し、-190 $^{\circ}$ C ではやはり脆性破壊をする。

Fig. 5 は引拔鋼管の衝撃強度に及ぼす引拔加工度の

Fig. 3 Effect of test temperatures on the impact strength of steel tubes with $25\phi \times 1.5 t$

Fig. 4 Effect of test temperatures on the impact strength of steel tubes with $25\phi \times 2 t$

影響を明白ならしめたもので、試験温度 -190°C の場合を除き、いずれの試験温度においても引抜加工すれば軟化焼鈍した鋼管に比べ衝撃破断時の吸収エネルギーは急激に小さくなり、しかもその減少割合は最初の10%加工において著しく、これより加工度が20, 30%と上昇するに従い、その減少割合は小さくなる。特にリムド鋼管の方が加工度大なところにおける減少割合は一層小さい。したがって本衝撃試験における延性破壊より脆性破壊へ移行する遷移温度も Fig. 3 および Fig. 4 で見られるように焼鈍鋼管のものに対し加工度

10%の鋼管ではやや大きく上昇し、それより加工度20, 30%のものになるにつれて漸次上昇するという変化を示すのが認められる。

Fig. 6~8 は各引抜加工度の鋼管の時効による破断時吸収エネルギーの変化を明白ならしめるため Fig. 3 および Fig. 4 を書き直したものである。図の横軸は時効処理の効果の少ないものから順に左より右へなべたもので Hundy が Cottrell などのひずみ時効に関する転位論を応用して誘導した高温時効と常温時効との関係式を使用してこれらの高温時効を 20°C の常温時効に換算すると $100^{\circ}\text{C} \times 7\text{hr}$ は約1年、 $200^{\circ}\text{C} \times 15\text{min}$ は約10年、 $200^{\circ}\text{C} \times 2.5\text{hr}$ は約100年の常温時効に相当する。しかし図より各試験温度によって吸

Fig. 5 Effect of reduction of area in tube drawing on the impact strength of 25ϕ steel tube, as cold drawn

Fig. 7 Effect of age treatment after cold drawing on the impact strength of 25ϕ steel tube with 20% reduction of area

Fig. 6 Effect of age treatment after cold drawing on the impact strength of 25ϕ steel tube with 10% reduction of area

Fig. 8 Effect of age treatment after cold drawing on the impact strength of 25ϕ steel tube with 30% reduction of area

取エネルギーは変化するが, このような時効処理を施しても時効現象の少ないとされているキルド鋼管はもちろんのこと, リムド鋼管においても管厚 1.5 および 2 mm いずれの場合も時効による吸収エネルギーの変化はほとんど認められない。試験前キルド鋼は時効に対して純感で, リムド鋼は引抜加工後の時効によりある程度影響されることを予想したのであるが, この試験の範囲内では加工度 10, 20 および 30 % いずれの場合も時効の影響はほとんど認められない。しいて取りあげるならば $25\phi \times 2t$ 引抜鋼管を -100°C の温度で試験した結果においてわずかにその影響が認められる程度で, 時効による著しい吸収エネルギーの変化は認められなかった。

このような時効の影響が認められなかった原因としては本試験片の切欠底の丸味半径 5 mm が大きく, また衝撃速度も小さいためであったとも考えられ, 今後はこの切欠きを一層鋭く, また衝撃速度を大きくした場合などについて試験を押し進め, どのような条件のときに鋼管の時効の影響が現われるかを明確ならしめたい。

Table 4 は管厚 2 mm の鋼管試験片の衝撃破断状況の一例を示したもので, いずれの場合も $100 \sim -60^{\circ}\text{C}$ では切欠底は完全に切断しないで未切断部を持ち, $-100, -190^{\circ}\text{C}$ では完全に切断する。引抜加工度が大きいほど, また試験温度が低いほど未切断部の長さは少なくなる傾向にあり, 時効による破断状況の差異はあまり認められなかった。

4. 総 括

小径薄肉鋼管の引抜方向の衝撃強度特性を明らかにするため, リムド鋼およびキルド鋼製の外径 25 mm, 管厚 1.5 および 2 mm の継目無引抜鋼管に切欠底半径 5 mm の切欠を付してアイゾット衝撃試験機により有溝曲げ衝撃試験を実施し, これら試験結果に及ぼす諸

因子の影響を検討した。その結果を総括すると次のとおりである。

(1) リムド鋼管, キルド鋼管いずれの場合も引抜加工度が大きなるほど, 加工硬化して有溝曲げ衝撃強度は減少し延性破壊から脆性破壊へ移行する遷移温度は上昇する。しかもその衝撃強度の減少度, 遷移温度の上昇度は加工度の小なところ, すなわち 10 % 加工ぐらいまでは著しく, 加工度がこれより大になれば次第にゆるやかとなる。特にリムド鋼管の方が一層ゆるやかである。

(2) リムド鋼管, キルド鋼管いずれの場合もその衝撃強度は $100 \sim -60^{\circ}\text{C}$ の温度範囲でほぼ一定値を示し, -100°C 以下では急激に減少し, -190°C では完全な脆性破壊をする。ただし, 管厚の大きい 2 mm 引抜鋼管を時効させたものにおいては -60°C の温度では衝撃強度はすでにやや減少の傾向にある。

(3) キルド鋼管はもちろんのこと, リムド鋼管においても引抜加工後の時効による衝撃強度の変化は, 本試験結果の範囲内ではほとんど認められなかった。ただ -100°C の低温での試験結果においてわずかにその影響が現われ, 遷移温度がわずかに上昇する傾向にあるのが見られたにすぎない。

(4) 管厚が 1.5 mm から 2 mm に大きくなればもちろん衝撃破断時の吸収エネルギーは大きくなるが, 鋼種, 引抜加工度, 引抜加工後の時効, 衝撃試験温度などのこれら衝撃強度に及ぼす影響は管厚が変化してもほぼ同様な傾向にある。

終りに当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厚く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) たとえば A. Pomp, and W. Albert, Mitt. K.-W.-Inst. f. Eisenforsch. 9, 53 (1927)
- 2) B.B. Hundy Jour. Iron and Steel Inst., 178, 34 (1954)

Table 4 Typical view of fractured specimen made of $25\phi \times 2t$ steel tube

Classification	Cold drawing	Test temp.	-190°C	-100°C	-60°C	-30°C	10°C	60°C	100°C
Rimmed steel tube	10%
Killed steel tube	30%