

# 引き抜き加工時の摩擦が黄銅管の時期割れに及ぼす影響

## Effect of friction during drawing on cracking of brass tubes

関西大（院）（学）\*田中 颯彪 関西大・シス理（正）佐藤 知広 関西大・シス理（非）齋藤 賢一

関西大・シス理（非）宅間 正則 関西大・シス理（非）高橋 可昌

Soto Tanaka\*, Tomohiro Sato\*\*, Kenichi Saito\*\*, Masanori Takuma\*\*, Yoshimasa Takahashi\*\*

\* Graduate School of Kansai University, \*\*Kansai University

### 1. 緒言

Zn を 20%以上含む黄銅は、半導体検査装置や電極管などに使用される BS 管（C2700 など）に用いられているが、冷間加工後に大気中で一定時間放置し、再度冷間加工を行うことで「時期割れ」と呼ばれる損傷が発生することがある。この現象は、加工により生じた引張り残留応力を主因とする応力腐食割れの一種である。時期割れ進展メカニズムに関しては、もろい皮膜が間欠的に破壊される事に起因する *tarnish rupture* によると考えられている<sup>(1)</sup>。本研究では、時期割れの発生要因として、冷間加工の程度と経時変化の関係に加え、加工時の摩擦が残留応力や表面損傷に及ぼす影響に着目する。各工程後の試験片に対して、硬度試験、引張試験、元素分析、および表面観察を実施し、割れの発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。

抽伸加工においては、ダイスと接触する表面付近がせん断変形を受け、中心に近い部分は比較的単純な引張変形に近い形で変形する。加工中、中心に近い部分が外周部よりも先行して変形するため、金属結晶の格子縦線は弓状に湾曲する。また、ダイスの入口部および出口部では面圧が非常に高くなることが示されており、これがダイスリング欠陥（リング摩耗）の要因となると指摘されている。ダイス半角は  $4\sim 8^\circ$  の小さな角度が望ましく、断面減少率（R/P）は 15~40%程度の大きな値が適しているとされる。これに対し、過大なダイス半角や小さな R/P では、不均一変形やカッピング欠陥が生じやすくなる。特に、R/P を 10%程度まで小さくすると伸線限界が低下し、表面に割れや破断が発生しやすくなる。これらの変形挙動や欠陥の発生は、抽伸加工時におけるダイスと材料表面の摩擦状態と密接に関係している<sup>(2)</sup>。

### 2. 実験方法

#### 2.1 試験片の作製方法

本研究の黄銅管は、連続鋳造により作製された初期直径がおおよそ 10mm、肉厚 1mm 以下のシームレス管を使用する。まず鋳肌の粗さを改善するために外面にヒムキ処理を施す。その後、所定の径や厚みに達するまで、抽伸加工や厚み調整を繰り返す。繰り返される塑性加工により材料には残留応力が蓄積するため、必要に応じて熱処理を行う。最終工程まで加工を終えた試験片は、コイル状から直管状へ矯正加工を施し、所定の長さで精密切断を行った後に、超音波洗浄する。

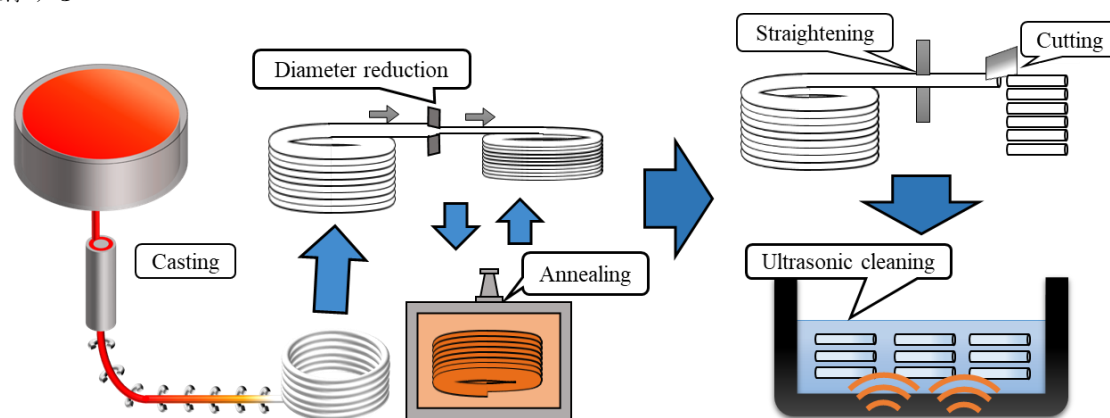


Fig. 1 Production process of brass pipe

#### 2.2 評価方法

各工程後の試験片に対して、加工直後、1 か月後、2 か月後など、経時変化の比較を、硬度試験、引張試験、元素分析、および表面観察により評価する。（1 周目：加工直後 2 周目：1 か月後 3 周目：2 か月後 と呼称する）

ビッカース硬さ試験および元素分析は、断面をエッチングし、樹脂埋めした試料を用いる。ビッカース硬さ試験は、管断面の内側と外側に数十か所ずつ、荷重条件は 100gf で行う。引張試験には、200mm~230mm で切断した試験片を使用し、各工程、各周期それぞれ 2 回ずつ行う。

各工程の詳細を Table 1 に示す。D は抽伸加工，横軸には直径の加工度を示す。最終工程はコイル状から直線状に直すため歪みを除去する矯正加工（str と呼称する）を施す。

Table 1 List of specimens for each process

	0%	8%	25%	38%	50%	60% ※1	66%	71%	76%	81%	85%	88%	90%	92%
D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※1: 60%抽伸工程の後，焼きなましを行う。

### 3. 実験結果・考察

ビッカース硬さ試験により得られた 1 周目，2 周目，3 周目の硬度の平均値および標準偏差を Fig. 2 示す。抽伸を繰り返すことで加工硬化により硬度が上昇している。平均値は 1 周目も 2 周目も同程度の値を示しているが，3 周目において，焼きなまし前の工程では硬度が高く，焼きなまし後は硬度が低くなっている。また，2 周目の 50%工程付近において硬度にバラつきがあるが，焼きなまし工程以降は硬度のバラつきがほとんどなく，組織が均質化しているといえる。3 周目に関しては全体的にばらつきが生じている。しかし，1~3 周目のすべての工程においてバラつきが特に大きい工程はないことから，抽伸加工時に加わる応力に偏りが無いことが確認できた。

引張試験により得られた 1 周目，2 周目，3 周目の最大引張応力を Fig. 3 示す。各工程，各周それぞれ試行回数 2 回の結果から平均値を算出する。ビッカース硬さと同様に，抽伸を繰り返すことで引張強度も上昇しており，類似したグラフが得られた。50%工程付近では 2，3 周目の強度が高くなっているが，焼きなまし工程以降は 1 周目の強度が高くなっている。破断面は荷重に垂直な方向のみであり，時期割れのように軸方向の割れは見られなかった。

次に時期割れについて考察する。時期割れとは冷間加工後に大気中で一定時間放置し，再度冷間加工を行うことで管の軸方向に発生する割れであるが，1 か月，2 か月放置した試験片に引張荷重を加えても時期割れと見られる割れは発生しなかった。しかし一定時間放置した管に抽伸加工を施すと割れが生じることから，本研究で用いた試験片に対する冷間加工時の軸方向への応力は，時期割れに寄与していないことがわかる。なお，細線の抽伸加工に関する研究では，加工時の摩擦が材料の品質に大きく影響するだけでなく，温度上昇の要因となり，潤滑状態の悪化やダイス摩耗，破断を引き起こすことがあると報告されている<sup>(2)</sup>。このことから，工具と材料表面との摩擦が時期割れの一因となっている可能性が高い。

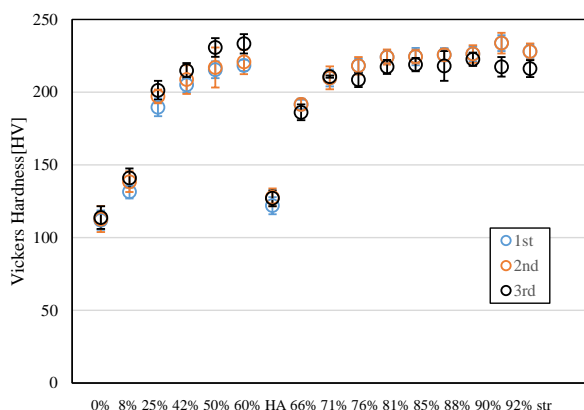


Fig. 2 Time comparison of each process of Vickers Hardness

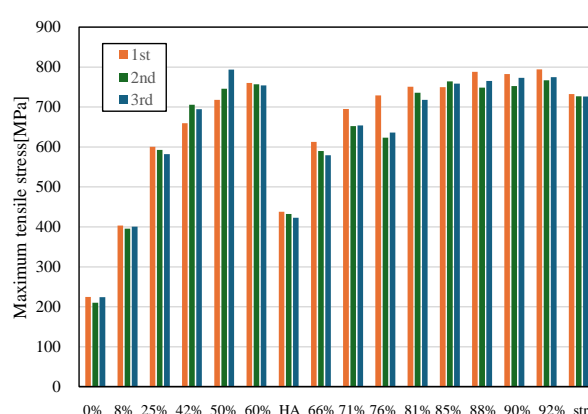


Fig. 3 Time comparison of each process of tensile test

### 4. 結言

硬度と引張強度ともに同様の特徴を持つグラフが得られた。時間経過による割れへの影響は確認できなかったが，引張試験で試験片に荷重を加えても時期割れは発生しなかったことから，冷間加工時の軸方向への応力は時期割れの主な原因ではないことがわかった。そのため，工具と材料表面との摩擦が時期割れの原因である可能性がある。

### 文献

- 1) 吉村泰治・金井恵子・喜多和彦・井上明久：Cu-30mass%Zn 合金の時期割れ感受性に及ぼす添加元素の影響，日本金属学会誌，66，9 (2002) 865-868.
- 2) 吉田一也：軽金属材料の引抜き加工，JILM，57 (2007.8).
- 3) Gustavo Aristides Santana Martínez, Oscar Rodriguez-Alabanda et al: The influences of the variable speed and internal die geometry on the performance of two commercial soluble oils in the drawing process of pure copper fine wire, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2022) 118:3749-3760.