

新塑性加工技術シリーズ 6

引 抜 き

—— 棒線から管までのすべて ——

日本塑性加工学会 編

コロナ社

■ 新塑性加工技術シリーズ出版部会

部会長	浅川基男	(早稲田大学名誉教授)
副部会長	石川孝司	(名古屋大学名誉教授, 中部大学)
副部会長	小川茂	(新日鉄住金エンジニアリング株式会社顧問)
幹事	瀧澤英男	(日本工業大学)
幹事	鳥塚史郎	(兵庫県立大学)
顧問	真鍋健一	(首都大学東京)
委員	宇都宮裕	(大阪大学)
委員	高橋進	(日本大学)
委員	中哲夫	(徳島工業短期大学)
委員	村田良美	(明治大学)

(所属は2016年5月現在)

刊行のことば

ものづくりの重要な基盤である塑性加工技術は、わが国ではいまや成熟し、新たな展開への時代を迎えている。

当学会編の「塑性加工技術シリーズ」全19巻は1990年に刊行され、わが国で初めて塑性加工の全分野を網羅し体系立てられたシリーズの専門書として、好評を博してきた。しかし、塑性加工の基礎は変わらないまでも、この四半世紀の間、周辺技術の発展に伴い塑性加工技術も進歩を遂げ、内容の見直しが必要となってきた。そこで、当学会では2014年より新塑性加工技術シリーズ出版部会を立ち上げ、本学会の会員を中心とした各分野の専門家からなる専門出版部会で本シリーズの改編に取り組むことになった。改編にあたって、各巻とも基本的には旧シリーズの特長を引き継ぎ、その後の発展と最新データを盛り込む方針としている。

新シリーズが、塑性加工とその関連分野に携わる技術者・研究者に、旧シリーズにも増して有益な技術書として活用されることを念じている。

2016年4月

日本塑性加工学会 第51期会長 真鍋健一

(首都大学東京教授 工博)

■ 「引抜き」 専門部会

部会長 齋藤賢一 (関西大学)

副部会長 吉田一也 (東海大学)

■ 執筆者

浅川基男 (早稲田大学名誉教授) 1章, 2.4～2.5節, 3.6節,

5.2節

齋藤賢一 (関西大学) 2.1～2.3節

吉田一也 (東海大学) 3.1～3.3, 3.5節, 5.1, 5.3～5.8節

相沢隆 (株式会社サイカワ) 3.4節

上井清史 (JFE スチール株式会社) 4章

岩本隆 (JFE スチール株式会社) 4章

増田智一 (株式会社神戸製鋼所) 6章

三村正直 (古河電気工業株式会社) 7章

奥井達也 (新日鐵住金株式会社) 8章

高杉直樹 (新日鐵住金株式会社) 8章

土屋昭則 (株式会社コベルコマテリアル銅管) 9章

久保木孝 (電気通信大学) 10.1, 10.3～10.8節, 11章

中野元裕 (神鋼鋼線工業株式会社) 10.2節

梶川翔平 (電気通信大学) 11章

(2017年4月現在, 執筆順)

荒木真治 | 田中浩

稲数直次 | 中野耕作

今出明海 | 前田英治

上田信一 | 宮田勝夫

川上平次郎 | 山本進

清藤雅宏 | 吉田一也

佐藤優 | (五十音順)

ま え が き

引抜き加工の歴史は古く、有史以前から比較的変形しやすい金属を線に加工する方法として多くの技術が培われてきた。現在では、対象とする形状として棒・線を中心として管などにも適用される加工方法である。また、対象は、鉄鋼・非鉄の金属材料の域にとどまらず、高分子系材料やカーボン系材料、超電導材料の製造などにも適用できる普遍的な技術として発展している。棒・線材の素材（素形材）としての可能性は大きく、二次的加工を経てボルトやばねなどの機能的要素を付加させる素地ともなり得る。そもそも、線や管の特徴である長尺の材料形状は、橋梁吊ワイヤ、送電線やパイプライン、光ファイバーといった例に見られるように、物理的にもものを「つなぐ」、「支える」という現代文明に欠かせない重要な役割を担っている。よって、機能性ととも、強く、壊れない、しなやかな機械的性質が求められ、技術開発もそういった基本的な性能向上を目指して行われてきたと考えられる。ただ、近年、さまざまな工業製品での技術の進化や発展の特徴として、機器の小型化と軽量化、そしてトータルエネルギー消費の減少を目指す傾向が挙げられる。棒・線材や管材の用途もいまでは細線・細管、極細線にまで広がっており、将来的にはナノワイヤ・チューブなる未来技術へとつながり得て、その加工方法としてもさらに深化が続いていくものと予想される。

本書は「引抜き」に関する理論、製造技術、材料、解析方法、機器・設備などを一堂に集めて紹介・解説している。また、棒・線材、管材の「引抜き」製造に携わる最前線の技術者、研究者の自らが、おのおのの最新の情報を基に記述している点が特徴である。旧版にあたる塑性加工技術シリーズ『引抜き加

工』が出版された1990年からすでに四半世紀以上が経ち、この新版作成にあたっては、その間に得られた多くの新しい技術情報を盛り込むことにも努めた。昨今さまざまなメディアを通じて迅速に情報が得られる時代においても、「引抜き」をキーワードに「棒線から管までのすべて」を参照できる本書は、読者である技術者や学習者に、一本の筋の通った有意な視点を提供するものと考えられる。同時に、古来から脈々と引き継がれてきた「引抜き」技術の本質（変わらない技術）を見いだしていただき、将来来るべき技術ブレイクスルーへと昇華していただけるものと確信している。

本書の執筆母体は、一般社団法人日本塑性加工学会の「伸線技術分科会」である。鉄鋼、非鉄、伸線、潤滑などの各メーカーが集まり1976年に開始されたこの会は、現在（2017年）まで40年以上継続しており、定例の研究集会だけでも通算80回以上の実施を数え、その間、引抜き技術に関連する多くの技術者・研究者の交流の場としての役割を担ってきた。その運営委員会には、特に今回の執筆体制に関して多くの便宜を図っていただき、ここに厚く御礼申し上げる。また本書は、旧版のデータや記述の一部を用いており、当時の執筆者および出版部会の御尽力なしには存在し得なかった。厚く御礼申し上げる次第である。また、ご多忙中にさまざまな対応をいただいた執筆者各位に御礼申し上げるとともに、日本塑性加工学会、新塑性加工技術シリーズ出版部会および出版の労をおとりいただいたコロナ社には、原稿や編集方法へのさまざまなアドバイスをいただいたことに厚く感謝する。

2017年3月

「引抜き」専門部会長 齋藤 賢一

目 次

1. 概 要

1.1 引抜き の 歴 史	1
1.1.1 世 界 の 歴 史	1
1.1.2 日 本 の 歴 史	4
1.1.3 伸線技術分科会の発足	7
1.2 引抜き技術の展望	8
1.2.1 引抜き の 要 点	8
1.2.2 巧みのワザから技術・理論へ	8
1.2.3 引抜き技術の現状と課題	10
引用・参考文献	14

2. 変形機構と力学

2.1 棒・線の引抜き	17
2.1.1 材 料 の 流 れ	17
2.1.2 引 抜 き 応 力	18
2.1.3 ダイスイ面圧と逆張力	23
2.1.4 ダイスイ角と断面減少率	27
2.1.5 摩 擦 と 潤 滑	28
2.1.6 加工材の温度変化	30
2.2 管 の 引 抜 き	32

2.2.1	引抜きの種類と理論	32
2.2.2	空引き中の肉厚の変化	37
2.2.3	管引きによる引抜き力の予測	41
2.2.4	偏肉の矯正	41
2.3	数値解析	43
2.3.1	有限要素法を用いた解析	43
2.3.2	異物を含む線材の解析	44
2.3.3	その他の解析手法の紹介	45
2.4	引き細り	46
2.4.1	引き細りとアンダーシュート	46
2.4.2	2枚ダイスによる引き細り現象	48
2.5	引抜きの残留応力	49
2.5.1	残留応力の測定方法	49
2.5.2	残留応力の測定結果	50
	引用・参考文献	52

3. 製造技術

3.1	引抜き加工工程	54
3.1.1	熱処理	55
3.1.2	脱スケール、皮膜処理	58
3.1.3	潤滑剤	60
3.1.4	引抜き条件	61
3.1.5	線材と線材との接合	62
3.2	断面減少率の設定	64
3.2.1	断面減少率	64
3.2.2	伸線パススケジュールの設計	65
3.3	ダイス	66
3.3.1	ダイス材料	66
3.3.2	ダイス材料の選択	71
3.3.3	ダイスの形状・寸法	73
3.3.4	ダイス面圧	74

3.3.5	ダイスの正しい使用	75
3.3.6	ダイスの製造・修理	75
3.4	引抜き機械	77
3.4.1	引抜き機械とその分類	77
3.4.2	伸線機	77
3.4.3	抽伸機	85
3.4.4	棒材加工機	89
3.5	引抜き材の欠陥	90
3.5.1	素材欠陥	90
3.5.2	引抜き加工による欠陥	92
3.5.3	形状不良	97
3.6	棒線の矯正	97
3.6.1	矯正の種類と基本	97
3.6.2	棒線矯正に必要な材料の特性	99
3.6.3	2ロール矯正	100
3.6.4	ローラーレベラー矯正	107
3.6.5	引張矯正	110
3.6.6	回転ブレード矯正	112
	引用・参考文献	115

4. 引抜き材の性質と評価

4.1	金属組織学的考察	117
4.1.1	繊維組織の形成	117
4.1.2	加工性と繊維組織	123
4.1.3	最近の結晶方位解析	126
4.2	機械的諸特性	129
4.2.1	加工率と材料強度	130
4.2.2	加工限界と材料特性	132
4.3	線材および線の試験方法	134
4.3.1	機械試験	135
4.3.2	銅質試験	138

4.3.3 腐食試験	140
4.3.4 非破壊試験	141
4.3.5 電磁気試験	143
4.4 線材の品質保証	144
4.4.1 非破壊試験器による品質保証	144
4.4.2 自動探傷・欠陥除去装置による表面品質の保証	145
引用・参考文献	146

5. 特殊引抜き加工

5.1 強制潤滑引抜き	148
5.2 ローラーダイス伸線およびロール伸線	149
5.2.1 孔ダイス伸線とロールによる伸線の比較	149
5.2.2 ローラーダイス伸線法	149
5.2.3 ロール伸線法	150
5.3 回転ダイス引抜き	151
5.4 束引き	152
5.5 超音波引抜き	153
5.6 温間、熱間伸線	154
5.7 ダイレス伸線	154
5.8 液体マンドレル引き	155
引用・参考文献	155

6. 鋼 線

6.1 素 材	157
6.1.1 線材の製造工程	157
6.1.2 線材の製造設備	158
6.1.3 線材の規格	161
6.1.4 線材の熱処理	163

6.2 伸線前処理	168
6.2.1 脱スケール	168
6.2.2 皮膜処理	179
6.3 伸線用潤滑剤	185
6.3.1 伸線潤滑剤の要求特性	186
6.3.2 乾式伸線用潤滑剤	187
6.3.3 湿式伸線用潤滑剤	192
6.3.4 油性伸線用潤滑剤	194
6.4 線の冷却	195
6.4.1 伸線速度とダイス寿命	195
6.4.2 伸線速度と線温	195
6.4.3 伸線速度と鋼線品質	196
6.4.4 線の冷却技術	198
6.5 線の特性	201
6.5.1 素材の特性に及ぼす熱処理の影響	201
6.5.2 伸線による諸特性の変化	207
6.6 製品例	224
6.6.1 鉄線	224
6.6.2 亜鉛めっき鉄線	227
6.6.3 冷間圧造用鋼線	229
6.6.4 ばね用鋼	232
6.6.5 スチールコード用鋼線	235
6.6.6 PC鋼線, PC鋼より線	238
6.6.7 亜鉛めっき鋼線, 亜鉛めっき鋼より線	242
6.6.8 針	246
6.6.9 磨き棒鋼	247
引用・参考文献	249

7. 銅および銅合金線

7.1 素材	255
7.1.1 銅荒引線製造方式	256
7.1.2 銅合金線製造方式	259

7.1.3 特殊線製造方式	260
7.2 伸線前処理	262
7.3 伸線加工	262
7.3.1 純銅線の加工	262
7.3.2 銅合金線の加工	265
7.3.3 異形線の加工	266
7.4 線の特性	267
7.5 製品例	273
引用・参考文献	275

8. 鋼 管

8.1 素 材	277
8.1.1 材 質	277
8.1.2 素 材 製 法	277
8.1.3 素 材 表 面	278
8.1.4 素材の延性・韌性	278
8.1.5 素材面からの歩留り，能率改善	278
8.2 加 工	279
8.2.1 引 抜 き 機 械	279
8.2.2 工 具	279
8.2.3 潤 滑	280
8.2.4 加 工	282
8.2.5 引 抜 き	282
8.2.6 空引きにおける寸法変化	283
8.3 管 材 の 特 性	283
8.3.1 管材の引抜き特性	283
8.3.2 引抜き後の残留応力	284
8.3.3 硬 度 分 布	285
8.4 製 品 例	285
8.4.1 引抜きの目的と製品の用途	285
8.4.2 寸 法 精 度	286

8.4.3 表面粗さ	286
8.4.4 機械的性質	287
8.4.5 特殊形状	287
引用・参考文献	288

9. 銅および銅合金管

9.1 素材	289
9.1.1 製造工程	289
9.1.2 製造設備	290
9.1.3 品質管理	292
9.2 加工	292
9.2.1 加工概要	292
9.2.2 引抜き加工設備	293
9.2.3 抽伸工具の種類と特徴	296
9.2.4 潤滑剤	297
9.3 製品規格	298
9.4 管の特性	299
9.5 製品例	300
引用・参考文献	301

10. その他の金属線と管

10.1 アルミニウムとその合金線	302
10.1.1 素材	303
10.1.2 加工	304
10.1.3 線の特性	305
10.1.4 製品例	306
10.2 ステンレス鋼線	308
10.2.1 素材	308
10.2.2 線の特性	308

10.3	ニッケル線	310
10.4	タンゲステン線	310
10.5	チタン線	311
10.6	ニクロム線	311
10.7	マグネシウム合金線	312
10.8	アルミニウム管	312
	引用・参考文献	313

11. 新 素 材

11.1	光ファイバー	314
11.1.1	装置概略	314
11.1.2	加熱炉	315
11.1.3	線径制御	316
11.1.4	光ファイバーの被覆技術	317
11.1.5	光ファイバーの機械強度	318
11.2	超電導線材	319
11.2.1	超電導材料の種類と用途	319
11.2.2	金属系実用超電導線材の製造工程と引抜き加工	323
11.2.3	酸化物系高温超電導線材の引抜き加工	325
11.3	複合材, その他	327
11.3.1	クラッド線の製造方法	328
11.3.2	繊維強化プラスチックの製造	330
11.3.3	複合線の実用例	332
	引用・参考文献	335

索 引	336
-----	-----

1

概要

1.1 引抜き^{えんすい}の歴史

「引抜き (drawing)」とは、棒・線・形・管材を円錐状のダイス孔に通して引っ張り、ダイス出口の断面形状と同一にする塑性加工法である。

一方、「伸線 (wire drawing)」あるいは「線引き」は線材の引抜き加工と定義されている。

本章では、引抜き^{えんすい}の歴史を踏まえ、引抜き^{えんすい}の現状と展望についてまとめてみた。

1.1.1 世界の歴史

人類は紀元前 90 ～ 80 世紀頃に銅を利用し始め、前 50 世紀には銅線が作られていた。前 40 世紀には青銅合金の線、前 28 世紀にはエジプトで金を鍛伸して丸形状としていた。その後、銅製の釣り針や金のネックレスと同時に引抜きダイスも発見され、前 15 ～ 17 世紀にはアッシリア、バビロニア、フェニキアで貴金属の伸線加工がされていた形跡がある。すなわち、引抜き加工 4 ～ 5 千年の歴史の始まりである。

図 1.1 にギリシャで発見された前 12 世紀の $\phi 1 \text{ mm}$ ほどの金線を示す。ポンペイの遺跡から前 6 世紀頃の $\phi 0.7 \text{ mm}$ 青銅線 19 本でストランドとし、これらを 3 本より合わせたロープが発見されている。

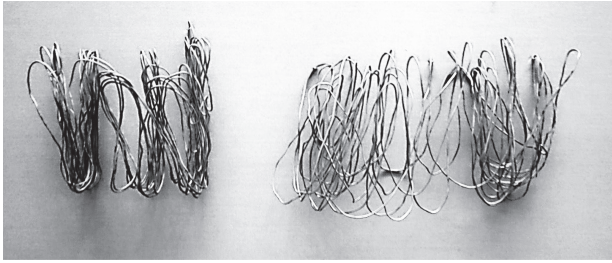


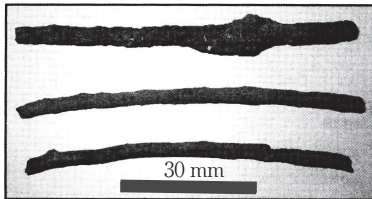
図 1.1 ギリシャで発見されたφ1mmの金線
(アテネ国立考古学博物館)

図 1.2 に中国兵馬俑^{へいばよう}で発見された前2～3世紀頃の御者と馬車の模型を示す。手綱には金線・銀線のより線が使われている。一方、鉄線は腐食しやすく保存が難しいため、現在ではほとんどが消失し詳細は不明である。

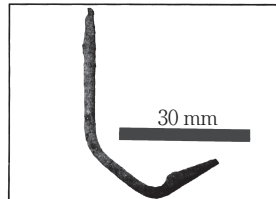


図 1.2 中国兵馬俑の御者と馬車
(兵馬俑博物館の絵はがきより)

図 1.3 に保存状態の良い工房で発見されたイギリス 12 世紀頃の鉄線と釣り針を示す^{1)～2)†}。ヨーロッパでは兵士の動きが柔軟となる鎖帷子^{くさりかたびら}による鎧^{よろい}の需要が増大し、鉄線の引抜きとその加工が盛んになった。



(a) 鉄線



(b) 釣り針

図 1.3 鉄線と釣り針

† 肩付き数字は、章末の引用・参考文献番号を表す。

図 1.4 には 1450 年頃の鉄製の鎖帷子鎧とこれを構成するリングを示す^{3),4)}。

15～18 世紀にヨーロッパでは図 1.5 (a) に示すブランコ式伸線が使用された。鉄の板に多数の穴を穿いた「叩きダイス (穴の周りを叩いてサイズを出す工具)」で、人が後ずさりしながら引き抜き、ブランコの反動で元に戻る引抜き法であり、18 世紀頃まで使用されていた⁵⁾。1350 年ドイツのニュルンベルグで人力から水車への転換が始まった。図 1.6 に 1540 年当時の水車動力による引抜きの作業を示す²⁾。1708 年イギリスのバーミンガムで鋼線メーカーが設立された。James Horsfall は 1854 年、いわゆる「パテンティング」の熱処理法を特許申請し、画期的な高強度鋼線を世に出した。

図 1.7 に 1866 年当時の Webster & Horsfall 社の伸線工場を示す。ここで最初の大西洋横断海底ケーブル用鋼線 1 600 トンを製造した。1883 年、ニュー

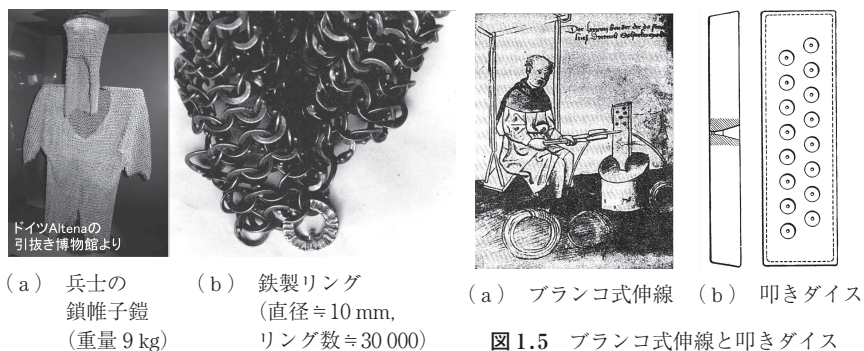


図 1.4 兵士の鎖帷子鎧と鉄製リング

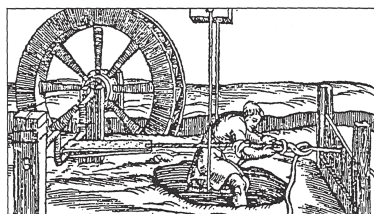


図 1.6 水車動力による引抜き

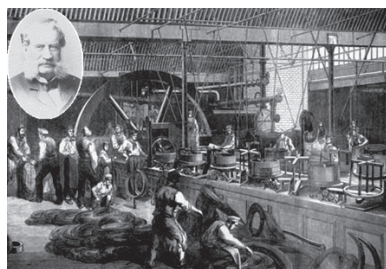
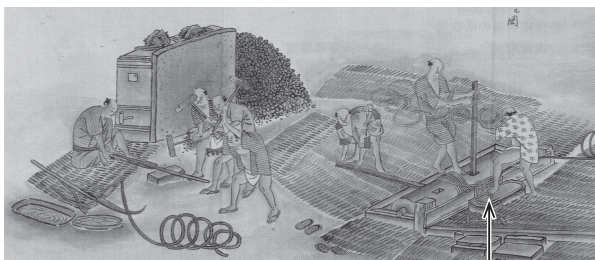


図 1.7 Webster & Horsfall 社の伸線工場

ヨークにおいて、支間 486 m, $\phi 4.2$ mm, 1 100 MPa の Brooklyn 銅吊橋が世界で初めて誕生した。ドイツからアメリカに移住したピアノ職人シュタインヴェーク (Steinweg) はスタンウェイ社 (Steinway & Sons) を設立し、Horsfall の特許で製造された高強度鋼線をいち早くピアノの弦に採用した (1855 年)。以後、工業物に使用される高品質な硬鋼線を「ピアノ線 (music wire)」と称するようになった。1930 年代ドイツで超硬ダイスが開発され、これより少し前に General Electric (GE) 社が細線用としてダイヤモンドダイスを開発、ダイス寿命が著しく延び現在の隆盛を見るようになった。

1.1.2 日本の歴史

住友家の先祖である蘇我理右衛門は 1590 年、京都で銅の製錬と加工を業とする「泉屋」を興し、線引きによる銅製品を作っていた。15 世紀から砂鉄を精錬した和鉄から縫い針や鉄線が製造され、幕末には浸炭焼入れ処理もされていた。図 1.8 (口絵 1 参照) に江戸時代末期の引抜きによる線材製造のプロセスが「先大津阿川村山砂鉄洗取之図」に残っている。当時の引抜きは叩きダイスを使用し、檜の木丸太に穴をあけて人力によって回転トルクを付与した。さらに、1850 年頃に関西の車屋利兵衛がカンザシの足 (真鍮製) を線引きし、水に恵まれていた枚岡 (現 東大阪市) で洗浄したとされている。図 1.9 に示



叩きダイス

「先大津阿川村山砂鉄洗取之図」(東京大学工学部所蔵)より

図 1.8 江戸時代末期の冷間線引き加工による線材製造
(<http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/kozan/emaki/10/index.html> (2017 年 2 月現在))

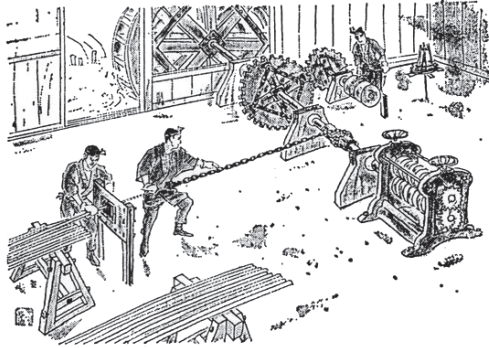


図 1.9 明治期以降の関西枚岡地区での水車動力による引抜き（一般社団法人日本銅センター刊「銅ものがたり」より）

すように⁶⁾、明治期以降水車の立地に適していた枚岡地区では銅や真鍮から鉄材の伸線に移行し、大正期に水車から電動機に代わり、昭和 40 年代初めには東大阪の伸線業は 140 社に増え、全国シェア 40% を占める地位を築いていた⁷⁾。

1907 年、官営八幡製鉄所で普通鋼線材の圧延が開始され、1908 年東京製綱が小倉でワイヤロープの操業を開始した。1917 年同社は小倉製鋼所として小形圧延工場を設立、旧住友金属小倉製鉄所の基礎を築いた。1929 年に神戸製鋼所で $\phi 5.5 \text{ mm}$ の線材が量産され始めた³⁾。この頃、伸線機械は単頭式乾式伸線機やドロベンチが多かった。戦後復興期の 1950 年代から量産志向の連続伸線機へ移行し始めた。昭和機械、宮崎鉄工の両者が貯線型連伸機を製造し、共栄社油脂、松浦興業により潤滑剤の研究が始まり、神戸製鋼所が生産を担当した。リン酸塩皮膜の使用によりダイス寿命の向上、伸線速度の向上も図られるようになった。品質・生産性の向上に伴い、工具は超硬ダイスに置き換わっていった。1960 年代では銅線用として伸線機+焼なまし機+デュアルスプーラーと一連のインラインシステムがサイカワにより本格化した。メカニカルディスクローラー、ノンストップコイラー、ダイス外周の冷却、ドラム内部の冷却（ナローギャップ式など）が普及し始めた。当時は「逆張力伸線機」²⁶⁾、「超高圧液圧伸線機」²⁹⁾、「多本同時伸線（マルチ伸線）」、「無人化伸線システ

索引

【あ】	温度分布	9	クリーブ試験	137
亜鉛めっき銅線	242	【か】	【け】	
亜鉛めっき鉄線	227	回転ダイス引抜き	形状不良	97
圧延パテンティング	163, 236	回転ブレード矯正	欠陥	90
圧着ローラー	148	拡散摩耗		
アップセットバット溶接法	63	加工限	【こ】	
孔ダイス	61	加工硬化	コイラー式	84
アプレシブ摩耗	68	硬さ試験	硬化層	139
アプローチ部	73	カッピー欠陥	鋼質試験	138
アルミニウム管	312	カッピー破断	鋼心アルミより線	306
アンダーシュート	46	カッピング	高速伸線	255
【い】		空引き	後方散乱電子回折法	127
異形線	266	渦流探傷試験	後方張力	75
異物混入	96	皮むき	極細管	154
【う】		乾式潤滑剤	極細線	152
浮きプラグ引き	32, 293	乾式伸線用潤滑剤	コーティングダイス	68
渦電流探傷試験	143	完全焼なまし	コーン式	82
打ちきず	97	【き】	コンバインドマシン	62, 88
【え】		機械的性質	【さ】	
エアブラスティング法	178	逆張力	最適ダイス角	28
エアブラスト法	59	逆張力引抜き	最適ダイス半角	73
液体マンドレル引き	155	キャプスタン	先付け	55
円弧ダイス	297	球状化焼なまし	酸洗い	171
円錐ダイス	296	矯正	酸洗ひ法	58
塩浴槽冷却方式	165	強制潤滑引抜き	酸化物皮膜	168
【お】		矯正太り	酸化膜	54
オイルテンパー	57	凝着摩耗	酸化摩耗	68
オイルテンパー処理	232	極点図法	残留応力	49, 218, 284
オイルテンパー線	232	金属せっけん	【し】	
押し加工法	291	均等パススケジュール	シェブロンクラック	93
押し出し法	260	銀被覆	湿式潤滑剤	61
温間伸線	154	【く】	湿式伸線用潤滑剤	192
温間引張矯正	111	空気パテンティング	磁粉探傷試験	143
		口付け	潤滑皮膜	232
		クラッド線	上界法	31

衝撃試験	136	ソルトパテティング	56		
焼結ダイヤモンド	71, 264			【つ】	
上部ベinaイト	244			疲れ試験	137
ショットブラスティング法	177	【た】		継ぎ目なし管	289
ショットブラスト法	59	耐候性試験	140	2ロール矯正	100
心金引き	32	体心立方晶金属	120		
靱性	133	ダイス角	73	【て】	
伸線	1	ダイス寿命	5, 72, 195	低温焼なまし	56
伸線機	77	ダイス半角	19	テーパードパススケジュール	
伸線速度	195	ダイス面圧	9, 24, 74		65
伸線前処理	168, 262	ダイヤモンドダイス	4, 61, 68	デラミネーション	209
伸線用潤滑剤	185	ダイレス伸線	111, 154	転位セル	220
浸透探傷試験	143	タークスヘッド	149	展延法	259
		叩きダイス	3	電磁気試験	143
【す】		脱スケール	55, 58, 168	天然ダイヤモンド	71, 264
スケール	54, 168	脱炭層深さ試験	139		
スチールコード	7, 235	多頭連続伸線機	62	【と】	
ステルモア方式	163	束引き	152	銅荒引線	255, 256
ステンレス鋼	308	ダブルデッキ伸線機	62	等温パススケジュール	31, 66
ステンレス鋼試験	141	玉型プラグ	280	透過型電子顕微鏡	128
すべり系	120	玉引き	293	銅管	299
すべり線場法	31	多ロール式矯正	106	銅合金管	300
すりきざ	97	タンダステン線	310	動的再結晶	268
スリット法	49	ダンサーローラー	81	等動力パススケジュール	66
スリップ型連続伸線機	81	弾性限	234	トレスカ (Tresca) の降伏条件	
		断線	44, 325		8, 20
【せ】		タンデムキャプスタン式	82	ドローベンチ	5, 62, 86, 294
脆化現象	132	丹銅	267	トロリー線	266
静水圧	31	単頭式乾式伸線	5		
積層欠陥エネルギー	119	単頭伸線機	62, 77	【な】	
石灰皮膜処理	60, 179	断面減少率	19, 61, 64	鉛パテティング	56, 204
セメントタイト	201			【に】	
繊維強化プラスチック	330	【ち】		ニクロム線	311
繊維軸	118	チェックマーク	96	ニッケル線	310
繊維組織	117, 268	チタン線	311	2枚ダイス伸線	48
センターバースト	324	抽伸	277		
せん断仕事	21	抽伸機	62, 85	【ね】	
せん断変形	22, 222	稠密六方晶金属	122	ねじり矯正法	113
セントラルバースト	93	チューブレデューサー	291	ねじり試験	135
線引き	1	超音波探傷試験	142	ねじり破断応力	216
		超音波引抜き	153	ねじり疲労試験	132
【そ】		超硬合金ダイス	67	ねじり変形	114
走査型電子顕微鏡	127	超硬ダイス	4, 61	熱間伸線	154
双晶変形	119	超極細線	255	ネックダウン	316
総断面減少率	122, 130	超電導線	319	捻回値	132, 216
組織試験	138	直接パテティング法	163		
		直接冷却方式	164		

【の】	ブルーイング	57, 241	メカニカルデスケーリング	
ノンスリップ型連続伸線機	79	ブルブロック	290, 294	59, 175
【は】	フレーク	191	面心立方晶金属	118
パイプインコイル	87, 278	フロント型	280	【や】
ハイブリッドワイヤ	332	ブロンズ法	323	焼なまし
バウシナー効果	231	分解せん断応力	120, 124, 125	55
パススケジュール	55	分子動力学法	45	【ゆ】
バーターニングマシン	89	【へ】		有限要素法
発熱	30	ベアリング部	73	31, 43
パテントイング	56, 163	平滑管	300	優先方位
ばね用鋼	232	平均変形強さ	20	118
ばね用鋼線	232	ベイナイト組織	204	油性潤滑剤
パーライトコロニー	201	変形双晶	119	61
パーライト組織	201	変形強さ	19	油性伸線用潤滑剤
パーライトノジュール	201	偏肉	41	194
パーライトブロック	201	偏摩耗	70	【よ】
【ひ】		【ほ】		溶接管
ピアノ線	6	ホウ砂皮膜	184	289
光ファイバー	314	細引き	10	溶融塩冷却方式
引抜き	1	ホットストレッチング	242	165
引抜き応力	20	ポピン式	85	横割れ
引抜き機械	62, 77	ボラックス	184	96
引き細り	46	ボラックス皮膜	60	【ら】
引張矯正	110	ボンディングワイヤ	273	ラメラ間隔
引張試験	135	【ま】		201
非破壊試験	141	巻取り機	84	【り】
被覆構造	317	マグネシウム合金	312	リジェクション
被覆銅管	300	曲げ試験	135	191
皮膜処理	179	曲げ変形	114	理想強度
表面粗さ	286	摩擦係数	19, 24	12
ピーリング機	89	摩擦仕事	21	理想変形仕事
疲労限	132	マルチプルネッキング	324	21
疲労寿命	132	マンドレル	36	リバースベンディング法
品質保証	144	マンドレル引き	32	59, 175
【ふ】		【み】		流動層バテンティング
フィードバック制御	317	磨き棒鋼	247	56
フェライト	201	ミスト方式	165	リラクセーション試験
腐食試験	140	ミーゼスの降伏条件式	35	138
ブラグ	297	【め】		臨界温度
プラスめっき	236	メカニカルデスケーラー	148	319
フラッシュバット溶接法	63			臨界磁界
ブランコ式伸線	3			319
				臨界電流密度
				リング摩耗
				24, 75
				リン酸塩皮膜
				60, 173
				リン酸塩皮膜処理
				180
				【れ】
				冷間圧造用鋼線
				229
				冷間圧造用鋼線材
				229
				レヴィー-ミーゼスの関係式
				(Levy-Mises)
				38
				連続伸線機
				5
				連続抽伸機
				62, 87
				連続鑄造法
				160, 260

【ろ】		ローラーレベラー	107	【わ】	
		ロール伸線法	150	ワイヤハーネス	273, 307
ロードセル	18				
ローラーダイス伸線法	149				
◇					
【A】		FRP	330	SECIM 方式	304
ACSR	306	【H】		SEM	127
		Heyn-Bauer 法	49	Sn 入銅	267
【B】				SPIDEM 方式	304
Belt & Wheel 法	256	【O】		【T】	
		OCC 法	260	TEM	128
【D】				Twin Belt 法	257
Dip 法	258	【P】		【U】	
DLP	165	PC 鋼線	239	Up Cast 法	258
【E】		PIC	87, 278	【X】	
EBSD	127	Properzi 方式	304	X 線回折法	139
EDC	164	【S】			
		Sachs の式	21		
【F】		SCR 方式	256, 304		
FEM	31, 43	SCS 方式	166		

引抜き——棒線から管までのすべて——

Drawing —— Drawing Technologies for Bar, Wire and Tube

© 一般社団法人 日本塑性加工学会 2017

2017年5月26日 初版第1刷発行

検印省略

編 者 一般社団法人
日本塑性加工学会
東京都港区芝大門 1-3-11
Y・S・Kビル 4F
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-04372-3 (横尾) (製本：愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします