

技術報告

UDC 621.771.252 : 669.14.015.2-426.2

冷間圧造用高級線材の製造技術の開発とその量産*

有 沢 源之介**

Research and Development of a High Quality Wire Rod for Cold Heading and Its Mass Production

Gennosuke ARISAWA

Synopsis:

The cold heading process is a working technique which has rapidly progressed recently, to make this technique possible, however, higher properties of materials are demanded because of the severe working condition.

This paper describes the aspect of developing high quality wire rod for cold heading application by improving its production techniques.

The author investigated the properties of cold headability using several testing methods which include measuring method of working load during heading.

With these testing methods, the influence of chemical composition, hardness, macro and micro structures, and surface defects were studied.

The basic researches on nonmetallic inclusions in steel were also carried out, and at the same time a number of test trials on production scale were carried out to make a good quality of steel for cold heading. In order to improve ingot moulds for making less segregated and cleaner steel, the solidification mechanism of molten steel was investigated by adding tracer elements, and several testing models in laboratories were carried out and a computer was also used to analyze their results.

On the other hand, we also improved rolling technique by our long experiences. The No. 7 wire rod mill was designed and manufactured by Kobe Steel Ltd. under the above mentioned improvements, and it is one of the most modern mills in the world. The No. 7 wire rod mill can produce heavy weighted, and large diameter wire rod with close tolerance and superior surface quality much more efficiently than before.

1. 緒 言

鋼の冷間圧造加工 (cold heading, cold extrusion, cold forging など) は、第2次大戦後に欧米において発達し、わが国へも紹介されて、1950年ごろから適用が検討されはじめた比較的新しい加工方法であるが、現在では、自動車工業界をはじめ、ネジ業界、その他の機械業界で各種部品の製造には欠くことのできない方式となっている。次ページ表は、わが国における冷間鍛造の発達経緯を示したものである¹⁾。冷間圧造加工法が、このように発達してきた理由は、この方法が、従来の切削加工や、熱間加工に比較して材料屑の発生が少なく、材料歩留の向上が計れるほか、工程の自動化・高速化による生産コストの削減や、作業環境の改善が達成でき、製品の

寸法精度も向上できるなど、数多くの利点を有しているからである。

しかし、この冷間圧造加工法の長所を完全に発揮させるためには、材料・工具・潤滑など各分野での技術的諸問題を解決することが必要であつた。とくに、材料は、冷間で非常に大きな変形を受ける場合が多く、材料に要求される品質面の諸特性としては、変形抵抗ができるだけ小さく、塑性変形能ができるだけ大きいことが望ましく、また、加工時の応力集中の起点となる材料表面および内部の欠陥は、可能なかぎり少ないことが要求されてきた^{2)~5)}。これらの諸特性は、冷間圧造機の性能が更に高速化され、また適用部品の範囲が拡大され、製品形状が複雑化するに依じて、ますます苛酷なものとなつていったが、材料メーカーおよび加工メーカーの技術改善・開発

* 昭和 49 年 9 月 17 日 受付 (Received Sept. 17, 1974)

** (株)神戸製鋼所技術部 (2 Higashi-machi Nadahama Nada-ku Kobe 657)

年代 項目	1950～1955	1955～1960	1960～1965	1965～
経 過	マイプレスの紹介 部品工業に適用 小規模な工業化	専業鍛造業の設立 熱間鍛造業者に導入	切削加工業との併用 自動車工業に浸透	機械工業全般に浸透
用 途	自転車部品 (小物)	オートバイ部品 軽四輪車部品	小物自動車部品, 電機部品, 軸受	大物自動車部品, カメラ 部品, 建設機械, 高压容 器
目 的	素材費の節約によるコス トの低減 (旋削作業の代用)	増産にたいする期待, 自 動車産業の自由化	加工工程の節減, 熱間鍛 造品の代用	冷間鍛造効果による加工 工程の合理化
材 質	低炭素鋼 (S 10C～S 25C)	高炭素鋼 (S 45C～) 低炭素合金鋼 (SCM 21, SCR 22)	高炭素合金鋼 (SCM 3, SCR 4) 軸受鋼 (SUJ 2) 低炭素 13Cr ステンレス鋼	炭素工具鋼 (S K 3～5) 耐食, 高力アルミ (52 S, 56 S 14 S, 24 S)
重 量	<100 g	100～300 g	300～500 g	500 g～2 kg
プレス	<200 t ナックルジョイントプレ ス	400 t ナックルジョイントプレ ス, クランクプレス	600 t ナックルジョイントプレ ス	800～1,000 t クランクプレス, 高速油 圧プレス
加工法	すえ込み, 後方押出し	後方押出し, 前方押出し	複合押出し	複合法

の進歩とあいまつて今日の発展を見たのである。

2. 冷間圧造用高級線材の特長

冷間圧造用高級線材は、冷間圧造加工専用に設計、製造された線材であり、その特長とするところは、

① 冷間成形性が大である。すなわち苛酷な冷間成形に十分耐え得る純度と粘ばさをもっている。

② 表面品質がすぐれている。すなわち冷間圧造時に有害な表面欠陥が極めてすくない。

③ 内部品質が健全でかつ均一である。

④ 鋼種や寸法が豊富である。すなわち冷間加工方式や用途に応じた適切な材料の選択が可能である。

Table 1 は、昭和 47 年度における当社の冷間圧造用高級線材の生産量と全国比率および各品種について、その代表的用途例を示したものである。炭素鋼は、経済性の点からもつとも広範囲に活用されており、製鋼時の脱酸方法のちがいによつて、リムド鋼とキルド鋼とに大別されている。とくに、アルミキルド鋼は、より苛酷な冷間加工に耐え得る材料として、当社が十数年前に独自のアイディアで、冷間圧造用線材の一品種として開発した

Table 1. Production tonnage of KCH wire rod in 1972 and their typical application.

Grade of steel	Production tonnage (×1000 t/year)	Production ratio in Japan (%)	Typical application
Structural Carbon steel	* Silicon killed steel 180 * Aluminum killed steel 65 * Boron steel 25	60	* Silicon killed steel Bolt, nut, ball joint, hub bolt * Aluminum killed steel Tubular rivet, plug, screw, tapping screw, hub nut * Boron steel High tension bolt
Low alloy steel	80	30	Socket screw, pin ball joint, hub bolt
Low carbon rimmed steel	170	49	Bolt, Nut
	Total 520	47	

Table 2. Comparison between cold heading process and machining process on the production of spark plugs.

	Machining process	Cold heading process
Material	* Straight bar (Round section) * Free cutting steel (Sulphue)	* KCH Wire rod * Low carbon aluminum killed steel
Production method	Drawing to hexagon section bar ↓ Machining by 6 axes Automatic cutting machine	Wire rod ↓ Spherodise annealing ↓ Cold heading by high speed transformer
Production speed	1	12 times compair to machining
Material yield	1	3.8 times compair to machining

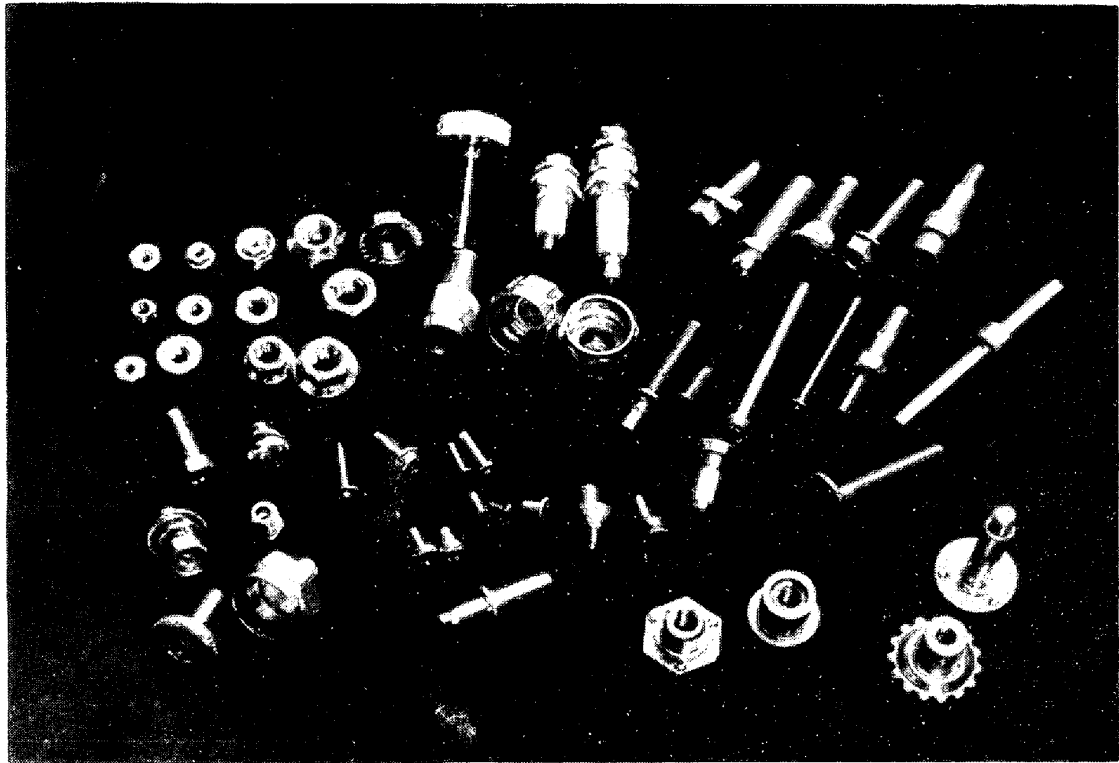


Photo. 1. Example of cold heading parts.

もので、その後の改良の結果、変形抵抗がより小さく、塑性変形能が大きく、歪み時効性が少ないなどの優れた特性から、より複雑な形状の冷間圧造用素材として使用されるようになってきた。Table 2 は、この低炭素アルミキルド鋼の冷間圧造用線材を用いて、従来のシリコンキルド鋼では達成することのできなかつた冷間成形法に成功した“点火プラグ”について、加工速度と材料歩留の2点から、従来法との比較を行なったもので、冷間圧造加工法がいかに優れたものであるかがよく理解できる。Photo. 1 は、冷間圧造用高級線材を用いて、冷間圧造法によつて成形された部品の数例を示したものであ

る。

3. 冷間圧造用高級線材の製造技術

冷間圧造用線材として、是非とも具備されるべき品質特性は数多いが、線材から最終製品までの加工条件・加工度を考えた場合、製鋼作業から造塊・分塊・圧延の各作業および線材の二次加工をも含めた総合的な研究・開発および品質管理が必要であり、研究開発部門と現業部門との緊密な連携のもとに逐次問題点を解決し、今日の冷間圧造用高級線材の生産体制を確立することができたといえる。冷間圧造用高級線材の製造で特に、改善・開

発の主要な諸点は、

- ① 鋼そのものの冷間圧造に対する諸特性を把握し、これを向上させること
 - ② 鋼中非金属介在物の生成原因および製品中の介在物の形態・分布を把握し、介在物の減少と、冷間圧造時の悪影響を減少させるための形態・組成の変換をはかること
 - ③ 素材に残留する表面欠陥を、加工度に応じてある水準内に調整すること
- などであった。

右表は、冷間圧造用材料の諸性質とそれらの主要因子および試験方法を取りまとめたものであるが⁶⁾、当社では、冷間圧造用高級線材の全品種について、実地の冷間圧造作業における材料特性を基礎的に把握し、実証的確信を得るため、独創的な冷間圧造機を開発設置し、基礎実験と量産テストを実施し、この結果を、材料・工具および潤滑などの品質改善に結びつけていった。

当社の冷間圧造試験機の一つは、「300 t 冷間圧造プレス」で、このプレスは、加工速度が 150~550 mm/sec に調整可能であつて、直視式電磁オシログラフにより、荷重-時間、行程-時間、圧力-時間などの関係が自動的に記録されるよう設計されている。

また、他の一つは、Photo. 2 に示す「3/4 in. 高速度

ダブルヘッダーで」加工速度が毎分 60~150 個まで自由に調整可能で、加工応力は、直視式電磁オシログラフに

性 質	主 要 な 因 子		試験 プログラム
変形抵抗	材料かたさ 加工硬化率	化学成分 (炭素, 合金 元素) 組織	圧縮試験 圧縮—かたさ 試験
延 性	材料ネバサ	化学成分 (不純物)	拘束形圧縮 試験
機械的性質	降 伏 点 引張り強さ 伸 縮 びり	化学成分 熱処理状態	引張り試験
ひずみ時効性	時効硬化率	溶解条件 不 純 物	時効性試験
組 織	炭化物の分布 結 晶 粒	熱処理条件 溶 解 条 件	顕微鏡組織 試験
表面状況	表 面 キ ズ 脱 炭 層	製鋼圧延条件 鋼片手入れ条 件	酸腐食試験 ねじり試験 脱炭層深さ試 験
寸法精度	真 . 円 度	線引き条件	寸法試験
調 質 性	焼入れかたさ 結晶粒度	化学成分 溶解条件	焼入れ試験

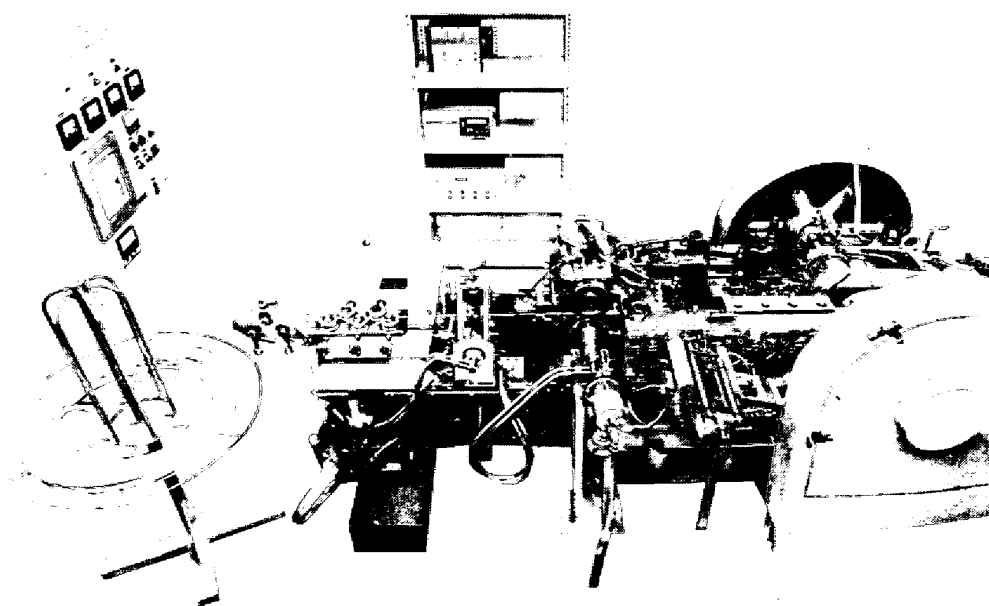


Photo. 2. 3/4 inch high speed double header.

よつて自動記録される方式にしている。このヘッダーは冷間のみならず温間加工も可能であつて、温間鍛造の新しい分野を研究中である。

これらの計測装置付冷間圧造試験機器によつて、素材の化学成分・硬度・組織・表面欠陥・内部欠陥および加工温度などと圧造性の関係が把握され、それらのデータは冷間圧造用高級線材の品質設計および工程設計に活用されてきた。

Fig. 1 は、300 t プレスを用いて種々の鋼の冷間圧造性を評価した一例を示したものである⁷⁾。図中の cold headable limit (%) とは割れが発生し始める圧縮加工率のことである。

つぎに、鋼中の非金属介在物の制御についてのべると鋼中に残留する非金属介在物の量はできるだけ少なく、また加工法を考慮してできるだけ無害な形態にすることが良質の鋼を生産する基本条件であり、当社では、介在物に関する一連の息の長い基礎研究と、これをベースとした実操業面での試行を繰り返し、その量の減少と形態の変換を実施してきた。

介在物に関する研究の第一歩としては、まず介在物の認定が重要な課題であるが、この問題に関しては、微細な介在物の観察や、その結晶構造の認定ができる手段として、電子顕微鏡観察および電子線回折を駆使した研究

を実施してきた。hercynite ($\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), magnesia spinel ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), MnS , AlN あるいは Fe_3C などの識別、認定はこの方法によつて可能である⁸⁾。一方比較的大型の介在物に対しては、電子線の物質に対する透過力には制限があるので、上記の電子線回折が不可能になる場合が多い。この難点を解決するために、反射電子線回折法を改良し、補助的な低速電子銃を併用して、たとえば、中炭素鋼々材に認められた巨視的介在物の明瞭な回折像を得ることに成功し、 β -クリストバライト (SiO_2) およびムライト ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) の存在を確認した⁹⁾。

このようにして、介在物の組成を知ることから、製鋼時の酸素コントロールおよび添加する脱酸剤の種類とその添加量・添加時期・添加順序などとの関係を系統的に把握し、鋼材の用途に応じた脱酸技術を確立してきた。この技術は、同時に合金鉄添加の技術にも活用され、アルミキルド鋼の生産、ボロン添加鋼の工業規模での生産に成功し、冷間圧造用高級線材の規格鋼種の範囲拡大に寄与させることができた。

非金属介在物の研究と同時に、鋼塊の凝固に関する研究と鋳型設計についても積極的に取り組み、鋳型内容鋼の凝固のメカニズムを知り、これを制御することによつて鋼塊内の成分偏析、介在物偏析の軽減につとめた。鋳

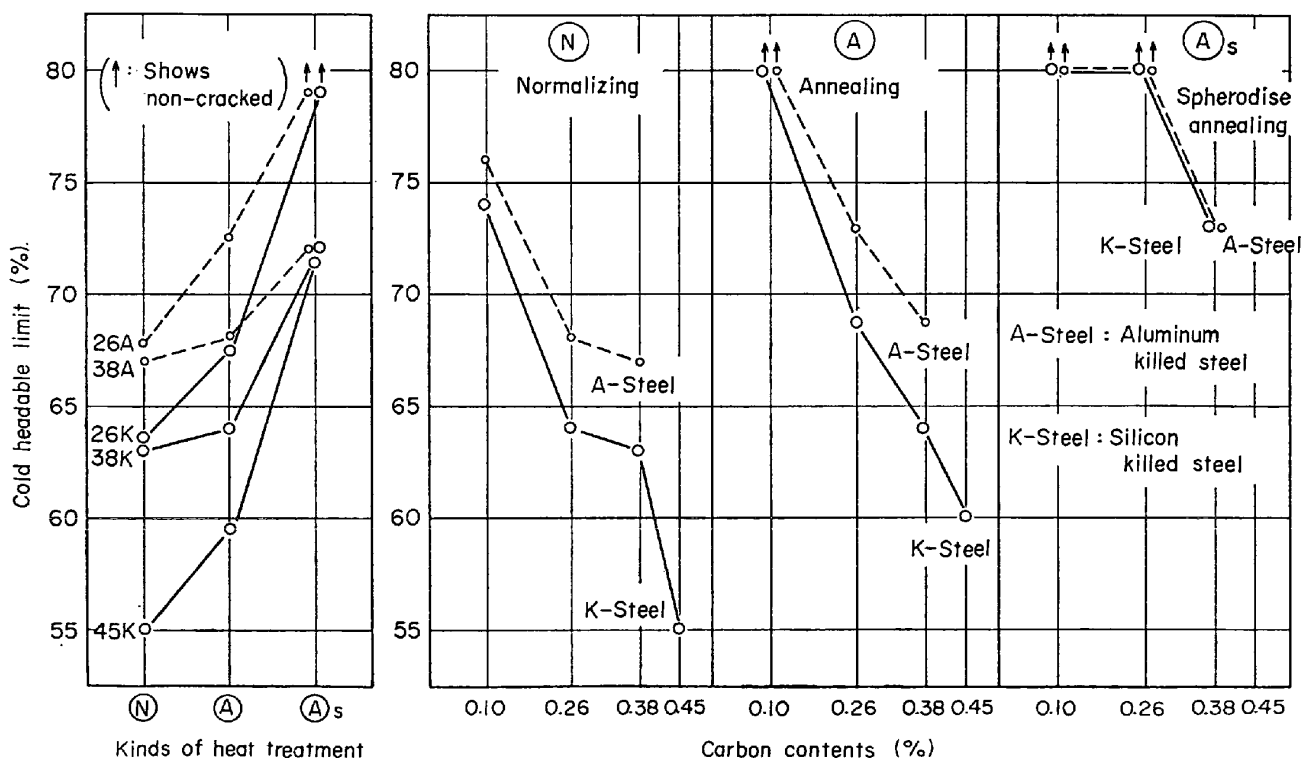
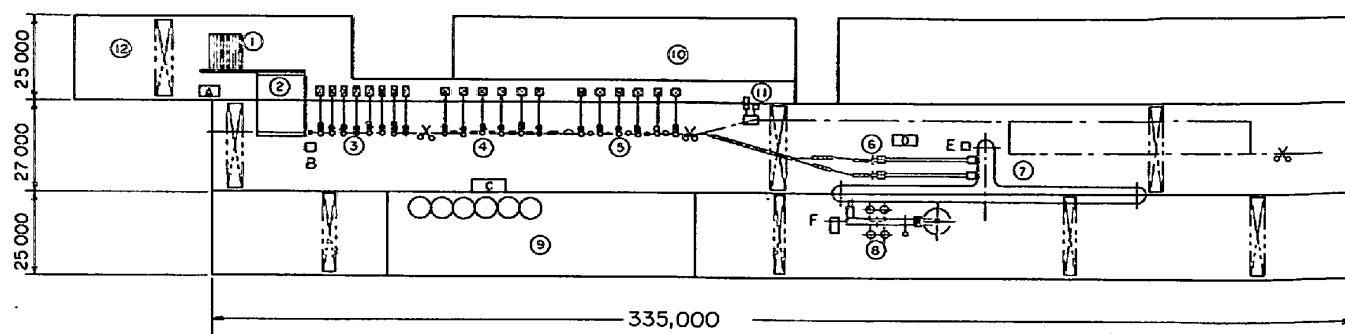


Fig. 1. Comparison of cold headable limit by the difference of grade of steel and heat treatment.



- | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Billet charging device | 5. Finishing train | 9. Water treatment station |
| 2. Billet reheating furnace | 6. Coilers | 10. Electrical control room |
| 3. Roughing Train | 7. Hook conveyor | 11. Schloemann block |
| 4. Intermediate train | 8. Coil binding machine | 12. Billet yard |

A. F. PULPITS

Fig. 2. Layout of No. 7 wire rod mill.

型ディメンジョンおよび注入条件の設定は、造塊作業においては極めて重要な作業であると共に、適正重量の鋼塊を使用することは生産性の点からも無視できない問題である。

当社では、鋳型内の溶鋼の挙動および凝固過程での凝固面の進行状況を知るため、トレーサ元素の活用をはじめ¹⁰⁾、モデル実験、大型コンピュータによる凝固過程の解析などの技術を総合して、鋳型ディメンジョンの設定および注入条件設定の基礎としてきた。

冷間圧造用高級線材製造に関して、圧延部門では、高級線材の製造可能な圧延工場を過去の長い経験に設備の改善・開発を加えて設置してきた。Fig. 2 にそのレイアウトを示した第7線材工場は、このような背景から1969年に稼動を開始した。新鋭の線材工場であり、1925年の第1線材工場稼動以来当社に7番目に設置された線材工場である。この工場は、現在7mmφ から38mmφまでの太番線材を主体に、冷間圧造用、みがき棒用などの高級線材を月産約4万t生産している。

その特徴とするところをあげれば、

① 加熱炉は、110mm角および150mm角、最大長さ12mの鋼片を使用して、80t/hrの能力を有する炉床移動式を採用し、炉床は長手方向に2分割されており、鋼片の送り間隔を変えることによつて脱炭量の抑制が可能である。

② 圧延機は、水平ロール10台、垂直ロール10台の計20台から成り、それらは交互に、直線状に連続配置されている。各ロールは、直流電動機で各個に駆動され、組列ではテンション量を調整し、中間列以降ではループ調整を行ない、いわゆるテンションフリーの圧延で製品寸法はきわめて良好である。また別に、細物サイズの仕上圧延用としてシュレーマンブロックが設置されている。これは8台のロールユニットがコンパクトに組込

まれたもので、各ロールは45°に傾斜し、交互にX型に配列され、高速圧延で、ねじれがなく、良好な寸法精度がえられている。

③ 省力設備としては、工業用TVの活用による運転台の統合、ロール組替のためのスイッチ・ターン・ボックスの開発、コイルの自動秤量および自動結束機、高能率のロールグラインダによるロール管理、熱間滑流疵傷器の採用など数多くの工夫がされている。

4. 結 言

1925年に、線材の生産を開始し、自動車工業、機械工業界などへの特殊線材の供給を目標に、初期の普通線材生産から逐次高級線材生産へとその生産体制を変えてきた。

なかでも冷間圧造専用的高级線材は、1955年から生産・販売を行なつてきたが、この冷間圧造用高級線材の出現が、わが国部品製造の成形法を従来の切削加工中心から冷間圧造中心の加工へと大きな転換を与え、生産性の向上と素材の節減などあらゆる面で、生産の合理化に大きく寄与できたことは、線材メーカーとして誇りとするところである。

冷間圧造加工法は、今後も更に広範囲の領域にまで拡大・適用されるであろうし、ますますその重要度を増してゆくものと確信する¹¹⁾。素材メーカーとしても、加工メーカーと一体となつて、更に製造面、製品面での新分野を開拓し、その発展の原動力となりたいと考える。

文 献

- 1) 日刊工業新聞社：鍛造ハンドブック，p. 273
- 2) 裏川：マシナリー，(1964) 2月12日号，p. 269
- 3) 裏川：プレス技術，vol. 4, No 7, p. 38
- 4) 谷：マシニスト，(1967) 9, p. 47
- 5) 清水：特殊鋼，vol. 9, No 9, p. 15
- 6) 裏川：神戸製鋼技報，vol. 19, No 2, p. 14

-
- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 7) 裏川: 塑性と加工, vol.8, No 81, p. 539 | 10) 成田ら: 鉄と鋼, 58 (1972), p. 118 |
| 8) 成田: 神戸製鋼, 8 (1958), p. 115 | 11) 浅田: 鉄と鋼, 59 (1973), p. 62 |
| 9) 成田, 森: 鉄と鋼, 46 (1960), p. 757 | |
-