

がある。管端厚肉化については従来から理論的取り扱いが行われていたが、内面6角張りについても実験的解明が進みメカニズムが明らかとなった。また剛塑性有限要素法による解析も一般化した。しかしまだ肉厚の計算精度や計算時間にやや問題があり実生産の孔型、回転数の決定には用いられていないようだ (Fig. 4.49)。

#### (b) レデュースの計算機制御

制御機能として、管1本ごとの長さを制御する伸ばし長さ制御、レデュース特有の管端厚肉化を軽減するためのクロップエンドコントロールがすでに以前から実用化されているが、オンライン肉厚計の進歩によりレデュース出口側で管肉厚を測定して結果のモニターを行うことが一般的となりつつある。さらに最近ではレデュースの入口側で測定した肉厚情報に基づく管長手方向肉厚分布制御も実用化されている。今後は $\gamma$ 線肉厚計の応用、制御モデルの改善による高精度化が継続されるものと思われる。

#### (5) 工具・潤滑

##### (a) 工具の高寿命化技術

材質の高合金鋼化に伴って、工具・潤滑技術の進歩も著しい。ピアサで高合金鋼を穿孔するときに、プラグ先端部の溶損が生じて問題となる。このためプラグ熱負荷に関する基礎的な検討や新材質プラグの開発が行われている。穿孔時のプラグ温度の測定や、プラグ先端には高温強度の高い材料、また胴部には摩擦特性に優れた異なった特性を有する材質が必要との見解もある。岡らは高温強度向上を目的として Mo, W, Nb を添加し、プラグ表面酸化スケール皮膜の膜厚を増すために Cr 量を低減し、さらに酸化皮膜と母材の密着性の向上を目的として Co を添加することによって新材質のプラグを開発している。この結果 13Cr ステンレス鋼穿孔において従来の3倍のプラグ寿命を達成した。Fig. 4.50 に表面酸化皮膜の比較を示す。従来材質では酸化皮膜が薄くかつ母材と酸化皮膜の界面が比較的平坦であるのに対し、新材質では膜厚が厚くかつ母材との界面が複雑に入り組んでおり、密着性

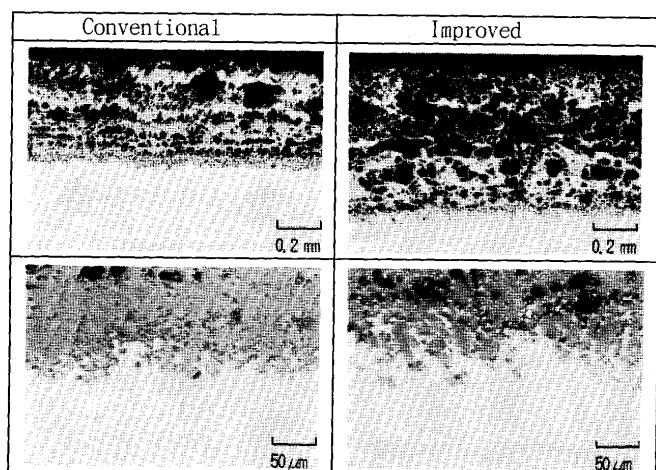


Fig. 4.50. Cross sections of plug surfaces. (CAMP-ISIJ, 6 (1993), p. 382)

向上が期待できる。またロールに関してもピアサロールの合金鋼穿孔時の損耗機構の解明やマンドレルミルロールへの高Crロール適用の試みがなされている。

##### (b) 潤滑技術

高合金鋼を圧延する際のもう一つの問題点は工具と材料の焼付きである。焼付き対策としてピアサのディスクガイドに摩擦係数の低下の小さいホウ酸系の潤滑剤を用いる技術や、圧延材に酸化鉄と水ガラスの混合物を塗布してロールとのスリップを発生せずに焼付きを防ぐ技術などが開発されている。マンドレルミル、レデュースについても高合金鋼圧延時にはロール焼付きが生じやすく、マンドレルミルにはホウ酸系の潤滑剤、レデュースには通常の油性潤滑油が試用されている。

#### (6) あとがき

熱間継目無鋼管の大量生産ラインの技術動向について解説を行った。穿孔圧延に関し特筆すべきことは交叉穿孔機の開発であり、難加工性材料の穿孔を可能とただだけでなく高加工度を可能とする優れた特性を有しており、製管ラインの簡略化に寄与している。マンドレルミルについては当初小径管用の技術として開発された圧延技術が、技術の成熟と(設備)更新の時期とも関連してしだいに大径管製造に用いられるようになっており、また設備もコンパクト化、スタンド数も減少の方向にある。上工程との関連において、鋼片サイズを統合する必要から製管工場において中間外径サイジングを行ったり、穿孔機により異なる外径を作り分けるなどの新しい技術も採用されている。さらに解析技術、計測・制御技術の進歩により高精度、高品質製造への努力も継続されている。また製造する材質の高級化に伴って、工具・潤滑技術も着実に進歩し、工具寿命に及ぼす諸因子の影響についての理解が進み、工具寿命の延長が図られた。

#### 4.4.3 溶接鋼管製造

##### (1) 電縫鋼管製造

電縫鋼管製造技術の高度化に伴い電縫鋼管の品質に対する信頼性は大幅に向上し、コスト的あるいは肌・寸法精度などの優位性を背景に継目無鋼管や潜弧溶接鋼管分野への進出が顕著となった。

電縫鋼管製造技術の高度化として成形技術、溶接技術といった電縫鋼管製造技術の改善開発の他に素材製造技術、品質保証技術などの周辺技術の改善開発により溶接品質の信頼性が大幅に向上した。特に素材製造技術(コイル形状・寸法精度の向上、鋼の清浄化、制御冷却など)の改善開発により製造品種の高級化およびサイズの拡大が図られた。

生産構成の多品種・小ロット化傾向への対応として、ロール組替えの高能率化、ロール位置の自動設定化などが進められた。またコストダウン対応として、ミルの高進化や省力・省工程化を目指した自動化技術の推進、ライン構成の見直しなどが図られた。この傾向は今後ともさらに進むものと思わ

れる。

(a) 成形技術

大中径管分野では高強度薄肉ラインパイプなどの薄肉管成形時のエッジバックリング防止対策としてフルケージフォーミング法、セミケージフォーミング法が用いられ効果をあげてきたが小径管分野でもフルケージフォーミング法が薄肉管成形に採用され効果をあげた (Fig. 4.51 参照)。

小径管の高 t/D 成形 (t: 板厚, D: 外径) には W ベンド成形法, 複合成形法などが用いられ, t/D=20% を超える極厚肉鋼管が製造された。複合成形法はミルの入側で鋼帯エッジ部に予成形を与えたあと, ブレークダウン水平ロールおよびサイドロールでエッジ部を拘束しながら成形する方式である (Fig. 4.52 参照)。

生産構成の多品種・小ロット化傾向への対応として, ロール組替時間の短縮化は重要な課題である。その対応としてサイズ兼用化を狙ったチャンスフリー成形技術の開発がなされており, 極薄小径管を対象としたロールレスフォーミング法

やリニア・フォーミング法・フレキシブルフォーミング (FF ミル) 法・バルジ・ロールフォーミング (CBR ミル) 法・TCA 法など種々の成形方式に基づくミルが出現した。その一例として Fig. 4.53 に FF ミルで鋼帯幅の異なる鋼帯を一組の共用ロールで成形した時の状況を示す。

(b) 溶接技術

溶接品質の信頼性向上, 製造品種の高級化対応として引続

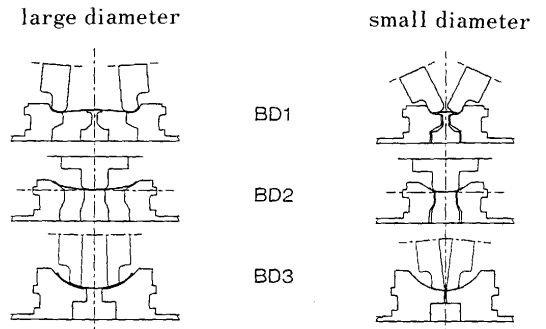


Fig. 4.53. Chance-free forming.

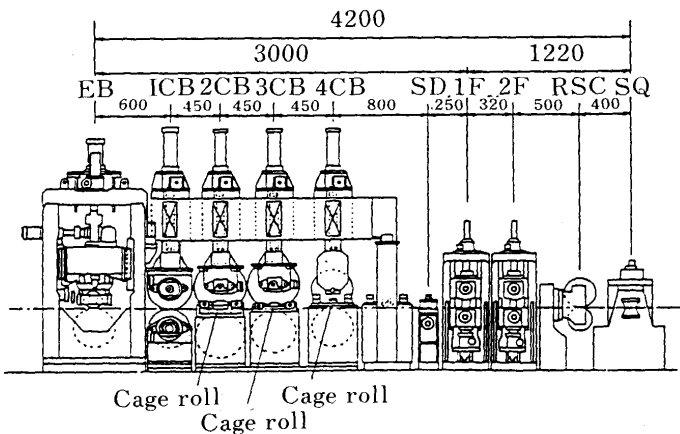


Fig. 4.51. CBR mill (range of products, OD: 21.3-60.5φ, t: 0.8~2.5 mm). (CAMP-ISIJ, 4 (1991), p. 1466)

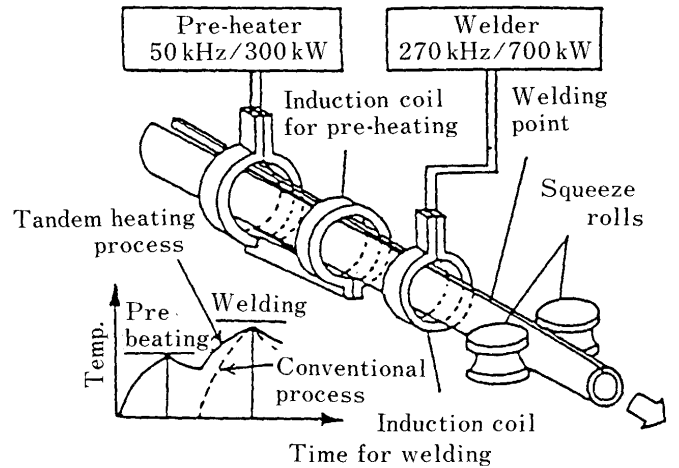
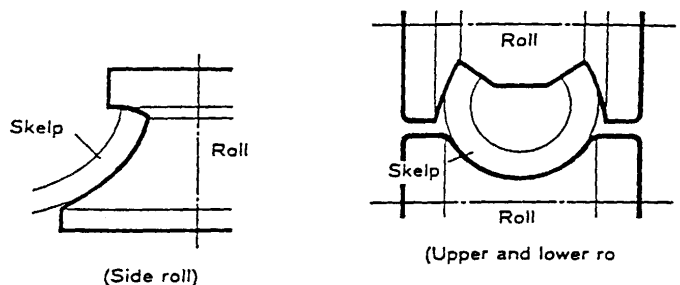
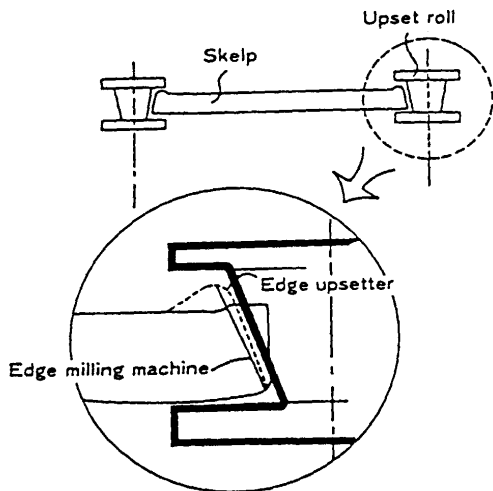


Fig. 4.54. Combined welding method. (CAMP-ISIJ, 3 (1990), p. 888)



edge wall thickening forming

edge constraining forming combined shaping methods

Fig. 4.52. Combined shaping methods. (Proc. the 129th Symp. Jpn. Soc. Technol. Plast., (1990))

き入熱自動制御システムや雰囲気溶接技術の改善開発がなされた。また、高周波加熱ではその強い表皮効果のため鋼帯エッジ端面のコナ部に電流が集中し肉厚中央部がコナ部に比べ加熱されにくい特性を有するので、時として溶接不良発生の原因となる。その対策として、厚肉材に対し中周波溶接法の採用が報告されていたが、さらに複合加熱溶接技術が開発され実用化された。この溶接方法には中周波予熱+高周波溶接より肉厚方向の均一加熱化を図る方法 (Fig. 4.54 参照), あるいはレーザ加熱+高周波溶接にてレーザの多重反射式ビーム集光法により肉厚中央部を補助加熱・溶融する方法があり小径サイズの厚肉材料管や自動車排ガス用ステンレス鋼管などのように過酷な2次加工を受ける品種の製造に適用されている。

ステンレス鋼管用として従来の TIG 溶接法に代わってレーザ溶接法あるいは高周波予熱+レーザ溶接法が採用され、溶接速度の高速化、品質の向上などが図られた。

内削技術も改善が行われ、切削形状の監視技術が開発された。方式とし接触式センサーにより直接ビード形状を測定する方式や超音波厚み計あるいは光学的に測定する方式などがある。

#### (c) ポストアニール技術

肉厚方向温度差の減少、加熱パターン適正化、シーム做い改善がさらに進んだ。高強度・高靱性ラインパイプ製造の要求に対処するため、Fig. 4.55 に示すように第1加熱ゾーンで  $Ac_3$  変態温度以上の加熱を施した直後に、急水冷、第2加熱ゾーンでの再加熱を施すダブルシーム熱処理方式がなされるようになった。

#### (d) 品質保証技術、品種・サイズ拡大

溶接部非破壊検査はオンラインでの品質保証化が進み、溶接直後に設備された非破壊検査機器により品質保証がなされるようになった。それに伴いシーム做い自動化、欠陥弁別装置の開発などがなされた。寸法測定の自動化も進み計算システムによる品質保証体制が図られるようになった。

大中径管関係では高強度・高靱性で  $H_2S$  や  $CO_2$  などの環境に耐える耐食性も有するラインパイプの製造がなされ、用途的にも従来継目無鋼管や潜弧溶接鋼管分野とされたオフショアにも使われるようになった。高強度・高靱性鋼管として X-80 グレード相当まで製造可能となった。油井管関係では APIN-80 相当の高強度アズロール型電縫油井管が開発された。また、コラム用として最大寸法 550□, 最大板厚 22

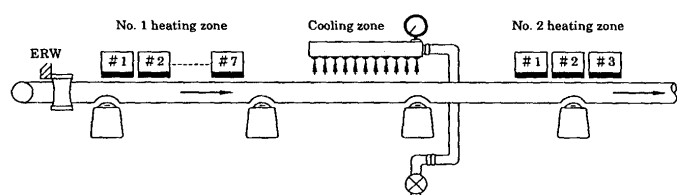


Fig. 4.55. Double-seam heat treatment method. (CAMP-ISIJ, 2 (1989), p. 429)

mm まで製造が開始された。

小径管関係では熱間絞り圧延機 (ストレッチレデューサ) を利用し長尺化された鋼管を連続的に巻き取るコイル状長尺鋼管が開発された。また、自動車用として、 $1,470 N/mm^2$  級の高強度を得るドア補強用鋼管も製造された。

#### (2) 鍛接鋼管技術

鍛接鋼管は熱延鋼帯を加熱炉で  $1,200^\circ C$  前後に加熱しロールで鍛接して製管するのが一般的な方法であるが、従来の溶接法に代わり高周波溶接法を採用した ERW+SR (ストレッチレデューサ) 方式の熱間連続ミルが出現した。この製管方法は熱延鋼帯を  $700\sim 800^\circ C$  に加熱し、ロールで成形したあと鋼帯エッジ部を高周波誘導溶接し、さらに加熱・レデューシングすることにより溶接部を含めた管全断面が均一な組織を持つ鋼管に連続的に製管するものである (Fig. 4.56 参照)。また、高周波溶接法の採用による溶接部品質の信頼性向上と低温でのレデューシングにより表面肌の改善が図られ、従来低グレード品種が対象であった鍛接鋼管から新分野への進出が図られた。

コストダウン対応としてはエネルギー原単位低減対策としてエッジヒータ設備導入による低温製管法の適用、歩留向上対策としてスケール生成防止技術の適用などが挙げられる。スケール生成防止技術は加熱炉内で鋼帯を加熱する際、生成される1次スケール防止対策としての2層雰囲気燃焼技術の応用による無酸化加熱技術と加熱炉出側での圧延・搬送中に生成される2次スケール防止対策としての無酸化搬送技術からなっており90%に近いスケール生成低減効果が得られた。

#### (3) サブマージドアーク溶接鋼管技術

##### (a) スパイラル溶接鋼管技術

スパイラル溶接鋼管の主用途は、鋼管杭および鋼管矢板で代表される土木建築用鋼管であり、特にウォーター・フロント域の開発に伴い大径化、厚肉化、長尺化の傾向を示してき

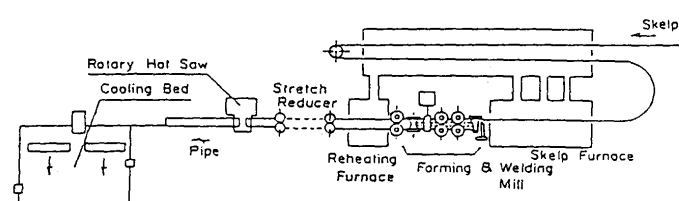


Fig. 4.56. ERW+SR method. (CAMP-ISIJ, 1 (1988), p. 599)

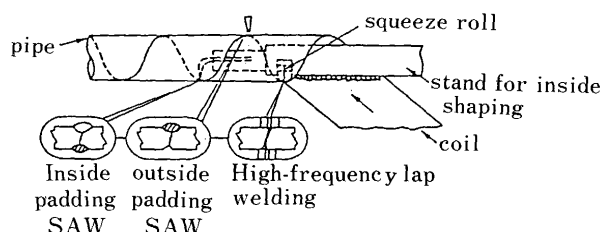


Fig. 4.57. High-frequency welding and submerged arc welding.

ている。

品質安定化技術としてコイルキャンバーなどによる外周長・溶接ギャップの変動防止・精度向上のため外周長の自動測定装置、周長ギャップ自動制御装置が開発され実用化された。また真円度向上のため管内の残留応力を減少させるために熱延鋼帯の降伏強さの変化に応じ成形加圧量を自動調整できる装置が開発され効果をあげた。溶接速度の高速度化として高周波溶接+サブマージドアーク溶接の複合溶接法が開発され従来方式より3倍近い高速度化が得られミルの集約化がなされた。(Fig. 4.57 参照)

#### (b) ストレートシーム溶接鋼管技術

ストレートシーム溶接鋼管分野の中でも、UOE 鋼管の技術は、品質保証の向上を目的としたコンピューターによる自動トラッキングシステムの導入、生産性向上を主とした設備の自動化などが進められた。

製品開発の面においては、UOE 鋼管の主用途が石油・天然ガス輸送用ラインパイプであることもあり、その使用環境に応じた開発がなされてきた。高強度、高靱性ラインパイプにおいては、X-80 の製造技術が確立し、一部ではあるが、すでに使用されているケースが見られるほか、X-100 の製造も試みられている。一方、より劣悪な使用環境であるサワー環境に対しては、近年の製鋼分野における、不純物元素、介在

物などを極力低減した高纯净度鋼技術の進歩に伴い、耐硫化物われ (SSC: Sulphide Stress Cracking) 特性に優れた製品開発に顕著な進歩が見られた。さらには、高 Ni 合金クラッド鋼管の製造が試みられている例も見られる。

他方、最近の建築分野におけるストレートシーム溶接鋼管の使用は、超高層ビルの建築主柱材に見られるように、その使用比率が増大する傾向にある。技術面では、ラインパイプとは異なった意味で、例えば寸法の高精度化、低降伏比の問題があり、この点での技術的改善が現在進みつつある。なお、一方では径厚比が大きくなる傾向の下、ストレートシーム溶接鋼管も、UOE 鋼管からさらにはプレスベンダー、ロールベンダーなどベンダー鋼管へとその範囲が拡大してきている。

#### (4) 今後の展望

溶接鋼管の生産量は鋼管全生産量の 70% 強を占めておりこの位置づけは今後とも変わらないと考えられる。溶接鋼管は他製法製品間での競合、あるいは海外との競争力に打ち勝つため品質の向上はもとより歩留・生産性向上、省力などコストダウンをさらに進める必要がある。また、市場ニーズも多種多様化しておりそれに伴い品質要求変化も著しくその用途から要求される新特性を有する新製品の開発を続けていく必要がある。

## 4.5 周辺の加工技術の進歩

### 4.5.1 鍛造

冷間鍛造は 1980 年代の「量より質」を経て、1990 年代は「インテリジェント化」の段階と特徴づけられている。しかし、その発展は高品質化とコスト低減を軸にした、種々の素形材生産プロセス間の厳しい競争によるものであった。これまでのところ、異種プロセス材に対する鍛工品の優位性は、その経済的利点によってより強固になったように思われる。特に、生産量の 7 割を占める自動車部品において、関係する各メーカーが幅広い協力体制の下で実用的な技術開発を担い、この過程が進行したことを指摘しておきたい。その結果、鉄鋼材料に関しては、強度・靱性・切削性などの材質改善と工程の統合・複合化が強力に進められた。部品設計では薄肉化・中空化などの製品構造の見直しが行われ、鍛造設計でも CAE の導入とシステム化が大きな流れになった。工具材質の改良や表面改質による工具寿命の延長、温間鍛造の拡大に伴う高温潤滑剤の開発、鍛造設備の機能向上と型鍛造ラインの自動化などの課題も進展した。現在、型材の劣化抵抗の向上、無酸化加熱切断、鍛造プレスの精度補償機能、CAE による最適工程設計、鍛造作業ロボット、FMS・CIM 化への対応、グリーンに代表される環境対策などの取り組みが進められており、今後の技術発展が期待される。

#### (1) 材質改善

鍛造後の熱処理を省略する非調質鋼は、短納期以外に 10~15% の軽量化と均質化を可能にし、使用量が年々増加しているが、靱性の向上と 5~10% の型寿命の低下防止が課題であった。このため足廻りや駆動系部品には、V-Ti を複合添加し、加熱温度上限や冷却条件を管理することにより、フェライト・パーライト組織を微細化して衝撃値と被削性を改善した。また、極微量 Ti 添加による微細化、MnS を析出核とする微細化、ベイナイト組織またはマルテンサイト組織化、鍛造条件の管理を簡略化できるフェライト・ベイナイト組織化などの技術が開発された。高周波焼入れ後の硬化深さを増大させた中炭素 B 添加鋼は、等速ジョイントの小型化・大容量化に対応するドライブシャフトやアクスルシャフトなどに採用された。自動車用歯車に用いる肌焼鋼は、炉外精錬による超清浄化処理のほか、浸炭異常層の抑制、靱性改善、結晶粒調整などにより高強度化が行われた。

冷間鍛造用鋼でも、鍛造前熱処理の省略や高強度化・高靱性化が図られ、熱間鍛造用鋼代替の高炭素 B 添加鋼、初析フェライト粒を微細化し疲労強度を安定化させた低炭素強靱鋼、軟質化を行って冷間鍛造性を改善した高靱性非調質ボルト用鋼などが開発された。また、耐遅れ破壊性を向上し割れ発生限界加工率 80% 以上の高強度ボルト用鋼は、フランジ