

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

付きボルトへ適用された。肌焼鋼の冷間鍛造化は、浸炭焼入れによるオーステナイト結晶粒の粗大化と鍛造前熱処理による延性確保が問題であったが、V添加によるフェライト・オーステナイト二相組織と、Nb, Ti, Vなどの炭化物分散組織を得ることにより可能になった。

自動車エンジンの排気ガス系に使用している冷間鍛造性に優れたフェライト系ステンレス鋼は、オーステナイト系に匹敵する耐食性を付与され、建材ボルトや小ねじに普及した。また、耐酸化性、耐食性に優れたオーステナイト系にCuを多量添加して加工誘起マルテンサイトの生成を防止し、加工硬化の低減、被削性の改善、時効硬化性および耐応力腐食割れ性の向上が図られた。

(2) 寸法精度

鍛造品の寸法は、工具温度、成形圧力、摩擦係数などのわずかな変動によりばらつく。この変動を取り除くために、加工方法は冷間化、精密化、複合化の方向を目指している。鍛造設備の改善、自動潤滑、精密切断、インライン熱処理、金型加工などの周辺技術の発達も重要であった。これらの精度向上策は、省資源・省エネルギーだけでなく、鍛造ラインの自動化・高速化の前提となった。

鍛造用素材の切断には直角度 0.5° で真円度の良い拘束精密切断が採用され、直径や重量の誤差測定装置により管理されている。また、寸法公差が 0.1 mm 以内の超精密熱間圧延材の黒皮使用が拡大した。

歯形鍛造はネットシェイプ化が進展し、浸炭焼入れ時の寸法・形状変化や浸炭異常層の軽減のために、設計から熱処理までの全工程の総合的管理の重要性が指摘された。また、熱処理ひずみ低減や作業環境改善などの理由で、浸炭焼入れから高周波焼入れへの切り替えが進み、非調質鋼の鍛造焼入れ・鍛造高温焼鈍した技術の適用が、歯車や軸部品を対象に拡大した。

冷間鍛造や温間サイジング加工では、弾性係数と熱電導率が鋼の2~3倍の硬質皮膜処理した超硬の使用が増大し、工具製作はCAD/CAMシステムで行われるようになった。型彫り技術でも、NCグラフィット電極放電加工機の高速度と表面仕上げの高精度化が進んだ。

(3) 新しい加工方法

熱間鍛造品であるクランクシャフトでは、曲げを含む予備成形工程をクロスロール加工に統合して材料費を節減した。サスペンション部品でも薄肉化とコスト低減がはかられ、ロアーアームでは鍛造ロール加工の挿入により自動化を行った。トランスミッション用メインシャフトは、歯車の一部部品化とクロスロール鍛造を適用し、歩留りを50%から80%に高めた。

温間閉塞鍛造と冷間サイジング加工で成形されるベベルギヤでは、結晶粒の粗大化を防止することにより、破壊荷重を20%向上させた。またトランスミッション用クラッチギヤは熱間鍛造と冷間サイジングの組み合わせ、または冷間ばり

出し鍛造で加工されているが、ストレート歯と逆テーパの成形を同一方向から冷間閉塞化することにより、ばり抜き工程を省略した。一方、等速ジョイント用アウトレースは、温間鍛造と冷間サイジング加工の組み合わせにより成形されている。

冷間鍛造化の方向では、ピニオンの製造工程を熱間鍛造から冷間鍛造に変更し、30%近いエネルギー低減を実現した。電装品パーツであるギヤ、スプライン、カムなどは、切削加工から冷間鍛造に変わった。また耐熱バルブは、電気アップセット加工から冷間鍛造と熱間鍛造の組み合わせに変わり、生産性が向上した。その他、板金プレス品と切削品の一体冷鍛化や、軸付きハウジング部品の冷鍛化などがなされた。

ホットフォーマ製品は、単純形状から複雑化・精密化した形状へ適用範囲を広げてきたが、外観、寸法精度、内部品質の安定化とチップレス化のニーズが高まった。ベアリングレースは、ホットフォーマと冷間ロール加工の組み合わせにより1986年から量産され、成形限界の拡大やFMS生産対応などが指向されている。

コネクティングロッドは熱間鍛造から温間鍛造や粉末鍛造に変わりつつあり、非調質化による疲労強度向上、座屈強度の向上、ショットピーニングによる鍛造肌の改善などが図られた。焼結法と熱間鍛造を融合した技術である粉末鍛造品の採用が拡大したが、技術面・コスト面で課題を残している。

(4) 解析

近年の数値シミュレーション技術の急速な進歩は、FEMの実践面での活用の拡大によるところが大きい。平面ひずみや軸対称の二次元問題ではほぼ実用化の段階にあるが、部品設計、工程設計、型設計の面でリードタイム短縮にどの程度貢献しているかは製品形状によって異なると思われる。しかし、FEM解析は寸法精度や材質などの製品要求特性を確実に保証する手段となった。

効率化の面では、弱点とされていたリメッシュ作業の自動化機能が実用化され、三次元の適応要素再分割法も開発されている。また、接触判定と工具形状の表現法の効率化も図られつつある。解析対象では、繰返し鍛造、組織制御と材質予測、工具寿命、界面現象などの複雑な現象のモデル化が行われた。鋼塊の自由鍛造、コンロッドの型鍛造、回転鍛造などで三次元解析が積極的に活用され、また計測データから変形発熱、接触条件、材質変化などの逆解析も行われた。

FEMを主な手段とする鍛造加工CAEシステムは、設計および工具製作の合理化手段として普及が著しいCAD/CAMシステムと結合し、開発-設計-製造の流れを一体化する傾向を強めている。この延長には、販売との一体化を狙ったCIMの構築も現実の課題となりつつある。一方、事例データベースに基づく冷間鍛造工程設計エキスパートシステムが実用化されている。

(5) トライボロジー

冷間鍛造では、油塗布低コスト潤滑法におけるリン系極圧

剤の焼付き防止効果が、リン酸鉄類またはピロリン酸鉄類の反応生成物の皮膜形成によることが解明された。温・熱間鍛造では、作業環境の面からBN、雲母、滑石などの層状固体潤滑剤や、加工時に粘性流体潤滑膜を形成するガラス系や金属石鹼などの黒鉛代替潤滑剤が評価された。また超高分子量ポリエチレン系潤滑剤は、親油処理したベントナイトとの併用により、加工条件が厳しくなる場合を除いて黒色系潤滑剤に近い金型の摩耗特性を示した。ホウ砂系や窒化ホウ素+ホウ酸も、押し出しモードの潤滑剤として有効であることがわかった。潤滑剤の評価方法では、高さ/直径比 1.2 の円筒試験片を用いたスパイクテストが提案され、ステンレス鋼の温間押し出しや被加工材と工具間の潤滑状態の良否判別に有効であることが示された。

自動潤滑は、潤滑剤の濃度管理、塗布量の安定確保、型材の軟化防止や寿命延長が課題である。温・熱間鍛造では、汚れ防止と潤滑条件の変動を抑えた非黒鉛系潤滑剤の循環回収システムが開発された。また噴射冷却により冷却能を大きくし、金型の変形や摩耗を減少させた。

現在、熱間鍛造の型寿命は 1~1.8 万個、冷間鍛造の型寿命は 15~20 万個といわれている。鍛造品の高精度化や高強度化が進むにつれて工具応力と熱負荷が増大したため、清浄度と耐摩耗性を向上させた高靱性高強度工具材が開発された。また、耐摩耗性改善のために TiC, TiN, TiCN などの表面硬化皮膜処理も普及した。今後、cBN 膜などの新しい硬質皮膜、潤滑剤のいらぬセラミックス工具、潤滑しやすい組成からなる被加工材の開発などが望まれる。

(6) 鍛造設備

縦型プレスではクロスタイロッドの取り付けなど構造上の高剛性化が図られ、ボルスタ、プレス、金型の横基準を材料移送方向に統一するようになった。自動化の面では、鍛造装置の NC 制御と三次元トランスファ装置の導入が拡大し、高周波加熱器などの付帯装置を鍛造プレスに直結する形式のライン構成が定着した。フリクションスクリュープレスでも、フライホイールエネルギーの調整、ロックアウト制御などが行われ、制御方式の高度化と操作性の改善が図られた。

クランク式鍛造プレスは、鍛造品が大型化するほど、寸法精度、搬送確度、スライド動作などの面で高速化に制約があったが、トランスファフィーダの動きをスライドと機械的に同期させ、またスライドを下死点で停止させないことにより、最大 40 kg のクランクシャフトを 12 秒/個で自動鍛造することができるようになった。また、鍛造スケジューリング、材料トラッキング、デリバリングなどをコンピュータ制御し、オンラインの設備診断モニタリングシステムが構築された。

最も自動化が進んでいる多段フォーマでは、多品種少量生産にも対応できるように、金型脱着ロボット、NC 調整セットアップ、オフセット機能などが付加され、また型寿命管理や成形品のインライン検査などが積極的に行われている。

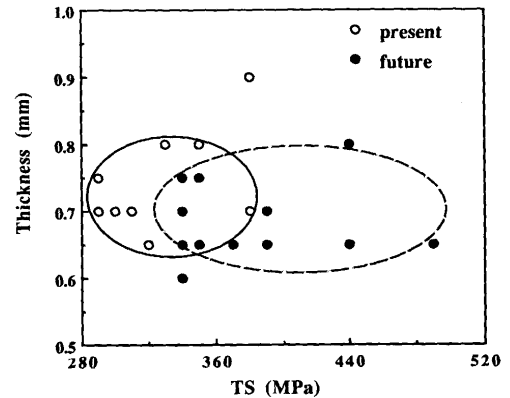


Fig. 4.58. Relationship between thickness and TS of steel sheets for outer panels. (JSFRG Rep., 91-46 (1992))

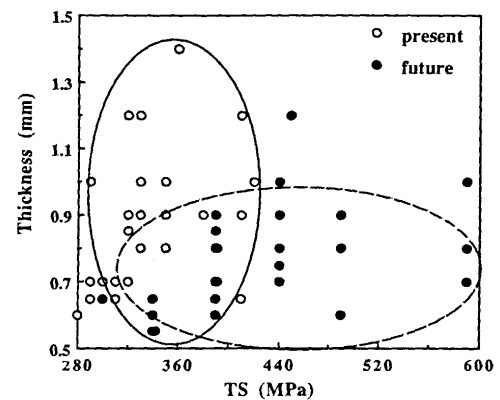


Fig. 4.59. Relationship between thickness and TS of steel sheets for inner panels. (JSFRG Rep., 91-46 (1992))

4.5.2 板成形

(1) 自動車の軽量化と高張力鋼板

自動車の低燃費化実現のために車体の軽量化材料への転換が積極的に進められている。アルミニウム合金採用が進められているが、コスト、安全対策の面から従来よりさらに高強度の高張力鋼板の利用が車体軽量化のキーとなっている。成形性に優れた材料が開発され、一方成形技術も進歩し、外板部品を中心に高張力鋼板の適用が進んでいる。1992年に薄鋼板成形技術研究会(JSFRG)は外板、内板、メンバー、サスペンションなど78部品について使用実態を調査したが、50部品に高張力鋼板の採用実績が認められた。ホワイトボディにおける重量比率でも1980年の全社平均 8.7% から1992年には23.3%になっている。将来的には42.8%まで達すると予測されている。

外板部品は高張力鋼板化が最も進んでおり、難成形部品のリヤクォータパネルを除いてほとんどの部品に $TS \leq 400$ MPa の鋼板が採用されている。Fig. 4.58は外板部品に使われている鋼板の引張強さ(TS)と板厚との関係の現状と将来予測を示す。張り剛性の点から大幅な薄肉化は困難であるが、強度は上昇すると予測される。内板部品では複雑な形状