

Table 4.4. Cold rolled high strength steels developed for autobody parts.

Strengthening mechanism	Main element	TS level (MPa)	Characteristics	Available coating	Practical uses
Solid solution (Low carbon)	P-Mn Si-Mn P	340-440	Drawing type Good stretchability BH type	EG, GI, GA Zn-Ni Zn-Fe	Outer panels Inner panels Members Brackets Pillars
Solid solution (Ultra low carbon)	P-Mn P-Si Mn-P-Ti Ti, Nb	340-590	Deep drawability BH type	EG, GA, GI Zn-Ni Zn-Fe	Deep drawing type parts Outer panels Inner panels
Precipitation	Mn Nb Si-Mn-Nb	390-590	Good weldability	EG, GI, GA Zn-Ni Zn-Fe	Inner panels
Solid solution + Precipitation	Mn-Ti Si-Mn-P-Mb Cu-Ti	490-590	Good bendability High r value type	GA Zn-Ni Zn-Fe	Reinforcement Brackets
Multi-phase (Martensite) (M+B)	Mn-Si Mn-Si-P Mn S-Mn-Nb	490-1470	Low yield ratio BH type	Zn-Ni Zn-Fe EG	Inner panels Structural components Reinforcement Bumper
Multi-phase (Bainite)	Mn-Cr	440-590	High stretch flangeability High elongation	GI, GA	Members Brackets Reinforcement
Multi-phase (Retained austenite)	Si-Mn	590-980	TRIP type High elongation	Zn-Ni Zn-Fe EG	Structural components
Precipitation + Multi-phase	Mn-Si-Ti Mn-Si-Ti-Mo	780-1470	Ultra-high strength		Bumper reinforcement Door impact beam

形はむずかしくなるが、極低炭素鋼の開発により高 n 値、高 r 値の成形性に優れた材料が利用可能になった。しかし一体成形では素板が重くなり、材料歩留りが低下する。これを解決する方法としてレーザー溶接素板の成形技術が開発された。この加工法は小さな素板をCO₂レーザーで溶接・一体化したブランクを成形する。部位ごとに板厚や特性、表面処理の異なった材料を組合せることができ、分割成形と一体成形の利点を合わせ持った加工法である。

パンチ頭部を冷却し、板押え部を加熱する温度制御成形法により、難加工材の成形が可能になる。材料の成形性の改善、材料のグレードダウン、工程削減、成形品の品質向上などが期待できる。この成形法は高張力鋼板や樹脂複合鋼板の成形に効果があるが、生産性に劣るため、少量生産に向けた成形法といえる。

板成形では破断としわを避けるために板押え力 Blank Holding Force (BHF) を適当な値で一定に保持して成形品を得る。このBHFを成形行程中にリアルタイムで変化させて形状性の良い成形品を作る手法が開発されている。板押え部を分割して、部位ごとにBHFを変えて成形性を向上させる加工法も開発されている。BHF制御は成形中に成形工程を最適化する閉回路 (closed-loop) システムの要素として注目される。

自動車部品のような大寸法の成形品に対向液圧成形が実用

化された。対向液圧は下型の代わりに液体を圧力媒体として用いるもので、成形性の向上、形状・表面性状の向上、経費削減が特徴である。生産性は劣るが、多品種少量生産に適している。

(4) 数値解析による板成形シミュレーション

成形行程における材料の変形、応力、ひずみを数値的に解析し、成形不良や成形性を事前に評価することにより板成形の最適化を図る手法は1990年代に入って急速に進歩した。特に弾塑性有限要素法 (FEM) は、ハードウェアの高機能化と板成形に適した3次元解析が可能なプログラムの開発により数値解析の主流となっている。我が国においてもROBUSTやITASのように独自の有限要素法シミュレーション手法が開発されている。成形シミュレーションは実成形の工程短縮、コストダウンの有力な手法として期待が大きい。破断、スプリングバックなどを的確に予測するまでには至っていない。成形限界を正確に把握するために、材料および摩擦の厳密なモデル化とこれらのデータベースの構築が課題となっている。

4.5.3 鋳物

(1) 半溶融加工

この技術は1970年代前半にMITのFlemings教授がレオキャスト法として発表したものが始まりであり、こ

これらの成果を踏まえてアルミニウムでは自動車部品はじめ、電気部品などに適用される段階になってきた。日本でも(株)レオテックが設立され鉄鋼およびその他の合金への適用について基礎研究が行われてきたことはご存知のとおりである。

この方法は固相と液相とが共存した半凝固スラリーを作り、それを直接成形加工することによって成形品を作る方法である。その特徴として、変形抵抗が小さい、鋳造温度が低いことによる金型寿命が長い、偏析が少ない、ポロシティ欠陥の軽減および複合材料の新しい製造法(コンポキャストリング)としての可能性が大きいなどが挙げられている。

世界的にも関心が高く、“Semi-Solid Processing of Alloys and Composites” に関して第1回の国際会議が1990年にフランス・CEMEPで、第2回が1992年にこの方法のゆかりの地MITで開かれている。第2回の会議ではこの技術の基礎的な問題点、このプロセスに適した合金系の検討、あるいは具体的な製品の作製事例、スラリーの挙動や凝固組織および半溶融加工を使った複合材の製造の試みなど基礎から応用まで広範囲に46の研究発表が行われている。さらに、1994年6月には東京でこの第3回の国際会議が開催され、今後の発展が大いに期待される分野である。

(2) 金属繊維強化複合鋳物

鋳物の軽量化のために従来の鋳鉄鋳物からアルミニウム鋳物への代替が進んでいる。中でもアルミニウム合金の低強度および低摩耗性を改善するために、アルミニウムマトリックスをセラミックス繊維で強化した複合鋳物の製造に関する研究が大きく進歩した。例えば、SiC ウィスカー繊維に微粒のニッケル粉を混入させたプリフォームにアルミニウム溶湯を高圧力で注入し、繊維だけでなく、金属粒子と溶湯を *in situ* で複合化させる方法が開発されて高強度、高耐摩耗性を持ったディーゼル用ピストンが作られ、その生産量の大部分がこの方法で製造されるようになってきている。この方法ではプリフォームに溶湯を浸透させるために高い圧力をかける必要があり、コストが高いこと、プリフォームの変形や破損などの問題がある。溶融金属とセラミックス繊維との濡れや反応あるいはプリフォームへの溶湯の流入状況の把握などの基礎的な研究を通して、低圧力での生産プロセスの開発などが今後の課題として残っている。

(3) 加圧鋳造法

溶湯あるいは凝固時に圧力を作用させる鋳造法が加圧鋳造法と言われるものであり、種々の方法が開発され実用化されている。なかでも、従来のダイカスト法のガス欠陥を防ぐために低速・中圧ダイカスト法や圧力が50 MPa以上の高圧で行われるスクイズ鋳造法も開発された。後者は主に前述の繊維強化複合鋳物の製造に使われている。通常のダイカスト法を含めてこれらのプロセスをさらに発展させるためには、従来の鋳造方案以上に鋳造方案の合理的な決定が必要である。この10年間に急速に進歩した凝固解析(熱解析)に加え

て、湯流れのコンピュータシミュレーションが盛んに行われるようになり、これらが最適鋳造方案設計に有効な手段となってきている。

(4) 消失模型鋳造法

消失模型鋳造法は古くはフルモールド鋳造法として知られていた方法で当初は美術鋳物などが対象であった。この方法は熱によって消失する模型(例えば、ポリメタクリル酸メチルなど)を粘結材を全く含まないケイ砂中に埋め込み、鋳型内を減圧したり、模型表面に塗型を施すことによって、鋳型を作る鋳造法である。この方法では模型の製作が容易、造型工程が簡素化され、中子が不要、製品には抜き勾配、ばりがなく仕上げ機械加工が低減でき、自動化が容易など多くの利点がある。この10年間に模型の寸法精度、鋳型欠陥、塗型の効果および湯流れ状況などについて多くの研究が行われて実用化されてきた。問題点としてはケイ砂充填時の模型の変形による寸法変化とかガス欠陥などが挙げられている。この方法を最も良く活かせる鋳物は従来の造型法では製作が困難なものとか造型コストが高いような形状のものである。また、この方法の特徴を活かしてあらかじめ消失模型に市販の球状化材を埋没させておいてから球状黒鉛鋳鉄溶湯を注湯することによって、従来の球状化処理に伴う作業環境の悪化を防ぎ、健全な球状黒鉛鋳鉄を製造する方法も試みられてきている。

(5) 光造型法

鋳物の多品種少量生産などから模型の迅速かつ安価な供給がますます要求されてきているが、これらを解決する方法として注目されているのが光造型法である。この方法は紫外線硬化樹脂(現在では粉末、シート、ワックスなどに拡張されている。)を用いるもので、3次元データに基づく立体模型製作(rapid prototyping)の一つである。鋳造では木型に代わる模型あるいは精密鋳造消失模型の製作などに検討が加えられつつある。今後、製品のCAD化によるデータを利用した複雑な模型を短時間に製作できるようになると予想される。

(6) ADI 鋳鉄

エネルギー・コストの低減などから薄肉化、軽量化のために高強度鋳鉄品の要求に応えるものとして、CV 鋳鉄あるいはADI 鋳鉄が開発された。CV 鋳鉄は黒鉛の形状が従来の片状黒鉛鋳鉄と球状黒鉛鋳鉄の中間の状態であり、得られる性質もその中間のもので各々の優れた特性を持っている。ADI 鋳鉄は Austempered Ductile Iron の頭文字から名前が由来するように球状黒鉛鋳鉄をオーステナイト温度からベイナイト温度に保たれた浴に焼入れ、ベイナイト変態を起こさせたもので、靱性の劣化がなく、高強度のものが得られている。これらの強度は1,000 MPaを越えるものがあり、JIS規格として採用されるに至っている。プロセスや材料的な研究が現在も活発に行われている。