

UDC 669.14:629.113

自動車用特殊鋼の最近の動向(2)

加藤 哲男*・阿部山尚三*²・上原 紀興*²

Recent Trends in Special Steels for Automobiles

Tetsuo KATO, Shozo ABEYAMA, and Norioki UYEHARA

3. ばね鋼

自動車用の板ばねとコイルばねには、従来主として SUP 6(0.6C-1.65Si-0.85Cr) が使用され、板厚の大きいばね用としては一部に焼入性の高い SUP 9(0.55C-0.25Si-0.8Mn-0.8Cr) や SUP 11(SUP 9+B) などが使用されていた。しかし近年、とくに乗用車の軽量化と乗心地の向上をはかるために、後輪懸架も板ばねからコイルばねに変更される傾向にあり、それに伴ってばね用材料もより耐へたり性の良好な材料が求められるようになった。そのため自動車用熱間成形ばね鋼は SUP 6 から Si 量の高い SUP 7(0.6C-2.0Si-0.85Cr) に移行する動きがある。Si は Fig. 12⁶⁴⁾ に示すように、焼もどし軟化抵抗を高めて耐へたり性を向上するのに有効な元素である。その反面、SUP 7 は SUP 6 に比較して黒鉛化や脱炭を起こしやすいので、素材の製造にあたっては圧延および熱処理条件の適正化など、入念な注意が払われている。

また高強度化に伴って疲労破壊に対する信頼性を確保することもますます重要となるが、これに対しては 2.2 項で述べた真空脱ガス処理を行い、非金属介在物量を減少させる対策がとられている。

また軽量化と乗心地向上のために、ばねの形状についても新しいくふうが行われつつあり、いわゆるテーパリーフばねやテーパコイルばね⁶⁵⁾⁶⁶⁾の採用も始まっ

ている。これらのばねに使用される不等断面素材は、現在特殊な圧延や切削によつて製造されているが、より低廉な製造法の開発が必要とされている。

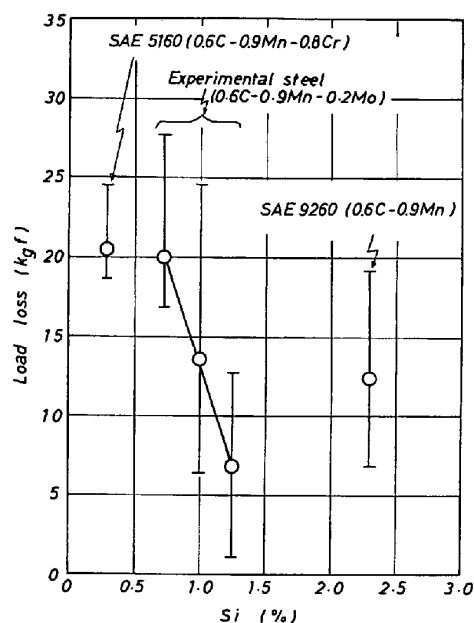


Fig. 12. Effect of silicon on load loss of spring steels⁶⁴⁾.

昭和 55 年 9 月 25 日受付 (Received Sept. 25, 1980) (依頼技術資料)

* 大同特殊鋼(株)中央研究所 工博 (Central Research Laboratory, Daido Steel Co., Ltd.)

*² 大同特殊鋼(株)中央研究所 (Central Research Laboratory, Daido Steel Co., Ltd., 2-30 Daido-cho Minami-ku Nagoya 457)

自動車用特殊鋼の最近の動向(1)は鉄と鋼 Vol. 67 No. 9 に掲載、目次は以下のとおり

1. 緒言
2. 機械構造用鋼
 - 2.1 概観
 - 2.2 製造技術の進歩
 - 2.2.1 電気炉製鋼技術
 - 2.2.2 炉外精錬技術
 - 2.2.3 連続鑄造
 - 2.2.4 圧延技術
 - 2.2.5 検査整備技術
 - 2.3 新鋼種の開発
 - 2.3.1 省資源型新鋼種 (省 Mo 強靱鋼, 省 Mo はだ焼鋼)
 - 2.3.2 省エネルギー型新鋼種 (鍛造用非調質強靱鋼, 短時間浸炭用鋼)
 - 2.3.3 部品加工合理化のための新鋼種 (快削鋼, 冷鍛用鋼, 低熱処理変形鋼)

4. 耐熱材料

4.1 概観

1970年に始まった日本国内のガソリンの無鉛化はエンジン・バルブおよびバルブ・シート材料にその対策を促し、また1966年以降1978年に至る段階的な排出ガス規制に対処するため、サーマル・リアクターや触媒コンバーターなどの浄化機器や副燃焼室式のエンジン等が開発され、排出ガスによる高温腐食という新しい観点からの材料開発を必要とした。さらに1979年の第2次オイルショックを契機として燃費の向上が大きくクローズアップされて、小型のディーゼル・エンジンやターボチャージャーが登場し、これらに使用される耐熱材料の開発も引続き行われている。また一方で、1978年のCo原料の価格高騰は耐熱材料に多用されているCoの省略といった、上記とは別の次元からの材料開発をも必要とした。これらの自動車用耐熱材料の中で、エンジン・バルブ材料や排出ガス浄化機器用材料についてはすでに詳しい解説があるので^{67)~69)}、本稿では最近のトピックス的な項目をとりあげることにしたい。

4.2 エンジン・バルブ用耐熱材料

4.2.1 吸気バルブ用材料

従来はガソリン・エンジンおよびディーゼル・エンジンとも吸気バルブにはSUH 3(0.4C-2Si-11Cr-1Mo)が主として使用されてきたが、この数年、乗用車用ガソリン・エンジンには次第にSUH 11(0.5C-1.5Si-8.5Cr)が使用される傾向にある。これはOHC(オーバーヘッド・カムシャフト)型エンジンが増加するとともに、バルブ・ロッカー・アームがアジャスト・スクリュー形式となつたために、軸端の耐摩耗性をより高める必要が生じ⁶⁸⁾、SUH 3よりC量が高く、焼入硬さの高いSUH 11に移行しているものである。

いっぽう米国ではSAE 1541(0.4C-1.5Mn)などの低合金鋼が主として使用されている。低合金鋼はSUH 11に比較してPbO等に対する耐食性や、高温強度・軸端硬さなどが劣るので、回転数などのエンジン設計仕様が厳しく、また有鉛ガソリン地区を含む輸出が多いわが国の乗用車に直ちに搭載するのは困難と思われるが、今後検討が行われるであろう。

4.2.2 排気バルブ用材料

排気バルブの作動温度は600~850°C前後であり⁶⁹⁾、

そのためバルブ材料には高温での耐摩耗性、疲労強度ならびに耐食性が必要とされる。そこで現在ではガソリンならびにディーゼル・エンジンともSUH 35(0.55C-9Mn-4Ni-21Cr-0.4N)およびその改良鋼が主として使用され、また傘部周囲には耐摩耗性と耐食性を高めるためにCo基合金を肉盛溶接する機会が多い。この排気バルブ用材料については、最近のCo価格高騰を契機として新たな技術開発が行われている。すなわち、ひとつはCo基合金の肉盛溶接を省略する方向であり、そのためにCo基合金にはほぼ匹敵する高温硬さを有するNi基合金をバルブ本体に使用する考え方であり、一部の乗用車用ガソリン・エンジンに使用されている。Table 4に排気バルブに使用されるNi基合金の化学成分の例、Fig. 13にそれらの高温硬さを示す。またNi基合金はFig. 14に示すように、従来の排気バルブ用鋼にくらべて高温疲労強度が著しく高いことが評価され、バルブの耐久性を特に必要とされるディーゼル・エンジンへの適用も検討されている。しかしこれらのNi基合金は従来材に比較するとかなり高価であるので、今後Ni基合金に匹敵す

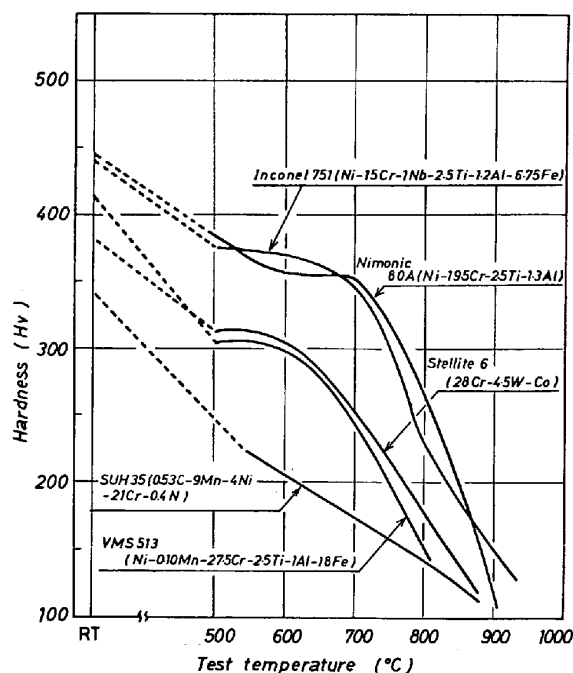


Fig. 13. Hardness of exhaust valve materials at elevated temperature.

Table 4. Ni-base alloys for exhaust valves.

Notation	(wt%)										
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Nb	Ti	Al	Co	Fe	B
Inconel X-750*	0.04	0.30	0.70	bal.	15.0	0.85	2.5	0.8	—	6.75	—
Inconel 751	0.04	0.30	0.70	〃	15.0	1.0	2.5	1.2	—	6.75	—
Nimonic 80A	0.06	0.70	0.10	〃	19.5	—	2.5	1.3	1.1	2.4	—
VMS 513	0.08	0.10	0.10	〃	27.5	—	2.5	1.0	—	18.0	0.006

* JIS NCF 3B

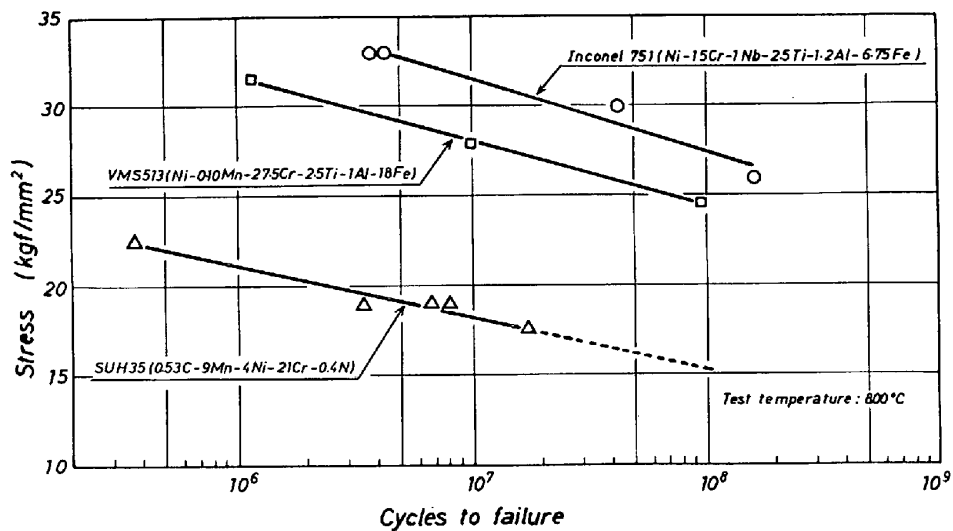


Fig. 14. Fatigue strength of exhaust valve materials at elevated temperature.

Table 5. Hard-facing materials for exhaust valves.

Notation	(wt%)							
	C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Fe	B
Stellite 6	1.15	3.0max.	28	bal.	1.5max.	4.5	3.0max.	—
Stellite 12	1.35	3.0max.	30.5	bal.	—	8.5	3.0max.	—
Stellite F	1.75	22.5	25	bal.	0.6	12.3	1.0	—
Eatonite	2.4	bal.	29	10	—	15	—	—
Haynes alloy 716	1.1	22	26	12	3	3.5	bal.	0.4

Table 6. Examples of valve seat materials for gasoline engines⁷⁵⁾.

Material	(wt%)									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Co	Mo	W	Fe	Others
P/M alloy (1)	1.4	—	—	8.0	2.0	9.0	0.5	3.0	bal.	—
P/M alloy (2)	1.0	—	—	3.0	—	—	0.3	—	〃	Pb 10 min.
P/M alloy (3)	1.0	—	—	20.0	12.0	—	2.0	—	〃	Pb 4, glass 2, P 0.3, S 0.2
Wrought alloy	1.0	2.0	0.5	20.0	0.1	2.0	1.0	—	〃	—
Cast alloy	1.9	1.4	1.1	22.0	20.0	12.0	2.5	6.0	〃	P 0.2, S 0.2

る高温強度を有し、かつ高温での耐食性も良好な Fe 基合金の開発が必要となるであろう。

また第二の方向は Co 基合金に代わる肉盛材料の開発である。これまで我が国においては Stellite 6, 12 が主として使用されてきたが、最近では Co の一部を Ni で置換した Stellite F も使用されるようになり⁶⁹⁾、またさらに Ni 基肉盛材料の開発も積極的に行われている。Table 5^{69)~72)} にこれらの硬化肉盛材料の主要化学成分を示す。

4.2.3 バルブ・シート用材料

ガソリンの無鉛化の影響が最も大きく現れたのはバルブ・シートであつた。バルブ・シートの温度は吸気側が 150~200°C、排気側が 250~350°C とされており⁶⁷⁾、これまでは主として普通鋳鉄や耐熱鋳鉄が使用されていた。しかしガソリンの無鉛化により有鉛ガソリンの燃焼

生成物 (PbO·PbSO₄ や Pb(Br, Cl)₂ といわれている)⁷³⁾による潤滑作用がなくなると、バルブ・シートの異常摩耗が発生し、バルブの突き上げ現象 (バルブ・シート・リセッショ) が発生する問題が生じた⁷⁴⁾。リセッショを防止するためにはバルブの形状の変更やバルブに回転を与えるなどの設計上の対策も行われたが、同時にバルブ・シートの材質についても検討が行われた。その結果、バルブ・シート材料として現在では主として焼結合金が使用されるようになった。バルブ・シート用の焼結合金には多くの種類があるが、大別すると Cu や Pb などを添加または溶浸させたり、ガラスを混入して自己潤滑作用を持たせた合金と、Mo や Co を添加して、その酸化膜による潤滑作用を利用するものがある。Table 6 に代表的なバルブ・シート用焼結合金の化学成分を示す。バルブ・シートの摩耗は、相手となるバ

ルブの材質やその表面処理の有無、またエンジンの燃焼方式や燃料中の鉛の有無などによつて微妙に異なるので、個々のエンジン型式にあわせて、その都度適切な合金を試行錯誤的に選択されているのが現状である。

4.3 排出ガス浄化機器用耐熱材料

日本における排出ガス浄化機器は、炭化水素（以下 HC と略記する）および CO 対策を主とした 1975 年規制の当時はサーマルリアクター方式が主であつたが、さらに NO_x 規制も加わつた 1978 年規制に対しては触媒コンバーター方式に転換した車種が多い。サーマルリアクターに使用される耐熱材料の開発の経緯は本誌⁶⁷⁾をはじめ他にも⁷⁶⁾解説されているので詳細を省くが、最も高温（約 1000°C）にさらされるコア部には SUS 310S (25Cr-20Ni) が当初使用され、その後低廉な SUS XM 15J1 (18Cr-13Ni-4Si) が開発され、実用化された。また外気に接するため比較的低温のシェルには SUS 410S (低 C-13Cr) や SUS 430 (18Cr) が使用されている。

触媒コンバーターは、排出ガス中の HC, CO および NO_x を、Pt, Pt-Pd, Pd, Pt-Rh などの触媒によつて酸化または還元して無害化するものである。触媒コンバーターのコア部の最高温度は約 600~650°C（セラミック・モノリス方式）または約 800~850°C（ペレット・ベッド方式）とされ⁷⁷⁾、主として SUS 304 (18Cr-8Ni) が使用される。またシェルはサーマルリアクターと同様に、AISI 409 (11.5Cr-0.5Ti) や SUS 410S などのフェライト系ステンレス鋼が使用されるが、低廉化のためにクロマイズやアルミナイズなどの表面処理鋼板の使用も始まつている。またモノリス方式のコンバーターでは、クッション・サポート用細線としては SUS 304 (19Cr-9Ni), SUS 316 (17Cr-12Ni-2.5Mo) などのステンレス鋼系の材料のほかに、Inconel X750, 751, SUH 660 (25Ni-15Cr-1.3Mo-2Ti-0.3V), SUH 661 (0.1C-20Ni-21Cr-20Co-3Mo-2.5W-1Nb-0.15N) などの超合金、耐熱鋼を含めて適材の選定が急がれている。

4.4 副燃焼室用耐熱材料

排出ガス中の有害成分の発生を抑制すると同時に燃費の向上を図るために、稀薄燃料を用い、かつその気筒内への噴霧と燃焼を精密にコントロールする方式のエンジンが今後主要な位置を占めると予測されているが⁷⁸⁾⁷⁹⁾、副燃焼室はそのための機構のひとつで、副燃焼室において気筒内への適切な燃焼噴霧流が作られると同時に着火が行われる。この機構は基本的にはガソリン、ディーゼル両エンジンに採用が可能であるが、Fig. 15 にはガソリン・エンジンの副燃焼室の一例を示す。副燃焼室用材料としては高温強度と高温耐食性のほかに、とくに耐熱疲労性が重要視され、そのため従来から Nimocast 80 や SUH 661 などの Ni 基合金の精密鑄造品が使用されてきた。しかし最近 0.3C-30Ni-20Cr 鋼⁸¹⁾や 22Cr-Mo-Nb-W 鋼⁸²⁾および 12Cr-Ni-CO-Mo-V 鋼⁸³⁾など、

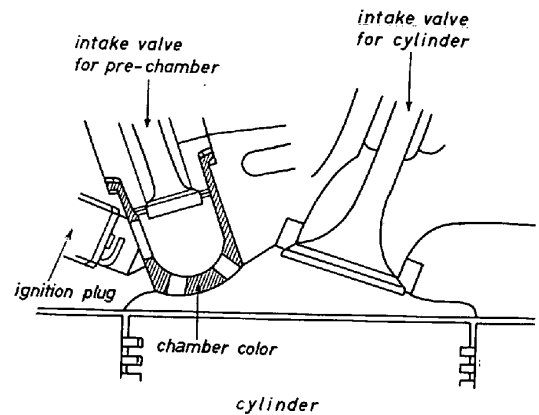


Fig. 15. An example of pre-combustion chamber (Honda, new CVCC engine), Combustion in pre-chamber induces combustion of rarefied fuel in cylinder⁸⁰⁾.

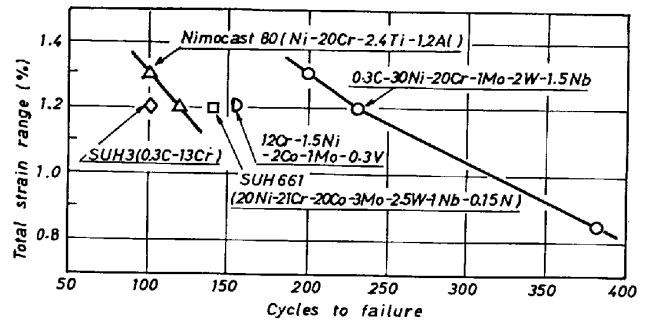


Fig. 16. Thermal fatigue characteristics of several materials for pre-combustion chamber.

Ni 基合金より耐熱疲労性のすぐれた Fe 基合金が開発され、実用に供されている。Fig. 16⁸⁴⁾ にこれらの材料の熱疲労試験結果を比較して示す。

4.5 ターボチャージャー

ターボチャージャーは排気によつてタービンを回転させ、それと同軸にあるコンプレッサーによつて圧縮された空気をエンジン内に送給し、燃焼の効率化と出力の向上を図ろうとするものである。従来トラックなどの大型エンジンに採用されてきたが、最近では乗用車にも搭載されはじめた。今後燃費改善のためにエンジンの小型化による出力の減少を補う機器としてその使用が増えるものと思われる。ターボチャージャー部品の中で最も重要な部品は、排気ガスを受けて最高数万~十数万 rpm 程度の高速で回転するインペラー（ホット・ホイールとも称される）であり、クリープ強度が高いことが必要とされる。そこで現在では Fig. 17⁸⁵⁾ に示すように、650~700°C 前後で最もクリープ強度の高い Inconel 713C や GMR 235D 等の Ni 基合金が主として使用され⁸⁶⁾、精密鑄造によつて製造される。

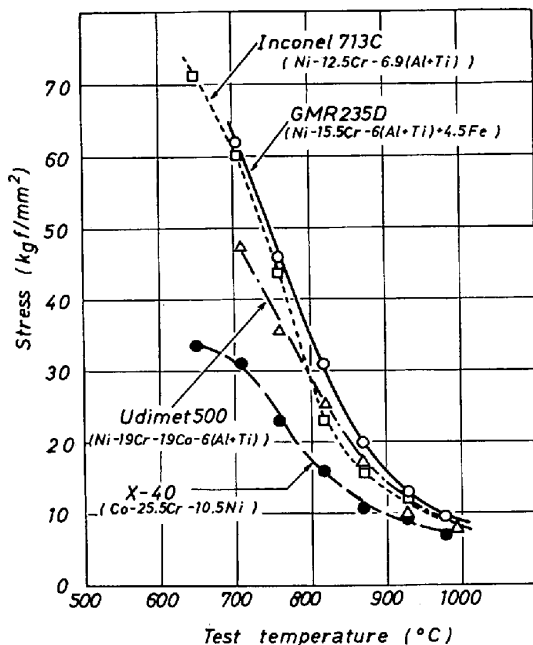


Fig. 17. Creep strength of materials for hot wheel of turbochargers⁸⁵⁾.

5. その他の材料

5.1 ステンレス鋼

ステンレス鋼が自動車部門で消費される量は約45000 t/年(1977年)であり¹⁾、ステンレス鋼全体の約7%である。自動車におけるステンレス鋼の主な用途はトリム・モール、ホイール・キャップやラジオ・アンテナのような装飾品と、4.3節で述べた耐熱部品である。このうち装飾品としては後述する焼結品以外に最近見るべき技術的進展はなく、また使用量もプラスチックをはじめ他の軽量・低廉な材料に代替されて減少しつつあり、最近ではむしろ排出ガス浄化機器をはじめとする耐熱部品としての重要性が増している⁷⁷⁾。

また一方で、ステンレス鋼粉末の製造技術が確立され¹⁰¹⁾、粉冶金工業会(JPMA)規格にも機械構造部品用の焼結材料として取り上げられた。このステンレス鋼粉末を用いた焼結品はバックミラー・サポートなどのような装飾品として実用化されているが⁸⁷⁾、次のような粉末製品ならではの用途も注目されている。すなわち原料粉末の粒度を適切に選び、圧粉と焼結工程において密度をコントロールすることによって製造した耐食性のよい多孔質体であり、今後排出ガス浄化機器関連の各種フィルターや、流量調節部品として使用が拡大することが期待される⁸⁸⁾。

5.2 電磁材料

最近の自動車のエレクトロニクス・システムの進歩には目覚ましいものがある⁸⁹⁾⁹⁰⁾。それは4.4節で述べたように、燃費の向上と排出ガス浄化のために、エンジンへ

の精密な燃料供給、燃焼の制御、排出ガスの濃度や温度の検知とその制御、といった精密なエンジン・コントロールはもはやコンピュータ無くしては達成できないためである。さらに加えて衝突予防の安全性や、車内の居住性の向上なども含めて、エレクトロニクス制御の必要性は今後ともますます高まって行くであろう。そのため1980年における自動車用マイクロ・コンピュータは、全体の数量の約8%を占めるのに対して、1985年には26%に増加するとの予測もされている⁹¹⁾。

これらのマイクロ・コンピュータに使用されるICやLSIのリード・フレームにはTable 7に示す材料が使用される⁹²⁾。今後、広義の意味での自動車材料として欠かすことのできない材料である。

また4.3節で述べたように、今後の自動車エンジンは気化器で空気と混合された燃料が吸気弁を介して気筒内に送給される従来の方式から、エレクトロニクスで作動を制御された燃料噴射装置によって供給される方式が増加するものと考えられるが、噴射ポンプの鉄心などにはFig. 18に例示する被削性のよい軟質磁性材料¹⁰²⁾が使用されている。

なお電装品の各種のモーターや二輪車の発電機等に使用される硬質磁性材料は、Co価格高騰を機としてアルニコ磁石からフェライト磁石へ移行する動きがあつたことをつけ加えておきたい。

5.3 溶接材料

自動車の車体はほとんどスポット溶接されるが、フレームやリヤ・アクスル・ハウジングなどはCO₂ガス被包アークによるGMA溶接が行われている。それに対

Table 7. Examples of materials for lead-frame of IC and LSI⁹²⁾.

Notation	Chemical composition (wt%)
F15(koval)	Fe-29Ni-17Co
F30	Fe-42Ni
CA110	Cu
CA194	Cu-2.35Fe-0.12Zn-0.03P
CA195	Cu-1.50Fe-0.88Co-0.55Sn-0.10P

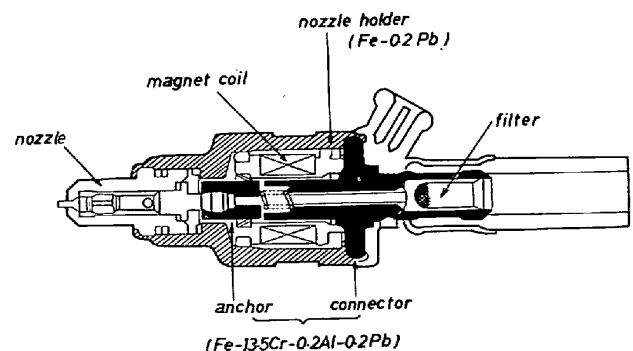


Fig. 18. Free-machining soft magnetic materials used for a fuel injection pump.

して Ar-CO₂ 中で溶接を行うと溶接条件(電流, 速度)が CO₂ 中の場合よりも拡大できて作業能率を向上させることができ, またスパッタが少ないのでビードが美麗であるなどの利点があり⁹³⁾, 欧州を中心に普及しはじめていた. わが国でも, 近年 Ar ガスの価格が合理化されて Ar-CO₂ ガス溶接(これを Metal Active Gas Arc Welding-MAG 溶接と称する)のコストが CO₂ ガス溶接に比肩しうるまでに達し, 注目を集めている. すでに MAG 溶接に適した溶接材料も開発されており⁹⁴⁾, 今後の展開が期待されている.

5.4 合金鋼焼結部品

鉄系粉末をベースにしたプレミックス粉末による焼結部品は, 現在タイミング・ベルト・プーリーやスプロケットなどのエンジン周辺の一部の部品に使用されている. これに対して合金鋼粉末を用いた焼結部品については, 焼結鍛造によつてコネクティング・ロッドやある種の歯車などを製造する研究も行われ⁹⁵⁾, 技術的にはすでにかなり高い水準に達したとされているが実用化は必ずしもはかばかしいものとはいえない. 粉末焼結プロセスが従来の棒・線材を素材とする部品加工プロセスに比較して, 機械加工の省略・材料歩留りの向上・素材製造過程における省エネルギーなど, すぐれた特徴⁹⁶⁾を有しながらその普及が十分でない原因は, 原料粉のコストが高いことにあることは大方の指摘するところである⁹⁷⁾. ちなみに焼結材が棒・線材を素材とする部品とコスト的に競合できる製品重量の限界は, 鉄系粉を使つた焼結の場合で 800 g, 合金鋼粉を使つた焼結鍛造品で 250 g との試算結果もある⁹⁷⁾. したがつて今後は原料粉の製造コストの低減と, 低廉な合金組成を有する合金粉の開発が必要となる. かつばう, 高速度鋼粉を使用した焼結品(あるいは焼結鍛造品)は, 溶製材にくらべて炭化物が著しく微細・均一であるために⁹⁸⁾, 転動疲労寿命が良好である. このためディーゼル・エンジンの噴射ポンプのカム・リングとして米国で実用化されており⁹⁹⁾, 今後軸受や耐摩耗性部品として用途が拡大するものと思われる. このように, 自動車用の焼結部品は鉄粉あるいは低合金鋼粉を使用した機構部品と, ステンレス鋼粉や高速度鋼粉などの高合金鋼粉を使用した耐熱・耐摩・フィルターなどの特殊部品との二本立てで今後の実用化が推進されることになる.

6. 今後の展望

今後の自動車構成材料の変化については種々の予測が行われているが, ほとんどは「軽量化」の観点から予測されている. その一例を Fig. 19 に示す¹⁰⁰⁾. この予測では 1980 年から 1990 年の間に乗用車と小型トラックの平均重量は約 25% 減少し, それを構成する材料の中ではプラスチックおよび Al 合金の比率が増加するとされている. 鉄鋼材料の構成比率はほとんど変化しないが,

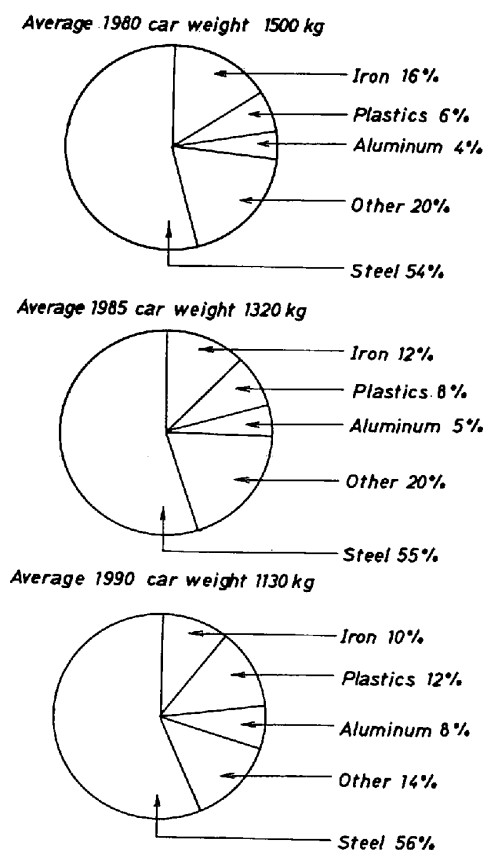


Fig. 19. Future use of materials in U.S. produced cars¹⁰⁰⁾.

絶対量は約 22% 減少し, それは主として車体用鋼板の減少であると説明されている. かつばう, すでに述べてきた自動車のエンジンや駆動系に使用される材料が車体用鋼板と最も大きく異なる点は, これらの部品が自動車の性能に大きく関わることと, 部品加工に要するコスト比率が大きいことである. したがつて今後の自動車部品材料についてはこれらの観点からも考えていく必要がある. 以下に筆者らの考えを簡単に述べたい.

(1) 高品質・高性能材料

軽量化が進むにつれてエンジン, トランスミッション, 足まわり部品, 軸受等の材料の作動条件は過酷になり, それらを構成する材料には強度, 靱性, 疲労, 高温強度, 耐食性などの信頼性の高いことが要求される. これに応える材料およびその製造技術の開発が最も重要であろう.

(2) 部品加工の合理化

部品コストを低減させるためには, 熱処理や加工を合理化することが最も有効であり, 本文でも述べた熱処理の省エネルギーや, 快削鋼等について一層の技術開発を進めると同時に, 精密鍛造や粉末焼結などのチップレス加工(非切削加工)の技術開発の促進が必要である.

(3) 素材の低廉化

構造用鋼の低合金鋼化については, 合金組成の開発という観点からはほぼ限界に近いところに到達したといえ

よう。今後はこれらの低合金鋼をいかに使いこなして、その使用比率を拡大するかにかかっており、材料技術者と部品設計技術者との密接な連携が必要である。また本文でも述べたように、最近多くの Ni 基合金などの高合金材料が使用されはじめているが、これらについては使用条件を見直し、それに適合する低廉材料の開発の余地が残されているものと思われる。

(4) 機能材料

自動車部品を構成する材料の中で、物理的性能を利用する材料が増加している。すでに本文でもマイクロ・コンピュータに使用される電磁材料についてふれたが、この他にも防振材料や各種のセンサー等の機能材料の必要性が増しており、今後開拓する余地の大きな分野である。

7. 結 言

自動車、とくに乗用車の部品に使用される構造用鋼・ばね鋼・耐熱材料・ステンレス鋼・電磁材料・溶接材料・焼結部品について現状を中心に今後の動向を述べた。項目が多岐にわたり焦点が定まっていないうらいがあるが、これでもいわゆる「特殊鋼」と称される中で軸受鋼や、自動車生産に重要な役割を果たしている工具鋼を省略している。このように数多くの材料をあえて取りあげた理由は、本文でも再々述べたように、近年の自動車技術の目覚ましい進歩と発展に伴って種々の新しい材料が必要となり、自動車部品用材料が従来の構造用鋼を中心とする「特殊鋼」の概念を大きく越していることを述べたいと考えたからである。

今後遠からず国際的な「小型車戦争」が熾烈になると予想されている。日本車の性能向上のために、ますます材料開発が重要となろうが、それには材料技術者と部品設計技術者の密接な連携が必要であることを再び強調して稿を終わりたい。

最後に貴重なデータを引用させていただいた各研究者に深く感謝の意を表すると同時に、御討論いただいた日産自動車(株)第2技術部木村茂夫氏ならびに(株)本田技術研究所丹羽祐久氏、さらに大同特殊鋼(株)の関係各位にお礼を申し上げます。

文 献

- 64) H. J. TATA, E. R. DRISCOLL. and J. J. KARY: SAE Paper 800480 (1980)
- 65) 高橋 淳, 佐藤俊明, 堺 義宏, 綾田倫彦: 電気製鋼, 51(1980), p. 143
- 66) 梅沢信正: 日経メカニカル, (1979) 4-2, p. 56
- 67) 大森幹男, 伊藤卓雄: 鉄と鋼, 63(1977), p.1750
- 68) 小柳 愷: 自動車技術, 32(1978), p. 752
- 69) J. F. KOSIS, and W. M. MATLOCK: Metal Prog., 108 (1975) 3, p. 58
- 70) 未発表 (富士バルブ(株), TRW Valve Div.)
- 71) D. R. JONES: SAE Paper 800315 (1980)
- 72) A. J. HICKL: J. Metals, 32 (1980) 3, p. 6
- 73) D. GODFREY, and R. L. COURTNEY: SAE Paper 710356 (1971)
- 74) W. GILES: SAE Paper 710368 (1971)
- 75) 宮川大海: 学振 123 委員会研究報告, 18 (1977) 3, p. 143
- 76) 大沢 恂: ステンレス, 17(1973) 6, p. 2
- 77) R. K. PITLER: Proc. Alloys for the 80's (1980), Paper no. 25 Climax Mo Co.
- 78) 佐味弘之, 柳原弘道: 自動車技術, 33(1979) 1, p. 49
- 79) W. BRANDSTETTER: SAE Paper 800456 (1980)
- 80) 斎藤 孟: 機械の研究, 32(1980), p. 143
- 81) 特公昭 54-24214, 出願人, 大同特殊鋼(株)
- 82) 山口俊介, 岡崎 健: 自動車技術, 34(1980), p. 723
- 83) 特許願: 昭 54-41020, 出願人, 大同特殊鋼(株)及び富士バルブ(株)
- 84) 未発表 (大同特殊鋼)
- 85) International Nickel Co., Catalogue Datum, 2nd Ed., (1968)
- 86) 西山利弘, 宮下直也: 自動車技術, 26(1972), p. 198
- 87) 中川威雄: 自動車技術, 33(1979), p. 116
- 88) V. A. TRACEY: Powder Met. Tech., 12 (1976), p. 25
- 89) 五十嵐伊勢美: 電子材料, 18 (1979) 5, p. 48
- 90) 小沢大成: 機械の研究, 32(1980), p. 191
- 91) 壺井芳昭, 本城雅則: 自動車技術, 33(1979), p. 54
- 92) 坂本光雄: 特殊鋼, 28 (1979) 8, p. 11
- 93) H. U. POMACK: IIW., 1976-MTC, 16-2-1
- 94) 竹内宥公, 洞田 亮: 電気製鋼, 51(1980), p. 34
- 95) 山本維行, 清野 洋, 羽室 憲, 外園保治: 日産技報, (1977) 12, p. 71
- 96) S. W. MCGEE and F. K. BURGERS: The Int'l J. of Powder Met. and Powder Tech. 12 (1976) 4, p. 313
- 97) C. TSUMIKI: SAE paper 750409 (1975)
- 98) A. KASAK, and E. J. DULIS: Powder Met., (1978) 2, p. 114
- 99) J. A. RASSENFOSS: SAE paper 800309 (1980)
- 100) H. E. CHANDLER: Met. Prog., 117 (1980) 6, p. 24
- 101) 加藤哲男, 草加勝司: 日本金属学会々報, 18 (1979), p. 624
- 102) 加藤哲男, 草加勝司: 鉛と亜鉛, 9 (1972) 6, p. 8