

自動車用鋼材の趨勢および日英米自動車用鋼の比較

本 山 盛 太 郎*

TENDENCY OF AUTOMOTIVE STEELS AND COMPARISON OF STEELS MADE IN JAPAN, U.S.A. AND ENGLAND

Moritaro Motoyama

Synopsis:

1. In early days of automobile manufacture, in Japan, U.S. A. and England, high alloy steels were used to make automobile parts. But afterwards, developments of design of automobile parts, together with more accurate manufacture and finer surface finish, have greatly improved the service life of automobile parts.

This resulted in very much less accent on the importance of basic alloy composition, so that the available lower cost, lower alloy grades could, with the highly developed heat-treating control and investigation on the hardenability of steels, be used interchangeably for automotive applications.

2. The author investigated and compared the grades of steels made in Japan, U.S. A. and England, concerning not only the kind of steels but also a quantity of incidental alloying elements, non-metallic inclusions and the grain size in steel.

The result of comparison showed that, grade of automotive steels made in U. S. A was the best of all and steels made in Japan was, to a great regret, the poorest of all.

I. 緒 言

自動車に使用する鋼材は多種多様にわたっている。特に主要部分であるギヤー類およびシャフト等に製造される鋼材については使用上、あるいは鋼材の製造上の観点からそれぞれの国々により種々の鋼が規定されている。それで著者は我が国および過去、現在に於いて最も影響の多かつた米国の自動車用鋼ならびに最近の英国の鋼材の趨勢について簡単に述べ、次いでこれ等各国に於いて製造された各自動車部品につき、これ等に使用された鋼の種類のみならず鋼の品位を表わす不純物としての特殊元素の量、清浄度あるいは結晶粒度等につき試験した結果を報告し、あわせて国産品との比較を行うことにする。

II. 日本に於ける自動車鋼用の變遷

我が国に於いて自動車が大量生産方式により製造されるようになったのは昭和 10 年の頃のことで、現在すでに 17~8 年の年月を経過している。この間種々社会的、

国家的の多くの事件が相次いで起りそのために、自動車用鋼もこれに使用する合金元素の需給関係で、種々変化を余義なくされたので、まずその変遷につき簡単に述べることにする。

含 Ni 鋼時代 (昭和 11 年~14 年頃まで) 昭和 11 年自動車事業法が制定され我が国でニッサン、トヨタの各会社がいわゆる多量生産方式により大衆車を生産しはじめた。当時の自動車に使用した合金鋼は調質鋼としては米国の S.A.E. 規格による Ni-Cr 鋼 (SAE 3100 系) Ni-Cr-Mo 鋼 (SAE 4300 系) 等、又、ハダ焼鋼としては Ni-Cr-Mo 鋼 (スバイサー 4620-1) 等のいわゆる含 Ni 鋼が主として使用されていた。これは自動車製造技術の本元である米国の流をくんだわけであつて、米国でもフォード車のように無 Ni 鋼を使用したものもあるが我が国では大事をとつて含 Ni 鋼を使用して来たのである。これは自動車の使い方が、我が国に於いては米

* 日産自動車横濱工場

国に於けるよりも止むを得ず苛酷となるので含 Ni 鋼を使用するのは止むを得ぬことと一応思われたのである。

無 Ni 鋼研究時代 (Cr-Mo 鋼, Cr 鋼時代, 昭和 13~17 年頃まで): しかるに昭和 13 年以後に至り我が国に於いては Ni は極度に節約せねばならない状態にたちいり, 民間の自動車メーカーは殆んど使用不可能の状態になり好むと好まざるとにかゝらず無 Ni 鋼の鋼をもつて自動車部品を製造しなければならなくなつたのである。

さて元来 Ni が鋼の性質をよくすることは公知の事実である。特に肉厚物には不可欠のものである。しかし自動車にはあまり大なる肉厚部品は使用されておらず、而も飛行機のように極度に材質の優秀性が要求されるものでもない。かつ問題となるのは主としてギヤの材料たるハダ焼鋼であるために Ni を除いて Mn を普通の鋼より多くし、いわゆる自動車用 Cr-Mo 鋼あるいは Cr 鋼の試作を製鋼メーカーに依頼して自動車メーカーはこの鋼より部品を試作した。しかして実地試験の結果はこれ等の鋼種が使用に耐えることを一応立証したのであつた。

自動車用 Cr-Mo 鋼および Cr 鋼の規格: (昭和 17 年 2 月)

上記のように無 Ni 鋼による実用試験結果も一応良好な結果を収めたので、こゝに自動車用 Cr-Mo 鋼および Cr 鋼の規格制定が必要になつた。それでその当時の関係官庁、自動車メーカー等協議しいわゆる自動車用 Cr-Mo 鋼および Cr 鋼の規格を制定 (商工省認定) した。この規格は従来の合金鋼規格と異なり、均一性を要求する意味で Mn, Cr 等の範囲も今までの規格よりせまくなり又 C の含有範囲は従来 0.1% のものが 0.05% となつたのである。しかしてこの規格は終戦直後の JES 規格の自動車用 Cr-Mo 鋼および Cr 鋼の前身である。

日本金属規格に於ける自動車用 Cr-Mo 鋼および Cr 鋼 (昭和 21 年 12 月): 自動車用含 Ni 鋼は遂に無 Ni の Cr-Mo 鋼および Cr 鋼により代替され、我が国の自動車は、終戦に至るまで主としてこれ等の鋼にて製造された。しかるに終戦と共に国内事情は一変し従来の JES 規格が官制改正に伴い日本規格と改称され、したがって日本標準規格中の金属部分は日本金属規格とし新発足することとなつた。この時にあたり自動車メーカーは規格委員会にて自動車用 Cr-Mn および Cr 鋼を日本金属規格中に規定されることを要望し、幸にそれがかなつて日本金属規格中に規定されることとなつた。(昭

和 21 年 12 月) その後 JES が JIS に改められ用途別の規格は出来るだけさげたいとの当局の御考えにより自動車用鋼という名称は省いて Cr-Mo 鋼および Cr 鋼として規格中に規定され現在 JIS の金属規格中の Cr-Mo 鋼および Cr 鋼の大部分はこの自動車用鋼である。さてこれ等 Cr-Mo 鋼および Cr 鋼は終戦後より今日に至るまで自動車製造に於てなお多量に使用されているものである。しかるにこれ等の鋼は試作当時実用になることは一応立証されたとは言えこれ等の諸性質は必ずしも充分満足出来るものでもない。特に Cr 鋼は焼入性が不十分であつて部品によつてはもう少し高級で焼入性の良い鋼を使用したいものである。しかしそれとて以前のように SAE 3100 系あるいは SAE 4300 系程度あるいはそれ以上の含 Ni 鋼は我が国の Ni 資源の関係あるいは価額の点より考えてあまり使用したくないのである。

しかるに米国に於いては戦時中つとに低 Ni-Cr-Mo 鋼の SAE 8600 系の鋼が研究使用され現在もなお多量に使用されている実例をみるのである。しかしてこの鋼に含有されている程度の Ni 量ならば左程問題とする量でもないのであるからこの鋼については大いに注目し一部には国産のこの程度の鋼にて試作研究を行つて良好な結果を得たような有様である。なお最近米国に於いても盛に研究され又我が国に於ても研究されている B 鋼については将来の新鋼種とし注目しているものである。

バネ鋼および軸受鋼: 次に板バネ鋼としては現 JIS 規格の Si-Mn 系の Sup 6 あるいは Sup 7 が使用されている。しかし最近 Si-Mn 系の鋼に比し、バネとして重要な意味のある表面脱炭あるいは疵の発生が少いと言われる Cr 鋼がバネ鋼として、より良好なものであると云われているので、このバネ鋼としての Cr 鋼には注目しているものである。

又軸受鋼については JIS 規格の Cr 鋼が使用されている。最近米国に於いてハダ焼鋼がレース用として使用されているがこれ等ハダ焼のベアリングも一応注目しているものである。

C 鋼: 今迄はもつぱら合金鋼について述べたが次に C 鋼について簡単に述べることにする。自動車製造の初期に於いては C 鋼もやはり合金鋼と同様 S.A.E. 規格の鋼を使用していた。さて C 鋼は成分的には C, Mn, Si 等のみを含有して比較的簡単であるけれどもその出来具合によつて甚だしく差異のあるものである。自動車に使用する C 鋼は刃物用鋼あるいは工具鋼のように特に高級のものは必要でないのである。しかしそれとて又市

販の一般コンクリートバーあるいは成分をあまり問題にしない一般市販品でも困るのである。C鋼も合金鋼と同様型鍛造熱処理を行つて使用するものが大部分であるから丁寧に注意して造られたもので型鍛造、あるいは熱処理によつて欠陥の起らないものが必要である。よつて昭和17年初め頃合金鋼と同様自動車用C鋼の規格を制定(商工省認定)したのである。これが終戦後JES規格が制定される時、内容はこの自動車用C鋼そのままで名称は機械構造用C鋼となり、これが又JIS規格中にそのまま規定されて現在に至つている。しかし我々自動車メーカーは鋼材の均一性の事からC含有量の範囲も0.1%よりも0.05%を要求しているし又品位上の問題でこれはC鋼のみならず合金鋼も同様であるが、不純物としての特殊元素の量も現在JISに規定してある以上のことが望ましいのである。又結晶粒度、清浄度、有害なる表面および内部疵等に関しては多くの要望事項があり、これ等の諸事項については現在鋼材メーカーは大いに協力していただいているのであるが今後ともなお一層の御協力を切に御願ひする次第である。

以上が我が国にて自動車創業当時より現在に至るまでの自動車用合金鋼およびC鋼の概略であるが次に我が国の自動車製造に際し大いに影響のあつた米国の自動車用鋼につき述べる事にする。

III. 米國に於ける自動車用鋼

自動車用鋼の變遷¹⁾ 自動車製造の元祖たるフォード社に於いては約50年前T型車の製造にあつてはCr-V鋼を多く使用し、この鋼によりギヤー、リヤおよびフロントアクスルシャフト、スプリングおよびコネクティングロッド等の各部品を製造した。このCr-V鋼は結晶粒細く当時多く使用されていたNi鋼よりも切削性良好で又衝撃値も高い値を示していたものであつた。しかしてCr-V鋼が使用し始められた頃には含Ni鋼としてはSAE 2300 (3.5% Ni) 3100 (1.5 Ni, 0.65Cr)等の鋼が既に多く使用されていた。しかしてCr-V鋼は滲炭温度から直接焼入が出来て熱処理が簡単に行われたため且つ又価格も安かつたので多量に使用されたのであつた。Cr-V鋼の次にVを無くしたCr鋼(SAE 5100)があらわれた。これは結晶粒が粗大になるけれども注意して製鍊され且つ滲炭後1次2次の焼入を行うことによつて細粒になり且つ又安価のために十分実用に供せられたのであつた。

Mn鋼は溶解に困難があると言われていたがよく注意して溶解され又処理されたものは切削性もよく、ギヤー

シャフト等に十分使用が可能であつて価格も最も安いものである。Mn鋼にBを少量添加したAISI 14 B 35, 14 B 52等のB鋼は焼入性も向上して良好な鋼と言われている。

Mo含有鋼: 第1次大戦後Moの使用が研究されC-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo鋼が研究された。

Cr-Mo (SAE 4100) は好ましい鋼材で特に中程度のC量の場合そうである。低C鋼では結晶粒が粗大化し又焼入性が良過ぎるために滲炭や、熱処理の場合に焼割れの起る可能性がある。しかしSAE 4100鋼は安価なためSAE 3100 (Ni-Cr鋼) に代つて多量使用されるようになった。

SAE 4140 はアクスルシャフトや肉厚の大なる商品に使用されている。もし結晶が微細でよく熱処理されるならばNi-Cr-Mo鋼のSAE 4340に匹敵している。

Ni-Mo鋼のSAE 4600鋼はスチュードベーカーによつて使用され最初はリヤアクスルギヤーや他の滲炭部品に使用され3.5% Ni鋼のSAE 2300におきかわつた。Ni-Mo鋼は滲炭箱から直接焼入され、焼入による変形も少ないものである。価格も安く切削費、熱処理費用等も少く3.5% Ni鋼にかわつて多量に使用された。

Mn-Mo鋼 (Amola鋼, SAE 4000) これはクライスラーによつて使用され比較的浅い焼入性が要求されるところによく適用されている。この鋼は浅い焼入性であるにかゝらず(臨界焼入深さ1.8インチ)他の高価で焼入性の大きな鋼も同様に使用可能の事が立証された。

三元合金鋼: 第2次世界戦争中に合金元素の節約にNiの節約のために低Ni-Cr-Mo鋼のSAE 8600鋼が研究され又実用上大成功を収め現在でも多量に使用されているものである。これはNi, Cr, Mo, Mn系の合金元素を少量づつ含有しているもので合金元素の含量も少く、しかし焼入性その他機械的性質も良好なものである。

かくの如く米國に於いては自動車用鋼としては最初が高含Ni鋼が使用された。又フォードのようにCr-V鋼Cr鋼、その後になつてMn鋼, Cr-Mo鋼, Ni-Mo鋼, Ni-Cr-Mo鋼, Mn-Mo鋼等の種々の鋼種があらわれ使用されるようになった。しかしてこの間、自動車部品設計の進歩、部品の加工技術特に表面仕上技術の進歩等のために部品の耐久性が急速に増加した。したがつて合金元素の必要性はより少くなるような状態になつたのである。しかして我々は鋼の撰択にあつて価格、加工性、切削性を考慮すると共に機械的性質よりも鋼の焼入性を

重要視するようになった。

さていわゆる鋼の機械的性質特に引張強さは鋼種が異つても硬さが同じであれば大体同じ値を示すもので鋼種の差による機械的性質の差²⁾は衝撃値、伸あるいは絞り位のものでこれ等とても大なる差のあるものではない。むしろ鋼の機械的性質は焼入の良、不良によつても大いに影響されるからである。これは鋼の焼入、焼戻後の機械的性質、特に衝撃値や疲労限等は焼入、焼戻後の硬さが同じであつても、焼入が十分であるものが良好な値を示している。したがつて部品のために最も望ましい機械的性質を与えるためには部品の大きさを考慮して焼入性の適当なものを選ぶべきである。しかし鋼の焼入性は単独に一元素を多量に添加するよりも数種の元素を少量づつ添加したのがむしろ焼入性が良好である。例えば三元素の SAE 8600 系のように Ni, Cr, Mo 等を少量づつ添加したのもでも良好な焼入性を示している。

かように合金元素は比較的少くても良好な焼入性のものが得られるようになったことおよび Ni のような特殊元素は現在既に耐熱鋼等に多量に使用されるべきものであつて自動車用鋼としては出来るだけ節約すべき元素と考える。かゝる観点から鋼の撰択にあつては焼入性を重要視するようになったので、この観点から米国の自動車用鋼を一瞥してみることにする。

米國自動車用鋼の焼入性による分類³⁾：元素鋼の焼入性は含有元素の種類および量によつて異なるものであり、又同一元素を多量に添加するよりも異なる数種の元素を同時に少量づつ添加した方が焼入性には効果があると云われている。よつて SAE 鋼に於いては Ni, Cr, Mo, Mn 等種々の元素を単独あるいは数種同時にあるいは又含有量にも種々差のある鋼が規定されているが、これ等の鋼は使用上より考えると主としてハダ焼鋼として使用すべき低い C 量の鋼と、C 量が高く焼入および焼戻を行つて使用すべきものとの 2 種類に分けられる。

ハダ焼鋼：一般にハダ焼合金鋼はハダ部の焼入性に関して 2 群に分けることが出来る。鋼にもともと含有される C 量はハダの C 量には影響しないから規格番号の最後の数字はハダに関してあまり意味がないものである。第 1 表は各ハダ焼鋼の焼入性を示すものである。

この焼入性の高いハダをもつ鋼は高合金鋼であるからハダ部も芯部も高い焼入性をもつてベベル・ドライブ・ピニオン、大型ギヤーのような肉厚のものに使用される。

中程度の焼入性をもつものは C 鋼と合金ハダ焼鋼の中間にあつて一般にギヤー、ピニオン、ポールスタッド等

第 1 表 SAE 鋼のハダ部の焼入性

焼入性の高いハダをもつ鋼	中程度の焼入性のハダをもつ鋼	
2500	1300	5100
2300	2300	8600
4300	4000	8700
4800	4100	
9300	4600	

の中程度の大きさのハダ焼用部品に使用される。

芯部の性質：ハダ焼鋼の芯部の性質は鋼の C 量と合金元素の量とによつて決められる。この合金鋼の一般的な型として芯部に異なる焼入性をもたせるため C 量の低いものや高いものがある。鋼の使用に際し一般に高い圧縮荷重のもとではハダ部を支えるために比較的高い芯部の硬さが必要である。又大きい靱性が肝要である時は芯部の硬さが低いことが要求される。ハダ焼鋼は芯部の焼入性について第 2 表のように 3 種類に分ける事が出来る。

第 2 表 SAE 鋼の芯部の焼入性

低い焼入性		中程度の焼入性			高い焼入性	
4017	4608	1320	4032	5115	2517	9310
4023	4615	2317	4119	5120	3810	9315
4024	4617	2512	4317	8620	4816	9317
4027	8615	2515	4620	8622	4817	
4028	8617	3115	4621	8720	4820	
		3120	4812	9420		
			4815			

直接焼入する合金鋼の分類：これらの鋼は SAE 規格による平均 C 含有量により第 3 表のように 5 群に分けられている。

第 3 表 直接焼入する合金鋼の分類

SAE規格平均C量	用途
0.30~0.37%	中程度の大きさと、大きい靱性を要する熱処理部品
0.40~0.42%	一應高い強さと、より靱性を要する熱処理部品
0.45~0.50%	かなり高い硬さと強さと中程度の靱性を要する熱処理部品
0.50~0.62%	バネ及び工具
1.02	球軸受及びコロ軸受

C 鋼および Mo 鋼については上述の分類法によらない。C 鋼および Mo 鋼は合金元素含有量が低いいため同じ用途に用いられる他の合金鋼に規定されるよりも習慣

として一層高いC量が規定されている。例えば SAE 40 63 は SAE 4140, 4145 および 5150 と同じ用途に用いられる。

現在では鋼の各種のC含有量のことを焼入性に依じて2~3群に分けられている。焼入性が変わらないとしても変態点範囲即ち熱処理操作は合金元素の変化とともに幾分変化するものである。

平均C量 0.30~0.37% の SAE 鋼: 中程度の断面の水焼部品と小断面の油焼部品とに使用される。この鋼の用途はコネクティングロッドステアリングアーム、アクスルシャフト、ボルト等強さと靱性を要する部品に使用される。

しかしこの分類中に入る鋼は焼入性により第4表のように2群に分ける。

第4表 SAE 鋼の焼入性

低い焼入性		中程度の焼入性	
1330	4042	2330	
1335	4130	3130	
	5130	3135	8635
	5132	4137	8637
4037	8630	5135	8735
		8632	9437

平均C量 0.40~0.42% の SAE 鋼: 一般にこの鋼は高度の強さと靱性を要する中型および大型部品に用いられる。適当な鋼の撰抜は作られる部品の断面大きさと機械的性質とによって決められる。これらの鋼は焼入性にもとづいて第5表のように3群に大別する。

第5表 SAE 鋼の焼入性

低い焼入性		中程度の焼入性		高い焼入性
1340		2340	4640	4340
4047	5140	3140	8640	
	9440	3141	8641	9840
		4053		
		4063	8642	
		4140	8740	
			8742	
			9442	

低い又は中程度の焼入性の鋼はステアリングナックル、アクセルシャフト等のように平均大さの部品も用いられる。高い焼入性の鋼は特に大型のアクセル、シャフトに用いられる。

平均C量 0.45~0.50% の SAE 鋼: これ等の鋼は古くから相当に高い硬度並に強さと靱性を要する歯車その他の部品に用いられる。かような部品は通常は焼入されるが、焼入状態に於いてマルテンサイトが90%以上

あることが好ましい。この群も焼入性により第6表の如く3群に分ける。

第6表 SAE 鋼の焼入性

低い焼入性		中程度の焼入性			高い焼入性
5045	9747	2345	5147	8745	4150
5146	9763	3145	5150	8747	9850
5145		3150	8645	8750	
			8647	9445	
		4145	8650	9845	

平均C量 0.50~0.62% の SAE 鋼: この鋼はバネおよび工具に用いられている。その焼入性の程度は材料の厚さおよび焼入作業の如何によつて決つて来る。この群も焼入性により第7表のように2群に分けられる。

第7表 SAE 鋼の焼入性

中程度の焼入性		高い焼入性	
4068		8653	
5150	9254	8655	
5152	9255	8660	
6150	9260	9262	
8650	9261		

平均C量 1.02%: これは元来減磨軸受レース、球およびローラーのため用いられた Cr 電気炉鋼である。これらは高い硬さと耐磨耗性を要するものである。9種の鋼 50100, 51100, 52100 の成分は Cr 含有量を異にするため焼入性に若干変化のある外大体同様な性質をもっている。平均C量 1.02% を含む分類中で SAE 50100 は硬化能低く SAE 51100 および SAE 52100 は中程度の焼入性をもつものである。

SAE 鋼はC量も合金元素の量、種類およびこれ等の諸元素の組合せにより、鋼種は異つても焼入性は大体同程度の鋼が数多く出来ている。又上記の如くC量を略同一程度のものに分類すれば同一C含有量のもので焼入性により2~3群に分けられる。従つて鋼の使用者は鋼の価格、機械的性質、および加工性等の諸点および焼入性を十分考慮して適当な鋼を撰ぶことが出来る。

以上もつばら SAE 鋼を焼入性の観点から分類したが現在ではあまり含有元素の多い高合金鋼は使用されていないようである。第8~10表々にはギヤ、シャフト等の米国に於いて主として使用されていると思われる鋼を示す。

第8表のギヤ鋼としては低 Ni-Cr-Mo 鋼の SAE 8600 系, Ni-Mo 鋼の SAE 4600 系, Mo 鋼の SAE 4000 系, Mn 鋼の SAE 1300 系等が多く使用され、又 SAE 1022 あるいは SAE 1024 のように Mn 含有の高

第8表 現用の米國自動車用齒車鋼

自動車 メーカー	リヤークスル。ギヤ-				トランス ミツシヨン ギヤ-					オートマチック セミオートマチック	
	ドライブ ピニオン	リング ギヤ-	サイド ギヤ-	サイド ピニオン	カウンタ -ギヤ-	クラツチ ギヤ-	ロー ス ピ ー ド ギ ヤ -	セ コ ン ド ス ピ ー ド ギ ヤ -	アイ ド ル ギ ヤ -		
A	8617	8615	5130	5130	5145	5145	5145	5145	5145	5145	1141
B	4620	4620	1019 ~1022	1022	4640H	4640H	4640H	8640H	4640H	5140H	5145H
C	4620H	4620H	8620H	8620H	8620	8620	8620	8620	8620	1024	8620H
D	8620	8620	8620	8620	1320	1320	1320	1320	1320	4032	1330H
E	4620	4620	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1024	1052	
F	1024	1024	1024	5120	5135H	5135H	5135H	5135H	5135H		
G	4028	8620H	8620H	8620H	4032	4032	4032		4032		
H	4028	4028	4032	4024	1340H	1340H	1340H	1340H	1340H		
I	4620	4120 Mod	1137	1016							

第9表 米國の自動車用シャフト材

105~140 kg/mm ²		123~158 kg/mm ²
1330	4063	4340
3140	4068	9845
3141	8640	
3145	8645	
4140	8650	
4145	8740	
4150	8745	
	8750	

第10表 米國のフロントスピンドル材

88~116 kg/mm ²	105~140 kg/mm ²
1340~45	4340
3135~40	9840
4135~40~42	8640~45
8640~42	
8740~45	
9442	

い規格ではC鋼さえ使用されている有様である。

第9~10表のシャフト、スピンドルについても大体ギヤ用鋼と同様高合金鋼は使用されておらず、Mn鋼のSAE 1300系、Ni-Cr鋼のSAE 3100系、Cr-Mo鋼のSAE 4100系、Mo鋼のSAE 4000系低Ni-Cr-Mo鋼のSAE 8600およびSAE 8700系等が主として使用され、強力シャフトには稍Niの高いNi-Cr-Mo鋼のSAE 4300系又はSAE 9800系の鋼が使用されている状態である。

IV. 英國の自動車用鋼⁵⁾

英國の自動車用鋼には英國規格のB.S. 970に規定されたEn No. での鋼が使用されている。而して規格制定の考え方等に於いてSAE或いはJIS等と異なる

ところはあるにしても規定した鋼種に大差はなく鋼種はやはりC鋼、Ni鋼、Ni-Cr鋼、Ni-Cr-Mo鋼、Cr-Mo鋼、Mn鋼等が規定されている。唯SAE、JIS等に規定していないMn-Mo鋼が規定されているのは一寸目立つものである。

しかし英國に於いても現実には合金元素の不足により特にNiの不足によつて第11表に示すように比較的合金元素の高い鋼は、比較的低い鋼におき代えられ、最近では又これ等の鋼でさえも低Ni-Cr-Mo鋼におき代えられつつある。この最後の低Ni-Cr-Mo鋼のEn 361、362、363はそれぞれSAE 8615、8620および8622に相当するものである。

第11表 英國に於けるハダ焼鋼の變遷

記號	鋼種	引張強さ ton/inch ²
En 33	3% Ni 鋼	45 ton
" 34	2% Ni Mo 鋼 低C	"
" 35	2% Ni Mo " 高C	55
" 36	3% Ni, Cr "	55~65 "
" 37	5% Ni 鋼	40 "
" 38	5% Ni, Mo 鋼	65 "
" 39A	4.25% Ni, Cr "	85 "
" 39B	4.25% Ni, Cr, Mo 鋼	" "
" 325	1.75% Ni, Cr, Mo "	55 "
↓		
En 351	0.75% Ni, Cr 鋼	45 ton
" 352	1% "	55 "
" 353	1.25% "	65 "
" 354	1.75% Ni, Cr, Mo 鋼	75 "
" 355	2% "	85 "
↓		
En 361	15C 低合金鋼	(SAE 8615)
" 362	20C "	(SAE 8620)
" 363	25C "	(SAE 8622)

V. 日本及び米、英の自動用鋼材の比較

今まで主として日本および米英の自動車用鋼材の鋼種につきその趨勢を述べたが次に、米国および英国に於いて製造された自動車の各部品につき使用鋼種のみならず、鋼の品位をあらわす不純物としての特殊元素の量、非金属介在物、結晶粒度および表面処理の状況等につき試験した結果を報告し合せて国産品との比較を行った結果につき報告する。試験した部品の種類は第 12 表に示す通りである。

第 12 表 試験に供した部分品 (○印)

車 名	シボレー 乗用車	プリム ス 乗用車	フォード 乗用車	G.M.C. トラック 2.5 トン	ジープ	オース チン A-40
ギヤ	○	○	○			○
リアアクスル シャフト	○	○	○	○		○
コネクチン グロツト	○	○		○		○
クランク シャフト	○			○		
ボルト ナツト	○	○				○
リーフ スプリング	○	○		○	○	○
コイル スプリング	○	○				
ベアリング	○	○	○			○

試験項目

1. 化学および分光分析により鋼の含有成分元素の量を知りこれより鋼種を判定し、又不純物としての特殊元素の量を定めた。

2. 表面処理、硬度の測定

3. 清浄度 (非金属介在物)

学振法には試験片の鍛造比および試験片の取り方等について規定してあり、又 A、B 2 種の非金属介在物中 A は加工により粘性変形をなすもの (硫化物、珪酸物等) B は粘性変形をなさざるもの (酸化物等) と規定してある。よつて部品に加工されたものよりそのまま試験片を取つて試験片にすることは議論の余地もあることと思われるが試験は一応部品より切取つたままを使用しあとは学振法により測定した。

4. 結晶粒度: 試験片は部品より切取り学振法により測定した

試験結果は次に示す通りである。

1. ギヤ関係: 試験結果は第 13 表に示すとおりである。

シボレー乗用車には Cr 鋼の SAE 5100 系を使用し

ている。トランスミッションギヤには C 含有量の比較的高い SAE 5145~5150 を使用し、表面の硬化層はうすく 0.05mm 程度で硬さは部品により差があるが表面 Rc 53~55、芯部は Rc 47~55 であつて、表面と芯部とは硬さの差がすくない。又サイドギヤのようにリヤークスルギヤ関係のものは、C 含有量の比較的低い SAE 5135 を使用し、硬化層はうすく、表面および芯部のかたさは共に Rc 46 であつた。

プリムス乗用車には Mo 鋼の SAE 4000 系を使用しトランスミッションギヤ関係には C 含有量の比較的高い SAE 4032, 4047 を使用し、表面硬層は 1.1mm 程度、かたさは表面 Rc 57~62 で芯部はギヤにより異なるが Rc 15~41 で表面との差の大きなものもある。またリヤークスルギヤ関係には C 含有量の低い SAE 4024 が使用され (硬化層は 1.2mm 程度、かたさは表面 Rc 57~67 で芯部は Rc 15~22 でギヤによつて表面との差の大きなものもある。

フォード乗用車はリヤークスルギヤ関係のみを調べたが C 含有量 0.20% 程度の快削鋼と他は SAE 1022~1024 の C 鋼を使用している。この C 鋼は我が国の C 鋼 (JIS 規格) より Mn の含有量多く、SAE 1024 は 1.35~1.65% Mn となつている。ギヤ硬化層は 1.2mm 程度で硬さは表面 Rc 61~64 芯部は Rc 15~34 でギヤの種類により相当の差がある。

オースチン A-40 にはギヤに主として Ni-Mo 鋼の En 34 のハダ焼鋼が使用され硬化層は 1mm 前後の厚さを示し表面のかたさは Rc 61~64 程度芯部のかたさは部品により差があり硬いもので Rc 27~28、低いもので Rc 11~19 程度である。又クラッチギヤのように En 24 の Ni-Cr-Mo 調質鋼を使用したものもあり表面のかたさ Rc 59、芯部のかたさも高く Rc 52 を示しているものもある。

2. シャフト関係: 試験結果は第 14 表に示すとおりである。使用鋼種は車種により異なるも Cr-Mo 鋼の SAE 4137, Mo 鋼の SAE 4068, 低 Ni-Cr-Mo 鋼の SAE 8650, 8655 系が使用されている。又オースチン A-40 は Mn-Mo 鋼の En 16, ハダ焼 Ni-Cr 鋼の En 36, 又 Mn 鋼の En 15 鋼が使用されている。かたさは車種により異なりトラックは比較的高く、乗用車小型車になると表面及び芯部共に低い値を示している。

3. コネクティングロッドおよびクランクシャフト関係: 試験結果は第 15 表に示すとおりである。シボレープリムスおよび GMC トラックは共に SAE 1035~1050 の C 鋼を使用している。かたさはコネクティングロッド

第13表 ギヤ-關係の試験結果

車名	ギヤ-名	鋼種	硬化層 mm	かたさ Rc	
				表面	芯部
シボレー乗用車	トランス ミツシヨ-ン ギヤ-	SAE5150	0.05	53	53
	ファスト ア-ンド レバ-ス ギヤ-	// //	//	55	55
	レバ-ス ア-イドル ギヤ-	// //	//	53~55	53
	セコ-ンド スピ-ド ギヤ-	// 5145	//	52~53	47~51
	クラツチ ギヤ-	// //	//	52~56	48~51
	メ-イン シヤフト	// 5150	//	52~54	50~51
	カウ-ンタ- ギヤ-	// //	//		
リヤ-ア-クスル ギヤ-					
	サイド ギヤ-	// 5135	//	46	46
プリムス乗用車	トランス ミツシヨ-ン ギヤ-	// 4037	1.1	56~57	18~22
	メ-イン シヤフト	// //	//	56~58	24~25
	ドレ-イブ ピ-ニオン	// 4032	//	57	18~20
	カウ-ンタ- ギヤ-	// //	//	60	15~17
	ロ-ア-ンド レバ-ス ギヤ-	// 4037	//	57	26
	セコ-ンド スピ-ド ギヤ-	// 4032	//	//	41
	レバ-ス ギヤ-	// 4047	//	//	
	クラツチギヤ- スリ-ブ	// 1151	//	19	
	クラツチ ギヤ-	// 4032	//	67	87
	レバ-ス ギヤ-	// 4037	//	//	20
	ロ-ア-ンド バツク ギヤ-	// 4024	1.2	57	22
	リヤ-ア-クスル ギヤ-	// //	//	67	18
	デイフアレ-ンシヤルサイドギヤ-	// //	1.0	//	15
デイフアレ-ンシヤル					
サイド ピ-ニオン					
フォ-ド乗用車	リヤ-ア-クスル ギヤ-	// 1029	1.2	64	34
	スパ-イラル ギヤ-	// //	//	61	24
	ドレ-イブ ピ-ニオン	// 1120	//	64	15
	サイド ギヤ-	// 1022	//	//	//
	サイド ピ-ニオン				
オ-スチ-ンA-40	トランス ミツシヨ-ン ギヤ-	En 34	0.9	59	19
	メ-イン シヤフト サ-イド ギヤ-	En 24	0.25	//	52
	クラツチギヤ-	En 34	1.3	62	13
	メ-イン シヤフト				
	リヤ-ア-クスル ギヤ-	En 34	1.1	64	28
	デイフアレ-ンシヤル ホ-イ-ル	// //	//	61	27
	デイフアレ-ンシヤル ピ-ニオン	//	1.0	63	19
	ベベル ピ-ニオン	//	//	64	11
クラウ-ン ホ-イ-ル					

註: 米國製品は古い銹ついた部品を測定したので表面のかたさが少し低い値を示していると思われる。

第14表 リヤ-ア-クスル シヤフトの試験結果

車名	鋼種	硬化層 mm	かたさ Rc	
			表面	芯部
シボレー乗用車	SAE 4137	スプライン ペアリング 0.8	スプライン ペアリング 61 中央25	
プリムス	// 4068		42~44	
G.M.C 2.5 トン トラック	// 8655		36	

G.M.C (4トン) トラック	// 8650		40	30
フォ-ド乗用車	// 1330		34~37	33~36
オ-スチ-ンA-40	En 16		24	16

焼入を行つたと思われるもので表面 Rc 54, 芯部 Rc 21 のものもあつた。又オ-スチ-ンA-40 のコンロッドは Mn-Mo 鋼の En 16 を使用し表面のかたさは比較的的低く Rc 19 であつた。

4. ボルトナツト關係: 試験結果は第16表に示すとおりである。

は Rc 16~18, クラ-ンクシヤフトは Rc 20, 又高周波

第 15 表 コンネクティングロッド及クラシクシャフト試験結果

車 名	鋼 種	かたさ Rc	
		表 面	芯 部
プリムス コンロッド	SAE 1041	16	
シボレー 2.5 トン G.M.C	1035		
コンロッド	1043	17	
オースチン A-40	En 16	19	
プリムス クラシクシャフト	SAE 1038	20	
2.5 トン G.M.C	SAE 1050	54(高周波)	21

およびフォード乗用車のようにC含有量の低い Ni-Mo 鋼の SAE 4620 を使用するもの、或いはセクターローラーのレース用として Ni-Cr 鋼の SAE 3115, Mo 鋼の SAE 4042 等を使用しているものもある。又 C 含有量の低いものは 1.3mm 程度の滲炭が行われていて、かたさは主として表面 Rc 62~65, 芯部 RC 25~48 の程度であつた。

又オースチン A-40 はレース, ボール共に Cr 鋼の En 31 を使用し表面のかたさは Rc 61~62 である。

以上もつばら使用鋼種, 表面処理およびかたさ等について述べたが次に品位上の問題としての非金属介在物, 結晶粒度および不純物としての特殊元素の含有量等につ

第 16 表 ボルト ナット関係の試験結果

車 種	部 品 名	鋼 種	硬化層 mm	かたさ Rc	
				表 面	芯 部
プリムス乗用車	アンカー ボルト	SAE 1042	0.7~1.0	25	35
	アドヂヤステング スクリュー	1022		60	
	スタッド ボルト	1022		13	
	ハブ ボルト	1035		21	
	ピン ブッシング	1050	51	28	
	タイロッド エンド ソケット	3115	88B		
	タイロッド スタット	4028	64	16	
	デイフアレンシヤル ベアリング カップ スクリュー	1035	29	7	
シボレー乗用車	ハブ ボルト	SAE 1022	0.3	19	7
	ボルト ホア ハブ リヤア フロント	1020		36	13
	ピン ブッシング	1115	0.2	62	88B
	タイロッド エンド ソケット	1022	1.0	70B	
	タイロッド スタット	4017		56	16
	ステアリング ボード ボルト (長)	1035		21	
	ステアリング ボード ボルト (短)	1035			
ボルト リヤアアクスル	4042	33			
オースチン A-40	コンロッド ボルト	En 16		26	
	コンロッド ボルト ナット	En 8		10	

シボレー, プリムス共に少数の含 Ni 鋼, Mo 鋼および快削鋼を使用しているが, 大部分 SAE 1020~1050 の C 鋼である。又オースチンは Mn-Mo 鋼の En 16, Mn 鋼の En 8 を使用している。硬化層の厚, および表面のかたさは部品により種々の値を示している。

5. スプリング関係: 試験結果は第 17 表のとおりである。鋼種は車種により異なるも, Cr 鋼の SAE 5150, Mo 鋼の SAE 4068, Si-Mn 鋼の SAE 9260 系が使用されている。フロントコイルスプリングもやはり SAE 9260 および SAE 4068 が使用されている。又オースチン A40 は Si-Mn 鋼の En 45 が使用されている。

6. ベアリング関係: 試験結果は第 18 表のとおりである。シボレー乗用車のようにレースおよびボールは Cr 鋼の SAE 52100, 50100 を使用するもの、又プリムス

第 17 表 スプリングの試験結果

部 品 名	車 名	鋼 種	かたさ BHN
リーフ スプリング	シボレー 乗用車	SAE 5150	388
	プリムス	4068	429
	ジューブ G.M.C トラ ック 2.5 及 4 トン	5150	
	オースチン A-40	9260	
		En 45	341~ 352
フロントコイル スプリング	シボレー 乗用車	SAE 9260	415
	プリムス	4068	420

第 18 表 ベアリング関係の試験結果

車 名	部 品 名	鋼 種	硬化層 mm	かたさ Rc		
				表 面	芯 部	
シボレー乗用車	フロントホイールベアリング (ニューデパーチエアー)	アウターレース	SAE 52100	2.0	64	36
		インナーレース	//		//	
		ボ ー ル	// 50100		63	
	セクターローラー	ケ ー ジ	// 1015		86RB	
		アウターレース	// 3115		65	
		インナーレース	// 52100		64	
プリムス乗用車	リヤアクスルシャフト ベアリング (チムケン)	ボ ー ル	// 50100	63		
		アウターレース	// 4620	1.2	64	40
		インナーレース	// //	1.3	62	25
	セクターローラー	ロ ー ラ ー	// //	1.4	64	36
		ケ ー ジ	// 1010	81RB		
			// 4042			
フォード乗用車	プロペラシャフト フロントベアリング	レ ー ス	// 1042		48	
		アウターレース	// 4620	1.0	62	47
		インナーレース	// //		64	46
	デリアレンシャル サイドベアリング	ロ ー ラ ー	// //	1.1	64	48
		ケ ー ジ	// 1008	79RB		
オースチンA-40	ボールジャーナル ベアリング	アウターレース	En 31		61	
		インナーレース	//		62	
		ボ ー ル	//			
	リヤアクスル ダブルパーパス ボールベアリング デリアレンシャルケース	アウターレース	En 31		61	
		インナーレース	//		62	
		ボ ー ル	//			

き各部品を試験した結果を一括して述べ、あわせて国産品との比較を行うことにする。

1. ギヤ、シャフト、スピンドル関係：これは同一程度の含有量であるのでこれ等を一括して示すと第19表のとおりである。これによると不純物としての特殊元素の量、非金属介在物はC鋼、合金鋼共に国産品が最も多く含有され、米用品が最も少い。非金属介在物も米用品が最も良好な値を示し次で英国品、最も悪いのが国産品である。

2. ボルト・ナット関係：米用品英国品共に不純物としての特殊元素の量および非金属介在物の状況はギヤ、シャフト材と差異はないが、結晶粒度は粒度一定せず不均一である。

3. スプリング関係：スプリングについては第20表のとおりである。これによると鋼としての品位は米用品が最もよく次いで英国品、最も悪いのが国産品である。又スプリングの疲れ、破損等に重大な影響のある表面のスケール、脱炭、疵等は米用品には殆んどなく、英国品には僅かに脱炭が認められる。国産品はこれらの欠陥はしばしば認められ表面脱炭の如きは0.1mm程度は普

通である。又時折り破損して問題を起したスプリングの中には表面のスケール甚しく、ロール疵等の残っているもの、又0.35mm程度の脱炭をしているものもあつた。又内部組織は米用品英国品共に均一にして方向性なく、かたさも英国品には多少の不均一性があるが米用品にはそれもない。

4. ベアリング関係：試験結果は第21表のとおりである。これも他の部品と同様品位的には米用品がはるかに良く次に英国品、国産品が最も悪い。内部組織も米用品、英国品は網状炭化物は殆んどないが、国産品は多いものがある。

次に各種の鋼のPおよびSの含有量であるが、米国のSAE規格ではC鋼は普通P0.040%以下、S0.050%以下、合金鋼は普通P0.040%以下、S0.040%以下と規定され、英国に於いてもB.S.にC鋼はP、S共に0.06%以下、合金鋼ではP、S共に0.050%以下と規定されており、JISのC鋼のP、S0.045%以下、合金鋼のP、S0.035%以下よりもむしろ多くなっている。しかし実際の部品につき分析した結果ではギヤ、シャフト材、ボルト、ナット材、スプリング材等は米国ではP、S共に0.012~0.029%の範囲にあつて0.025%程度

第 19 表 ギヤ-、シャフト、スピンドル材の品位

			米 國 品	國 産 品	英 國 品
C 鋼	特殊元素 (不純物)	Ni%	0~0.15 主として 0.10 以下	0.05~0.45 主として 0.05~0.20	
		Cr%	0~0.20 主として 0.10 以下	0.05~0.45 主として 0.10~0.25	
		Cu%	0~0.15 主として 0.10 以下	0.05~0.45 主として 0.30 前後	
合 金 鋼	特殊元素 (不純物)	Ni%	0~0.25 主として 0.10 以下	0.05~0.50 主として 0.10~0.30	0~0.13 主として 0.10 程度
		Cr%	0~0.25 主として 0.10 以下		0~0.25 主として 0.10~0.18
		Cu%	0~0.30 主として 0.20 以下	0.10~0.50 主として 0.30 前後	0~0.28 主として 0.10~0.15
清 淨 度 (非金属 介在物)	A	數 值	0.3~1.5	0.3~2.0 2 ~ 6	0.5~3.0
		厚 (μ)	1 ~ 3	概して不均一	2 ~ 4
	B	數 值	1.0~3.0	1.0~3.1 3 ~ 6	0.5~4.1
		厚 (μ)	2 ~ 5	概して不均一	3 ~ 5
結晶粒度		G	細粒均一 7~8	不均一 4~8	不均一 4~8

第 20 表 ス プ リ ン グ の 品 位

			米 國 品	國 産 品	英 國 品*
特殊元素 (不純物)	Ni%		0~0.70	0.05~0.45 主として 0.10~0.15	trace
	Cr%		0~0.16	0.05~0.50 主として 0.15 前後	nil
	Cu%		0~0.07	0.05~0.50 主として 0.30 前後	0.08
清 淨 度 (非金属 介在物)	A	數 值	1.0~2.3	1.0~3.0	1
		厚 (μ)	3~4 均一	2~5 不均一	2
	B	數 值	1.5~3.5	2.0~4.0	1.4
		厚 (μ)	3~5 均一	2~5 不均一	5
結 晶 粒			細 粒 7~8	粗 細 不均一	5
スケール 脱炭 その他の			なし // //	あり 0.1 mm 程度 歴延きず等あり	なし 0.04mm
か た さ			均 一	不 均 一	341~352 稍不均一
内 部 組 織			均一, 方向性なし	不均一, 方向性あり	均一, 方向性なし

* オースチン関係は一部品のみ結果

第 21 表 ベ ア リ ン グ の 品 位

			米 國 品	國 産 品	英 國 品
特殊元素 (不純物)	Ni%		0~0.11	0~0.30 主として 0.10	0~0.30 主として 0.10
	Cr%		0~0.12		
	Cu%		0~0.12	0~0.35 主として 0.20	0~0.15 主として 0.10 以下

清 淨 度 (非 金 屬 介 在 物)	A	數 值 厚 (μ)	0~0.5 1~3	0.4~3.5 1~3 概して不均一	0.8~2.0 2~3
	B	數 值 厚 (μ)	1.0~2.5 2~5	0.6~4.0 3~6 概して不均一	0.9~1.3 3~4
結晶粒度 (G)			細 粒	不均一 (5~8)	不均一 (5~7)
内 部 組 織			網狀炭化物なし, 均一	網狀炭化物あり, 不均一	網狀炭化物なし, 均一

のものが最も多い。又ベアリング鋼は特に電気炉製であるためか P, S 共に 0.011~0.024% の範囲にあつて、0.020% 以下が最も多い。英国品のギヤー、シャフト材スプリング等は P 0.016~0.045%, S 0.013~0.042% の範囲にあつてそれぞれ 0.030 前後が最も多い。ベアリング鋼は P 0.013~0.035%, S 0.010~0.021% の範囲に入っている。かように P, S の点でも米国品が最も優り英国品がこれに次いでいる。国産品は最近では大部分規格内にあるが時々規格外に多いこともあつてあまり一様性がないようである。

上記のように自動車部品についてこれに使用されている鋼材の品位を調べた結果米国品が最も良好で次に英国品、国産品が最も悪い。

次に米国の自動車用鋼材が米国に於ける他の一般用鋼材に比し、品位的にどの程度のものであるか、その一端を知るために少し資料は古いけれども一般鋼材中に含有されている不純物としての特殊元素の量を第 22 表に示す。これによると米国の自動車用鋼中に含有されている不純物としての特殊元素の量は大体に於いて全鋼材中の平均値に等しくなっている。この値よりして米国に於いても自動車用鋼は品位的にもよく吟味されたものが使用されていると思われる。

第 22 表 米國一般合金鋼の不純物としての特殊元素

		Ni%	Cr%	Mo%
1946~1947 溶解數		7902	5591	6083
含 有 量	範 圍	0.00~ 0.50	0.00~ 0.45	0.00~ 0.16
	平 均	0.108	0.077	0.023
1948 溶解數		1555	916	540
平 均		0.108	0.063	0.024

(Steel March 14, 1949)

なお ASTM スタンダード (1949) によれば合金鋼中の不純物としての許容範囲を Ni 0.25%, Cr 0.20%, Mo 0.06%, Cu 0.35% までと規定されてあるが、この

値まで含有しているものは殆んどない。

VI. 總 括

今まで述べたことを総括して次の 2 項目に要約することが出来る。

1. 自動車用鋼材としては日、米、英各国共ある程度の差はあるが最初の内は相対に含有量の多い含 Ni 鋼や一般に含有量の多い高合金鋼が使用されていた。しかるに自動車の設計技術および部品加工、特に表面加工技術の進歩等により次第に含有合金元素の少ない低合金鋼が使用される傾向になつた。その他作業現場に於ける熱処理技術の進歩、鋼の焼入性の研究結果、あるいは合金元素の不足、特に Ni 元素の耐熱鋼等に使用する結果必然的に Ni 元素の不足を来し、これ等の諸条件が相まつて自動車用合金鋼は高合金鋼より低合金鋼へと変遷している。

2. 次に米英両国に於いて製造された自動車部品につき鋼種のみならず鋼の品位をあらゆる不純物としての特殊元素の量、非金属介在物の状態あるいは結晶粒度等を測定し、日本のものと比較した。この結果品位上に於いては米国品が最も優り英国品がこれに次ぎ残念ながら日本品は最も悪い結果を示した。(昭和 28 年 10 月寄稿)

文 献

- 1) Harry W. McQuaid: Metal Prog. Sept., (1952) 88
- 2) SAE Iron and Steel Technical Committee's Division XVIII, Hardenability Publications: Hardenability-Band Steels
- 3) Alloy Steel Division, of the SAE Iron and Steel Technical Committee: SAE Journal, Oct. (1949) 51
- 4) V. E. Hense, H. H. Miller, and R. B. Schenk: SAE Journal, Oct. (1950) 25
- 5) Addendum No. 1: November, 1951 TO B.S. 970; 1947; Emergency Specifications for Case Hardening Steels
- 6) Steel: March 14, 1949