

— 特 別 講 演 —

近年における特殊鋼の金相学的発展について*

ヘルベルト・ブリーフス**

Development Trends in Metallic Science of Special Steels in Recent Years.

Dr. Herbert Briefs

本日の報告のテーマは非常に広範囲であるので、ここでは文字通りただ本質的な問題についてのみ述べる。したがって金相学的な考察、すなわち成分、熱処理および材料の性質の間の関係を考察することが中心である。さらに冶金的な面、後加工の問題、全体の生産工程中における品質の組織的な分類および消費者側との連繋についてもふれる。

A. 金相学的な考察

高速度鋼

現在、おもにつぎの4つの原因の相互作用により非常に多方面の供給計画が生じている。

a) 18% W 鋼はその大きな焼入硬化能によつて将来非常に重要な意味を持つてくるであろうが、その18%Wのうちある一定のパーセントのWは性能上完全には利用されていない。それゆえこの18%W 鋼と並んで約30年来12%Wの高速度鋼が使用されている。

b) Wは2対1の割合で全部または一部分 Mo によつて置換し得る。

c) 高速度鋼の性能は大部分V量(C量が適切である場合には)によつて決定される。

d) 最小限2.5%のCoを添加すると、焼戻軟化抵抗、および高温硬度が向上するということはすでに早くから知られている。

以上のことから第1表に示すような供給計画が生れてくる。この第1表は高速度鋼を、その主成分にしたがつて分類してある。この表の右半分においてこれまでの性能に対する経験を3つのグループに分けることを試みみた。同じないしはほとんど同じに近い性能が合金的に全く異なつたベースによつて得られている。

さらにこの表には、工場における処理が簡単であるということすなわち Eigen-anfertigung のために特に推奨されるWを含む鋼種が記されている。非常に多種の高速度鋼の計画を合理化する必要がある。しかしながらこ

れはただ非常に大きな使用者の団体によつてのみ可能である。

近年の機械工場における高速度鋼の使用上の発展は明らかに Mo を含む高速度鋼によつて起つている。この含 Mo 高速度鋼の高 W 高速度鋼にまさる利点はつぎの通りである。

焼入温度が低い。

熱伝導率が良好。したがって研磨に対して鈍感であり、俗にいう研磨はだの生成が少ない。

多分W鋼より延性が大きい。

密度が小さい。

熱処理に対する本質的な見地は新しく出版されたドイツ鉄鋼協会の Werkstoffblatt 320~359 の中に書いてある。したがってここではただ基本的な問題のみを取扱う。

できるだけ高い性能を持つように高速度鋼を焼入するためには二次炭化物の分解を進めることが前提条件である。この分解の進行状態には焼入温度および保持時間が非常に効いてくる。この両方のファクターには第1図に見るごとく規則的な関係がある。DMo 5 に関する詳細な研究報告が上述の関係を明らかにしている。まず第一に浸漬時間(予熱段階から材料を焼入バスより取出すまでのすべての時間)はつぎの2つの部分から成つてい

1. 焼入温度まで予熱するに要する時間。
2. 焼入温度での保持時間。

焼入温度を約12°上げた場合には、二次炭化物の分解状態を同じにし、従つてまた同じ性能を得るためには保持時間を半分にしなければならない。それゆえにこれはつぎのことを意味している。すなわち保持時間ないしは浸漬時間を長くするということは、焼入温度を上げるよ

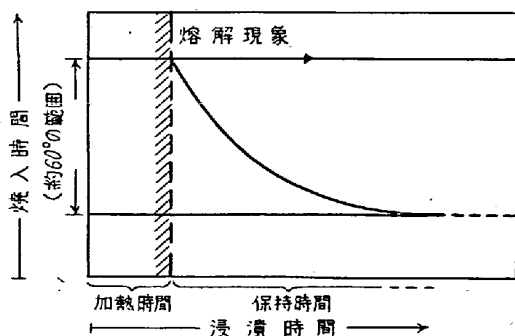
* 昭和34年12月16日、東京都中央区京橋 ブリジストンビル・ブリジストンホールにて講演

** ドイツ特殊鋼株式会社 主任技術者 工博

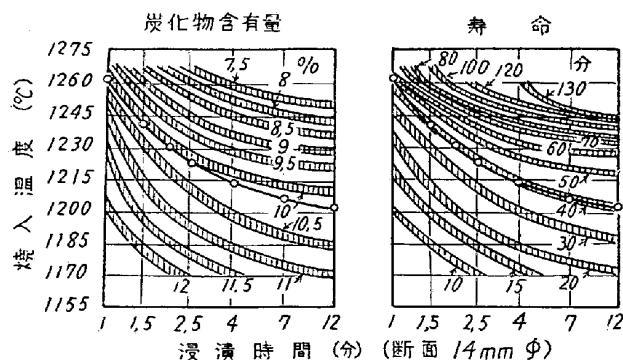
第1表 高速度鋼・成分および性能により分類したドイツで生産されている高速度鋼—1958年夏成立。

SEL 記号	基本合金	組 成 %*)					鋼 の 加 工				DEW Mark	アメリ カ規格	
		C	Co	Mo	V	W	85 kg / mm ² 以下	85 kg / mm ² 以上	最高の応力 組仕上 仕上				
B18	W	0.75	—	(0.5)	1.00	18.00	■	+	—	—	—	Rapid spez.	T 1
C18	hoch	0.85	—	(0.5)	2.00	18.00	■	—	+	—	—	OOO Extra	T 2
E18Co 5		0.80	4.75	0.85	1.50	18.00	■	—	—	+	—	Kobalt I	T 4
E18Co10		0.75	9.50	0.85	1.50	18.00	■	—	—	+	—	Kobalt I	~T5
E18Co15		0.65	15.5	0.70	1.65	18.0	■	—	—	+	—	Kobalt spez.	—
ABC II	W	0.80	—	0.85	1.60	9.0	■	+	—	—	—	Rap.spez.BN	—
D	Mittel-	0.85	—	0.85	2.50	12.0	■	—	+	—	—	SA 200	~T7
EC03	hoch	0.85	2.75	0.85	1.85	12.0	■	—	—	+	—	Kobalt I N	~T8
EV 4		1.25	—	0.85	3.75	12.0	■	—	—	—	+	SA 500	—
EV4Co		1.40	4.75	0.85	3.75	12.0	■	—	—	—	+	SA 900	T15
ABC III	Mo-W	0.95	—	2.65	2.35	2.85	■	+	—	—	—	Mo 325	—
DMo5		0.85	—	5.00	1.90	6.50	■	—	+	—	—	Mo 20	M 2
EMo5Co5		0.85	4.75	5.00	1.90	6.50	■	—	—	+	—	Komo 205	M35
EMo5V3		1.20	—	5.00	3.25	6.50	■	—	—	—	+	Mo 30	M 3
—		1.15	4.75	5.00	3.25	6.50	■	—	—	—	+	Komo 305	—
EW9Co10		1.25	10.0	4.00	3.25	10.00	■	—	—	(+)	+	Komo 310	—
BMo9	Mo	0.80	—	8.50	1.20	1.75	■	+	—	—	—	Mo 10	M 1
—	hoch	1.00	—	8.50	2.00	1.75	■	—	+	—	—	Mo 10	M 7
—		0.95	4.75	8.50	2.00	1.75	■	—	—	+	—	Komo 19/5	M30
—		0.90	8.25	8.50	2.00	1.75	■	—	—	+	+	Komo 19/8	M34 /M34

*) 4% Cr はすべてて共通に含まれている。 ■特に工場に対して

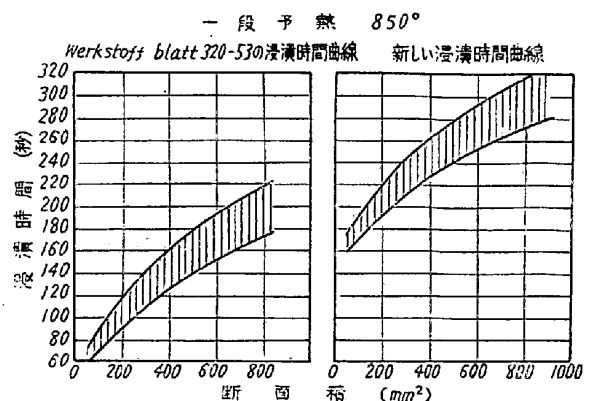


第1図 高速度鋼・切削能力が等しい場合の焼入温度と保持時間の関係 (模型用)



第2図 高速度鋼・DMo5 高速度鋼の炭化物含有量および切削能力におよぼす温度および浸漬時間の影響。

り、むしろ安全な作業を可能ならしめる。実際に現在では焼入温度を低く保持時間を長くして処理している。しかしながらこの保持時間にももちろん限界がある。すなわちその限界時間というのは炭化物の分解が、その焼入温度における平衡状態に大体達するまでの時間である。以上の知識から第3図のような一つの新しい浸漬時間曲線 (850°Cでの1段予熱) が最近の Werkstoffblatt 320 ~359 に提案されている。焼入温度はカタログに示されている範囲内において品物の形状にしたがって選ばれる。今まで二次炭化物の分解に関しては顕微鏡の数多くの研究がなされているが、新しい知識によれば、この方



第3図 高速度鋼・簡単な加工を施した高速度鋼工具に対する浸漬時間曲線。

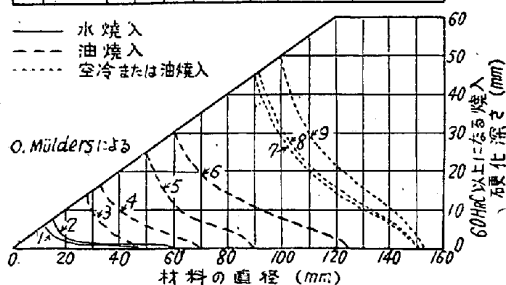
法では非常に不完全であり、それゆえもつとも良い実際上のめやすは焼鈍後の基質の硬度上昇を測定することであるということがわかった。

冷間加工用工具鋼

冷間加工用鋼の分野はつぎのことによつて特徴づけられる。すなわち幾十年の間に沢山の鋼種が純粋に経験的に生れてきているということである。一級の品質をもつた非合金工具鋼は今日においてもなお品質に対する冶金学的な基準である。実際一級の非合金工具鋼を熔解できる者は、とりもなおさず良質の合金鋼を製造できる。非合金工具鋼は合金鋼が沢山使われているにもかかわらず、消費者に対して、将来もまたその重要な意味をもつであろう。

ここに個々の冷間加工用鋼について述べることは余り意味がない。むしろわれわれはこの事柄を全体的に把握する、すなわち焼入硬化性および耐衝撃性という2つの重要な性質について述べる。

No.	材料 No.	組成 (%)							焼入	DEW-記号
1	1540	1.0	—	—	—	—	—	—	780°/W	SS 4
2	2414	1.2	—	0.1	—	—	—	—	800°/W	WSP
3	2067	1.0	—	1.5	—	—	—	—	850°/Oel	WKL
4	2842	0.9	1.9	—	0.1	—	—	—	800°/Oel	MSO
5	2419	1.0	1.0	1.0	—	1.2	—	—	840°/Oel	Veresta
6	2510	1.0	1.1	0.6	—	0.1	0.6	—	840°/Oel	Veresta V
7	2363	1.1	0.5	5.2	1.2	0.3	—	—	920°/Oel	Bora 5
8	2436	2.1	—	11.5	—	(21)	0.8	—	940°/Luft	Bora
9	2601	1.6	—	11.5	0.7	0.5	0.5	—	1030°/Luft	Bora spez. M



第4図 工具鋼・冷間加工用工具鋼の熱入硬化性と材料の直径との関係（円および四角の断面に対して）

焼入硬化性に対しては沢山の研究の基礎の上に立つて第4図のような1つの模型をわれわれは提出する。その模型図は、ある一定の成分を持つ鋼がその鋼に適用した焼入材の中でどれ位硬化するかということを使用者に対して明らかにするものである。この場合焼入硬化性というものは HRC 60 以上の硬度を中心部で持つ場合をさしている。

そのような説明は、またある鋼が hot quenching できるかどうかという決定に対して意味を持つている。純経験的にはつぎのことが説明されている。すなわち同じ断面を持つ工具鋼が油焼入できるならば、その工具鋼はまた hot quenching ができるということである。

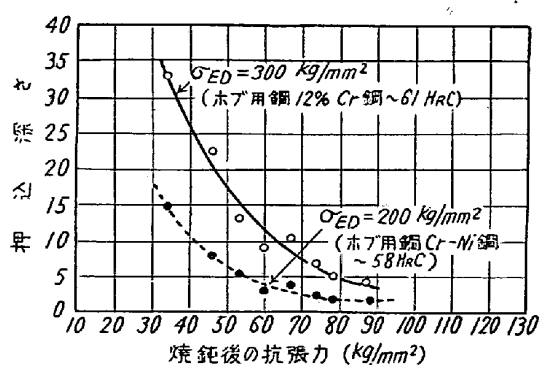
HRC 57 以上の硬度を持つ硬工具鋼および高速度鋼の耐衝撃性試験に対しては現在の所一定の試験方法は存在しない。したがって明確な試験方法を確立することが是非必要である。それゆえ私が主催しているドイツ鉄鋼協会の共同研究の中で硬工具鋼の耐衝撃性の試験に対して1つの具体的な提案がなされているということは重要である。これまでの試験結果において現われた矛盾はつぎのことで明らかである。すなわちこれまで耐衝撃性というものは曲げ強さおよび曲げ変位のごとき単純な測定量によつて測定され得ると信じられていたことである。しかしながら耐衝撃性というものは疑いなく一つの仕事量であり、そしてそれゆえにこの方面によつてのみ解決され得るものである。これまでの研究による提案は一点荷重を持つ静的曲げ試験である。この場合主に2つの測定量がグラフによつて求められる。すなわち変形が起るまでの工業的曲げ限界および破断までの塑性変形仕事量である。

しかしながら近年中にこのような試験方法が材料の供給表につけられるようになることはとても考えられない。それはまず第一に主要な高速度鋼並びに工具鋼の耐衝撃性とその焼入および焼鈍操作との関係を研究するという純学理的な研究課題を持つているからである。焼入硬化性と耐衝撃性の研究はまだ相当の時間を必要とするが、この両方のファクターを把握することによつて、われわれは冷間加工用工具鋼においてその関係をより一層明瞭にするための1つの重要な寄与を行なうと信じている。

つぎに近年におこっている特殊な問題について述べる。

a) ポンチ用工具鋼の寸法変化とその加工片の形、特にカーバイド列の方向および焼入操作との関係に関する研究。焼入の場合において寸法変化のない鋼は存在しない。したがって工具鋼の製作の際にそれを考慮に入れるためにその規則性を見出さなければならない。

b) 日本においても知られているように、cold hobbing の問題は非常に興味がある。元来これは合成樹脂の成形に利用されていたが、他の工業部門例えば造幣工業、ネジ工業、タップ工業などにおいても実用化されている。詳細な研究により工具鋼の hobbing 性はそれに加えられた圧力と並んで第一にその材料の抗張力如何によるということが明らかになった。(第6図) もちろん到達し得る焼鈍後の抗張力の値は鋼の成分と関係があるので、おのおのの使用目的にしたがつて決めなければならない。しかしながら特に hobbing 性の良好な鋼を金属学的手段によつて作り出すことは成功している。



第5図 工具鋼・合金工具鋼の押込深さと焼鈍後の強度および押込圧との関係

熱間加工用工具鋼

熱間加工用鋼——特に、硬化可能な鋼の場合には——その関係は、冷間加工用鋼の場合よりも一層明瞭となる。

第2表は、高速度鋼の場合と同様に、硬化可能な熱間加工用鋼を合金グループと性能にしたがった分類し、概観したものである。また、図から判るように、基本組成が異なる鋼でも、ほとんど同じ性能を持たせることも可能である。

実験室的な規模の試験から熱間加工用鋼を評価することには、最近、非常に重要な変化が生じた。その根本は1~2時間の標準焼戻し後の焼戻し曲線である。焼戻し曲線は、焼戻し作業の指針として、非常に重要である。

第2表 工具鋼・合金成分による硬化可能熱間工具鋼の分類。

鋼のグループ	組 成 %								加 工 性			DEW記号
	C	Cr	Mo	Ni	V	W	Co		普 通	やや高い	もつとも高い	
W	0.35	1.0	—	—	0.20	2.0	—	—	+			Durax W3/W2
	0.45	1.0	—	—	0.20	3.8	—	—		+		Durax Spezial
	0.30	2.5	—	—	0.50	4.3	—	—		+		Spezial W5
	0.30	2.5	—	—	0.35	9.0	—	—			+	Spezial W
	0.30	2.5	—	—	0.25	9.0	2.0	—			+	WC2
Mo	0.40	1.8	0.2	—	—	—	—	+1.3 Mn	+			CMS
	0.50	1.5	0.8	—	0.30	—	—	—		+		CMS
	0.40	5.3	1.3	—	0.50 (1.0)	—	—	—		+		E38(E38V)
	0.30	2.8	2.8	—	0.50	—	—	—		+	(+)	Durax Mo3
Mo-W	0.40	1.4	0.5	—	0.80	0.5	—	—		+		WM 559
	0.40	5.5	1.5	—	0.30	1.5	—	—		+		E38W
	0.30	1.2	1.4	—	0.25	2.3	2.3	—			+	Spezial MS
Ni-Me	0.55	0.7	0.3	1.7	0.10	—	—	—	+			AMS
	0.55	1.1	0.5	1.7	0.10	—	—	—		+		AMS Extra
	0.55	1.1	0.7	1.7	0.10	—	—	—		+		D12L
	0.40	1.3	0.25	4.0	0.10	—	—	—		+		DCNR

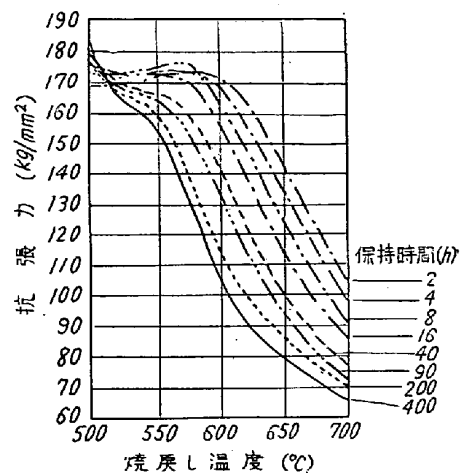
しかし、600°C以上の温度範囲の焼戻し曲線は、どの鋼もほとんど変わらないので、この曲線から鋼の性質を云々することはできない。

長時間焼戻しの曲線は、全て第6図のように非常に特徴のあるものである。

この曲線は、同時に、工具鋼がその表面強度を失うことなしに長時間、どれ位の温度まで耐えうるかという実際上、非常に重要な問題に対する解答を与えてくれる。

最高使用温度は、その材料強度に対応する焼戻し温度よりも、少なくとも100°C低くなければならない。

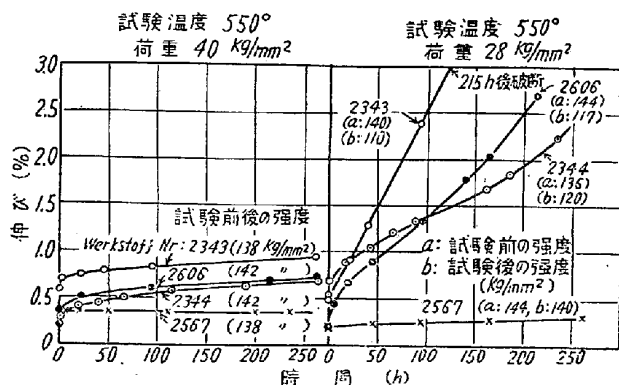
高温引張り試験は、従来しばしば行なわれているが、タービンブレード鋼の例に見られるように、いろいろの鋼の差異は、長時間試験における時間—伸びの関係を調べた後に初めて明白となるのである。



工具材料番号 2567

焼入 1050°C 油中

第6図 工具鋼・熱間加工用W鋼の抗張力におよぼす焼戻しの影響



第7図 熱間加工用鋼・熱間加工用鋼と時間と伸びの関係、試験温度 500°C, 550°C

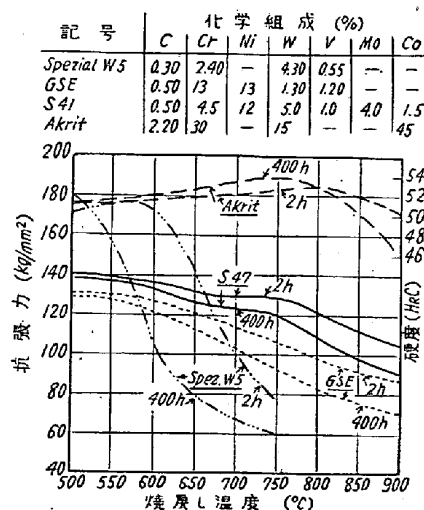
第7図は、Cr-Mo鋼 2343を、その変形鋼 2606 (1.5%W), 2344 (1%V), W鋼 2567と比較したものである。W鋼の優秀性は、この図から明らかである。

これは、経済性、優れた加工性、良好な焼入性（空気焼入可能）、熱間割れがほとんど起らないなどの理由で、5% Cr を含有する Cr-Mo 鋼が今日非常によく使われているのは当然であることを示している。しかし、特別に摩耗抵抗が必要な場合には、W 鋼がその存在価値を持っている。

ここで、硬化可能な熱間加工用鋼の他に、オーステナイト鋼に言及する。このオーステナイト鋼は、ホットコールドワークで強度を高め、銅合金、真鍮合金の押出しダイスとして古くから使われている。これは、使用中にも、なお硬化プロセスが進行しているからである。

またステライト系の硬質合金は、耐衝撃性が比較的悪いが、構造によつて衝撃性が補えれば、銅の押出しダイスとして優れている。

第8図は、この種の材料の高温強度を概観したものである。



第8図 熱間加工用鋼・熱間工具鋼
の焼戻し軟化抵抗。

構造用鋼

第⑧図 熱間加工用鋼・熱間工具鋼の焼戻し軟化抵抗。

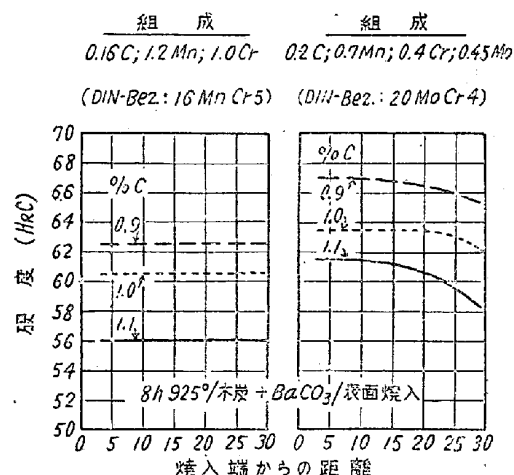
構造用鋼の分野では、唯一の発展である滲炭用鋼の“直接焼入れ”について述べなければならない。これは大企業の流れ作業から生れた。それは、表層部を滲炭、冷却し、必要に応じて中間焼鈍を施し、最後に特別な作業方法によつて焼入れするというよ

うな古典的な滲炭方法ではない。直接焼入れは、ガス滲炭から生れたのである。この作業方法から、鋼に、特殊な工学的要求がなされた。

滲炭層の微粒化と耐衝撃性

硬度 $62 \pm 3 \text{ HRC}$

この第1の要求は、古典的な滲炭法における結晶粒の微細化のための再加熱が行なわれなくなるという事実に起因するのである。しかしこれは冶金学的な手段によつて充分補える。第2の要求は、滲炭後の直接焼入れの際にオーステナイト量を少なくしておけば満たされるのであつて、これは金相学の問題である。



第9図. 構造用鋼・表面焼入試験による硬化層におよぼす滲炭鋼の Cr 含量の影響.

詳細な研究（第9図）から、つぎのことが明らかとなつた。すなわち、従来滲炭用鋼として使われていた高Cr鋼は、過滲炭が起りオーステナイト生成が進むので、直接焼入れの際余り硬化しない。そのため直接焼入れ用としては、——中心部の強度を高める意味で——Crを全然含有しない鋼や、Cr含量の非常に少ない合金鋼が使われるようになった。

第3表は、大体同じ中心部の強度を持つ鋼を、比較、対照したものである。

耐熱鋼と耐熱合金

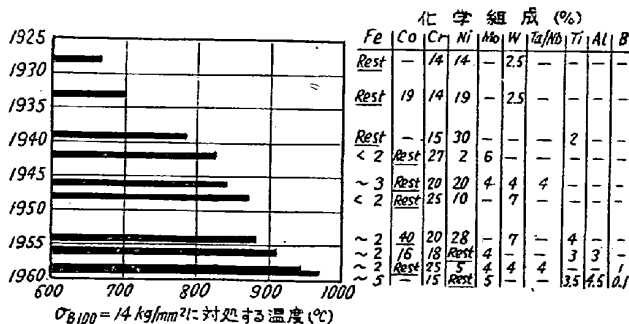
耐熱鋼は、ここ 30 年間に、急速に発展した。耐熱鋼は、蒸気タービン、ガスタービン、ジェットエンジンなどの例から判るように、非常に高い温度で、非常に高い荷量に耐えるという要求から生れたのである。

この発展は今日、二、三の原理的な説明で以つて理解できるであろう。同時に、最近の多彩な提案、研究報告のために、色々な材料が開発された。

第10図は、最近30年間のクリープ・ラプチャー試験における荷重——耐熱温度の上昇を示している。この進

第3表 構造用鋼・従来の焼入法と直接焼入法をほどこす渗炭用合金鋼.

W-Nr	従来の焼入法					DEW 記 号	直接焼入法					DEW 記 号
	組 成 %						組 成 %					
	C	Mn	Cr	Ni	Mo		C	Mn	Cr	Ni	Mo	
7131	0・16	7・2	1・0	—	—	ECM	0・20	0・7	0・4	—	0・45	EMO
7147	0・20	7・3	1・2	—	—	ECMH	0・26	0・7	0・5	—	0・45	EMOH
5919	0・15	0・5	1・5	1・5	—	E15Z	0・20	0・7	0・6	1・55	0・45	E15D
5920	0・18	0・5	2・0	2・0	—	E22Z	0・24	0・7	0・6	1・55	0・45	E22D



第10図 耐熱鋼・クリープ・ラプチャー試験による荷重—温度関係の向上.

歩は、新しい材料の開発と熱処理の研究によつて、生れてきたのである。最も大きな荷重に耐える材料としては鑄造合金も考えなければならない。

全体を総括すると、これらの鋼は、組成によつて6つの大きなグループに分類できる(第4表)。大型ボイラー用の低合金耐熱鋼は、表から除外してある。

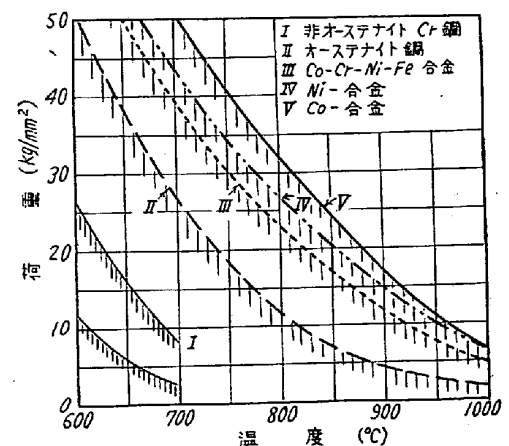
第1のグループは、硬化可能な 13% Cr 鋼である。第2のグループは、18-8 型ステンレス鋼から出発して、オーステナイト鋼の利用により、決定的な進歩があつた。このグループは、50% 以上 Fe の含有しているの、まだ、鋼の性質を持つている。

第4表 耐熱鋼・耐熱鋼、耐熱合金の合金含有限.

合金元素		I					V
		耐熱鋼	非オーステナイト系Cr鋼	オーステナイト鋼	Co-Cr-Ni-Fe合金	Ni合金	
Co %	—	—	bis 2	bis 10	10~45	bis 20	45~65
Cr %	bis 3	10~15	bis 10	12~25	12~20	bis 20	10~25
Mn %	bis 1.5	bis 1.5	bis 18	bis 1.5	bis 1.5	bis 1	bis 1
Ni %	bis 1	bis 2	8~35	bis 50	15~35	40~80	bis 25
Fe %	Rest	Rest	>50	bis 0.5	bis 50	bis 5	bis 8
C %	0.1~0.4	0.1~0.4	bis 0.7	—	—	bis 0.2	bis 0.7
Al %	—	—	bis 7.5	bis 3	—	bis 6	—
B %	bis 0.01	—	// 0.7	// 1	// 0.5	// 0.5	bis 1
Cu %	—	bis 2	// 3	// 3	—	—	—
Mo %	bis 1.2	bis 3	// 6	// 6	bis 10	bis 6	—
N %	—	bis 0.1	// 0.35	// 0.2	—	—	—
Nb/Ta %	—	bis 0.5	// 4	// 4	bis 2	bis 4	bis 4
Ti %	—	—	// 3	// 4	// 4	—	—
V %	bis 0.8	bis 0.5	// 1	// 3	—	—	—
W %	bis 0.5	bis 3	// 5	// 5	bis 8	bis 15	—

第3のグループは、Fe 含量 50% 以下の合金である。最も大きな荷重に耐える材料として、40%以上の Ni を含有するグループ4 (nimonic) と 45% 以上の Co を含むグループ5が問題となる。

第11図はこの5つのグループに関し、いろいろの温度において、現在到達し得る 1,000 時間ラプチャー強度を図示したものである。この場合、トップグループは、



第11図 耐熱鋼・耐熱鋼と耐熱合金の 1000 時間ラプチャー強度.

比較的同じような値を示している。これを使用するに当っては、荷重の大きさだけでなく、何よりも、荷重に耐える時間が長い、短いかが、重要な決定の要素となる。

の問題である。

不銹鋼、不銹合金、耐酸鋼、耐酸合金

しかしながらここ数年間の発展の中から次に示す4つの事柄を述べておかねばならない。

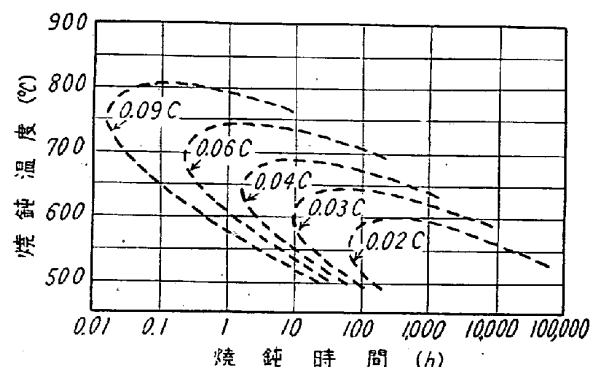
(1) 上に述べた 18% Cr, 9% Ni 鋼の場合2つの全く異なる理由に基づいてその Ni 含有量を増加させることができる。

(a) その1つはオーステナイトの完全な安定化であり、例えば冷間押出線のごとく高度の冷間加工性が要求される場合にこれは特に重要である。Cr 量を減少させることが好ましくない場合には、Ni 量は約 13% あるいはそれ以上にせねばならない。

(b) 最高炭素量 0.07% の結晶粒分解を起さぬ鋼とは別に近年いわゆる ELC 鋼が現われた。この場合オーステナイトを形成する炭素量は最高 0.03% まで下げられているので、Ni 量を高くせねばならぬことは明かである。

われわれの研究所ではこの種の合金に就き、炭素量、焼入温度、感応温度およびその時間、さらに結晶粒分解の関係について興味ある研究を行なつたが、それはつぎの機会に発表することにする。炭素量が非常に低い場合には、600°C 以下の温度で十分長時間の焼鈍を行なうと結晶粒の分解が起ることが明らかになった(第13図)。したがって 0.07% 炭素鋼と同様に ELC 鋼種も 350~400°C 以下でしか使用できない。

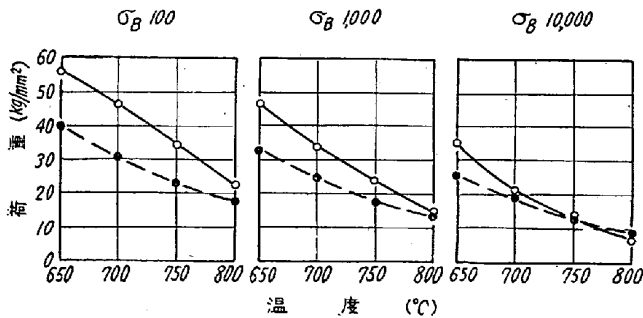
この合金鋼が厚さ 6mm 以上の鋼板に应用されることを除いて考えると、炭素量の非常に低い鋼を使うという傾向は工業的には決して適当でないと考えられる。



第13図 18%Cr, 9~12%Ni, 0~3%Mo 鋼の結晶粒分解の領域。

(2) フェライト系の 17% Cr 鋼では耐蝕性が十分でなく、また同時に深絞り作業に対するオーステナイト組織特有の変形能が必要とされるような目的に対しては 8% Mn, 18% Cr, 6% Ni の基本組成へ N を添加した Mn-Cr-Ni 鋼への関心が高まりつつある。Mn-Cr-Ni

記号	化学組成 (%)										抗張力 (kg/mm ² bei)		
	C	Co	Cr	Ni	Al	Mo	W	Ta/Nb	Ti	Fe	20°	650°	800°
○	0.1	18	20	Rest	1.5	—	—	—	2.5	<5	125	95	55
●	0.4	Rest	20	20	—	4	4	4	—	<5	100	80	50



第12図 耐熱鋼・Ni 合金と Co 合金のクリープ強度。

第12図が、この事実をよく説明している。

荷重時間 100 時間は比較的短い、その場合には、Ni 合金が、Co 合金に比べて明らかに優っているが、1,000 時間の場合には、両者の差異は、實際上ほとんど存在しなくなる。このことから今日、長時間の荷重に対しては Co 合金が、短時間の荷重に対しては Ni 合金がよい、ということが考えられている。

ここに、ごく短い荷重時間に対しては、高価な熱間加工用鋼(例えば、5% Cr, 1.5% Mo, 0.5% V)の利用も考えられることを述べなければならない。熱間加工用鋼は非常に高い荷重を受けても、最高の焼戻し軟化抵抗を示すが、酸化し易いことと溶接性が悪いことが欠点である。

さらに高い荷重に耐える強力耐熱合金として、いわゆる、サーメットの発展を考えたこともあつた。これは、耐熱金属材料中に炭化物やボライトを埋めこんだ金属セラミック材である。しかし、これは、機械的衝撃性、熱衝撃性が共に悪いために、前述のグループ4の Ni 合金よりも劣る。しかし、高融点金属(第5表)特に、従来関心の的であつた Mo の利用による進歩が期待される。だが、十分な耐酸化性が確保出来るかどうかこれが今日

第5表 耐熱鋼・高融点金属の融点と比重。

金 属	融 点	比 重
W	3410	19.1
Pe	3150	21.2
Ta	2960	16.6
Mo	2620	10.2
Ni	2470	12.7
Cr	1800	7.1

第6表 時効硬化型不銹鋼 (抜萃)

タイプ	組 成 %					組 織		時効硬化の原因
	C	Cr	Mo	Ni	そ の 他	溶体化組織	時効組織	
17-4 PH	0.04	17.0	—	4.0	4.0 Cu	Mart.	Mart.	Cu-Phase
17-7 PH	0.07	17.0	—	7.0	1.2 Al	Aust.	Mart.	Al-Phase (Karbid)
Ph 15-7 Mo	0.07	15.0	2.5	7.0	1.2 Al	"	"	" " (")
AM355	0.13	15.5	2.8	4.3	0.1 N	"	"	Karbid-Nitrid
H NW	0.30	18.5	—	9.5	3.5Mn, 0.3P	Aust.	Aust.	Karbid-Phosphid
A286	0.05	15.0	1.25	26.0	2.0Ti, 0.2Al, 0.3V	"	"	Ni-Ti-Phase

鋼は上述の性質の他にその表面光輝が銀光に似ている所から食器工業においてもその応用分野を持つている。

(3) 航空機工業においては、耐銹性の、しかも高温抗張力の高い鋼が要求されるので、非常に興味ある発展が行なわれた。そして必要な特性値を時効硬化によつて生ぜしめる種類の鋼が出現した。今日までにすでに数多く得られているこの種の材料につき、その簡単な一覧表を第6表に示す。

これらには3つのタイプがあり、溶体化焼鈍および時効後のマトリックスの組織によつて区別される。第1のタイプは溶体化焼鈍の後ですでにマルテンサイト組織になつているものである。この組織の状態から、時効硬化によつて抗張力を増加させることができる。このタイプは弁、ポンプ、コネクティングロッドなどに使用されるが今日ではほとんど重要な意味を持つていない。

本質的により重要なのは第2のグループである。このグループの鋼は溶体化焼鈍によつてオーステナイトになるが、それぞれの方法 (例えば 750°C における焼鈍、深冷処理もしくは冷間加工) によつてマルテンサイト組織になる。

第3のグループではいかなる場合にもオーステナイトは安定である。この場合の時効硬化はオーステナイトから起る。ここに示した高いPを含有するCr-Ni-Mn鋼はその非磁性的性質のため特に興味をもたれる。これについては後でもう一度述べよう。このグループのうち今述べた鋼は第2群の耐熱鋼種として重要である。(第4表)。ここで、最初に予期された応用目的に対してある性質を発展させているうちに、他の分野に対する適合性も明かになるということは一言述べておく価値があろう。

(4) 近年における第3の発展に耐蝕性の非常に強い特殊合金がある。これは米国では“ハステロイ”と呼ばれており、ドイツにおいても製造されている。(第7表)

第7表はこの種の合金の一覧表である。これらは鉄の量が少いため厳密には鋼とは言えないけれども、しめく

第7表 Ni-Mo 合金および Cr-Ni-Mo 合金の化学組成と機械的性質。

	化 学 組 成 (分析値%)					
	C	Cr	Mo	Ni	Fe	Ta/Nb
HB	<0.05	—	28.0	65.0	5.5	—
HC	<0.08	16.5	17.0	60.0	5.5	—
HF	<0.08	22.0	6.5	46.0	22.0	2.2

	室温における機械的性質					
	降伏点	抗張力	破断伸び	破断絞り	ブリネル硬度	切欠衝撃強度
HB	>38	85-100	>40	>45	200	>10
HC	>35	80-95	>40	>40	210	>8
HF	>35	75-90	>45	>45	170	>10

	物 理 的 性 質		
	比重 g/cm ³	熱伝導率 cal/g·s·°C	比 重 cal/g·°C
HB	9.2	0.03	0.09
HC	8.9	0.03	0.09
HF	8.2	0.03	0.09

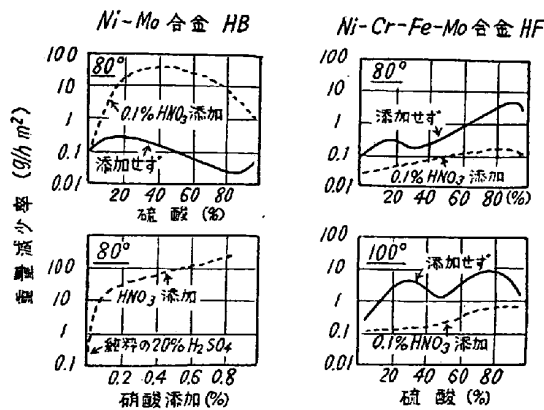
くりのためにここに述べておく。今日重要とされているものは第2群 (Cr 含有せず) および第3群 (Cr 含有す) である。

最初にあげる Cr を含有しない合金は濃硫酸に対して安定であり、また酸化性の物質が存在しない限りでは高温においても安定である。さらにまた中程度の濃度の塩酸が存在する化学過程に対しても使用することが出来る。第2の Cr を含有する合金は、Cr イオンを含有する腐蝕剤に対して安定である。

第14図はこれら2つのタイプの代表的な材料の硫酸に対する腐蝕性におよぼす少量の硝酸添加の影響を示す。

特殊な磁氣的性質を有する材料

この領域、特に磁氣的に硬い材料の領域に対しては貴国で非常に沢山の優秀な研究がなされている。私はここで特に本多、三島両教授の名前を挙げておきたい。したがってここでふたたびそれについて述べることはほと



第14図 Ni-Mo-(Cr)-(Fe) 合金の腐蝕速度におよぼす硫酸中への硝酸添加の影響。

第8表 特別な磁性材料

製造状態	タイプ	使用状況	DEW-記号
磁氣的に硬い材料			
熱間加工 鋳造あるいは 焼結	Cr, Cr-Co Al-Ni Al-Ni-Co*)	時効 時効	Oerstit 30-90W Oerstit 90-600
焼結 バインダーで 固定	BaO-6Fe ₂ O ₃ *) BaO-6Fe ₂ O ₃	熱処理せず 熱処理せず	Oxilit 100/300 Oxilit
*)一部は磁氣的に異方			
磁氣的に軟い材料			
熱間加工ある いは引張 焼結	軟鉄 不銹材料 フェライト	特殊焼鈍 特殊焼鈍 供給	Minimum extra Remanit 1610ST in Entwicklung
非磁性材料			
熱間加工ある いは引張 dto.	18% Mn 6Mn-12Cr- 10Ni	焼入あるいは 焼入+冷間引 張	Amagnit 18M
dto.	18Cr-10Ni 不銹	dto.	Amagnit 6Mn10
熱間加工	3Mn-18Cr-10 Ni(+P) 不銹	焼入して強度 を高くする	Amagnit 1880SW Amagnit 3Mn10

んど無益である。それゆえ私は今日の情勢を第8表に具体的に示すだけにしておく。

磁氣的に硬い材料の場合には、鋳造あるいは焼結による Al-Ni ベースもしくは Al-Ni-Co ベースの合金の出現により、圧延 Cr 鋼および Cr-Co 鋼の重要性は殆んど顧みられなくなつた。鋼とは全く関係がないが、新しいグループとして BaO-6Fe₂O₃ ベースの酸化物材料が出現している。これらは主として焼結によるかまたは合成樹脂によつて固定して製造する。これらの最後のグループの磁氣的特性は Al-Ni 合金および Al-Ni-Co 合金のそれとは非常に異なつてゐるので、各グループの応用は個々の場合の構造上の問題によつて左右される。

磁氣的に軟い材料の場合には、すでに知られてゐる軟鉄のほかに耐蝕性も要求されることがある。それには17%の Cr を含有するフェライト系の不銹鋼が適する。最後に焼結フェライトのグループ、例えば Mn-Zn ベースについて述べねばならない。このベースは導磁率が高く、かつ渦電流損失がきわめて少ないという特徴を有する。

非磁性材料においては古くから知られてゐる 18%Mn 鋼から出発し、高度の冷間加工性と中程度の耐酸化性を有する Mn-Cr-Ni タイプが生まれた。また耐蝕性の高い 18%Cr-10%Ni タイプ (Ni 量をもつと高くすることもできる) や、特にクランシャフト用として適する高抗張力、耐酸化性に析出硬化型含磷材料などが生まれてゐる。

B. 冶金学のおよび加工技術上の発展

(a) 冶金学の場合：これまでこの報告で述べたことは、特殊鋼の冶金学的发展の一断面である。すなわちますます増加しつつあるプラクティスからの要求が、新しい鋼種の出現により、また熱処理に関するより深い研究によつていかに満足されたかということ述べた。すなわち特殊鋼の冶金学および加工に関連のある発達が相前後して進んでいつたのである。ここでさらにつぎのことを述べておかねばならない。すなわち

熔解プロセスの研究並びに完全化、就中脱酸過程の制御を向上せしめること。

いわゆる微量元素の影響に関する研究。

耐酸化性、耐酸性および耐熱性鋼種に対する電気炉における酸素製錬の応用。

さらにまた今日では浸漬高温計による鋼浴並びに取鍋中の温度測定により、昔日の輻射高温計に優る作業方法が可能になつたことは重要である。

鋼の熔解を制御するために重要な、しかしこれまではしばしばみすごされて来た前提条件である迅速分析は、自動記録式スペクトログラフ、すなわちカントメーターの発達によつて可能になつてきた。

さらに真空鋳造および真空熔解についても一言触れよう。

真空鋳造は通常の方法で熔解した大型鍛造部品用の熔鋼を白点発生限度以下に脱ガスし、数週間にもおおよそ大型部品の冷却時間をいちじるしく短縮せんとするものである。この脱ガスは 1~10mmHg の圧力のもとで、種々の方法によつて行なうことができる。その方法には Bochumer Verein, Dortmund-Hoerder Hütten-Union, Ruhlstaht Hattingen などによるものがあり、

最近 *Stahl u. Eisen* に詳細な報告が掲載されている。

それに対して真空熔解はごく低い圧力、すなわち $0.01 \sim 0.0001$ mmHg のもとで行なう。熔解は真空誘導炉中で、あるいは前もって熔解した材料の消耗電極熔解によつて行なう。この2つを併用して熔解することもある。

真空熔解法は、ほかの方法では得られない高純度および低ガスの製品の製造に対して重要であり、そのため通常の特殊鋼の熔解のほかに、特殊な要求に他して考慮される。

(b) 特殊鋼の加工方法の進歩は一面では機械、すなわち加工設備の進歩に負う所が大である。その例として近代的な圧延機および迅速鍛造プレスが挙げられる。

特殊鋼の軟化焼鈍の均一性が使用者にとって非常に重要であることは良く知られている。このために小型材料の連続焼鈍法が出現した。ドイツにおいては工具鋼および軸受鋼に対するまったく新しい焼鈍方法として連続焼鈍法が発展した。Düsseldorf における 1959 年の鉄鋼学会でこのことが報告されている。これは、大型焼鈍炉中で焼鈍する替りに小さな焼鈍単位で連続的に焼鈍するという1つの進歩を意味している。

(c) 最後に品質という概念を理解するのに役に立つ体系的様式の確立について一言述べる。

出鋼前の装入予備制御の徹底化。

工場内の根本的な品質問題の追求。

統計学を用いる近代的方法による品質管理室。

自家製品の問題の研究に対する設備の良い研究所。

近代的方法で作業する製品発送制御室。ここでは主として顕微鏡検査と非破壊検査が取り入れられている。この非破壊検査は磁氣的に、また断面が厚い場合には超音波試験によつて行なう。しかしながら超音波試験による診断の結果と、実際に存在する欠陥の関係は今日においてもまだ明らかではないのであるから細心の注意が必要である。

このほか実際に鉄を熔解し、加工し、制御する人間の質および経験については考慮されていない。

C. 使用者側との共同研究

1950 年の Düsseldorf における鉄鋼学会で私は特殊鋼生産の品質問題に対する体系的な確立について報告した。その中で私は使用者側との共同研究が水準を高めるのにいかに役立つかについて述べた。その当時の考えは今日においてもまだ正しいと思つている。

鋼はその応用目的および応力状態から生まれる技術上の要求を満たすために注文され、供給される。

その際いつも使用者側における熱処理の影響が決定的に現われ、供給者側は全然影響をおよぼさない。

われわれがこのことから目を転じて、製品の均一性を保持するためには原料に対する技術的、組織的な慎重な制御が必要であることを知るならば、この制御の結果と

後の試験の結果の間の関係に関する問題が今日では未だほんの一部分しか解決されていないことがわかるであろう。

構造用鋼の場合には抗張力および耐衝撃性が数字上の1つの基準となる。耐熱鋼の場合には設計者は応力破壊試験から具体的なデータを得ることができる。しかしながら、耐酸性および耐酸化性の鋼では実験室における実験結果と実際の使用状態における試験とは一致しない。

高速度鋼および工具鋼の分野においても鋼自体の試験結果と工具の試験との関係は今日でもあまりよく把握されていない。これは、熱処理および切削面の表面状態が切削工具の寿命に対して $1/3$ 程度の影響をおよぼすという、一般に知られている考え方と一致する。

また実際には完全な比較試験を行なうことは非常に困難であり、異なる試験所がたがいに反対の結果を出すということも屢々ある。それゆえ、大抵の場合には悪い結果の出た工具の試験データが基準として用いられる。巢、気泡、大きなスラグ介在物などの大きい欠陥を除けば、多数の工具を大規模に同時に試験しない限りでは、一部分の試験片の微視的な研究だけから決定的な判断を下すことはできない。しかしながらこのような試験は稀にしか行なうことができない。それで、用心のためか、また確実性のないことによるものか、とにかく度をこえたカタログが屢々存在することになる。このような場合には鋼の性質と、この鋼から作った部品のそれとの間の関係がこのカタログから明らかになるかどうかは疑問である。

どのすぎたカタログを使用するとつぎのような結果になる。すなわち、

(1) 不必要な不合格品が生ずる。

(2) 良好な結果が得られるという確実な見込なしに新しい製造をはじめねばならない。

(3) 期日の遅れ。

(4) 供給者と使用者側の不一致。

真の進歩という意味で努力せねばならぬ目標はいつも技術的な必要性和技術的な可能性の間に道を見出すことである。それは鋼製造業者と使用者との間の専門的な信頼における共同研究によつて確実に発見することができる。喜ばしいことに近年ドイツにおいてはこの共同研究が非常に良く行なわれている。われわれ特殊鋼製造工場でもドイツ鉄鋼協会の委員会または特殊鋼協会の委員会において経験の交換をし合っている。また国外の特殊鋼製造業者との間にもこのような意見の交換を行ない、良い結果を生んでいる。

これらすべての因子、すなわち学問と研究、進歩的な企業の考え方、すべてのパートナーとの経験の交換等々の相互作用により、将来の進歩は確実に保証されるであろう。