

講 演

アメリカにおける冶金学的研究の傾向*

E. C. Bain. 博士**

本日このように御立派な皆様方、すなわち経営技術において、また科学のそれぞれの分野において偉大な才能をお持ちの方々にお話を致しますのは私にとって光栄とするところであります。

さて現在世界中の良識ある人々から賞讃を受けておりますめざましい日本の産業的発展は、その功績をすべて、今日ここに御出席を賜わっております方々やまたその方々とおなじような能力を有しておられる方々に帰せらるべき事、無論であります。

私は日本に参りましてから、幾多産業上の独創性と聡明さを示す实例を拝見しまして、美しく思いつ心から皆様方にお喜びを申し上げる次第であります。

つい最近まで西欧諸国では、産業は現在とは全然違つたあり方で指導されておりました。企業主は大抵財務の専門家であり、弁護士かその一番身近い協力者である場合が多く、企業主の関心といえば、その日その日の事業の運営に限られており、たとえ彼が将来の事を考えるようなことがあつても、それはごく少数の株主の利益についてだけであり、通常彼の任期を余りこえない間のことだけでありました。50年程前には生産会社の経営者は、自身が変らないことを以て立派なこととし、またその保守主義のため企業内の空気にもほとんど変化がありませんでした。当時の経営者は教育を高く評価せず、しばしば教育不信の念を持つておりました。その素直さと事業への献身は立派なことでありますが、彼はほんとうは誤まつておりました。彼の住む世界は変り、その後も次第に急速に変つております。

ヘンリー・フォードのような偉大なる生産指導者が初めて産業界に大きな変化をもたらし、フォードは例のT型フォードを標準化して大量生産への道を開きました。偉大な生産人の出現がその後暫く産業界の特色であり、その人達は事実偉大な人々でありました。次に常に増大する生産品の新しい販路を開拓することのできる人々が出てまいりました。時代は変り商業販売の天才達の時代となりました。その人々は生産品を単にその実用的価値のみに止めず、さらに美的心理的価値をつけ加えました。それからまた企業における Public relation とか労働問題が成長して来まして、人間性の問題に造啓の深

い人々が支配する時代となりました。

けれども私共は、今や全然新しいタイプのリーダーシップを必要としております。それは近代的経営という職業の中にあらわされております。近代の企業を成功に導くには各種専門家の集合よりなる広範囲なまた多様な知識技術が必要であります。一人一人がその能力を極限まで発展させ彼の職務が要求する責任を果します。近代的な経営はこれら作業・販売・財務・技術・人間関係その他の面における専門家を統一協力させるという仕事であります。

General Electric 社の社長ラルフ・コルディナル氏は、近代経営者について「同僚経営者および個々別々に働いている人々、いいかえれば、他の人々の仕事の成果によつて成功せねばならない」といつております。

このような変化や、またこのような新しい職業が作り出したものの中で、研究と技術が演じた役割は正当に評価されてはいないといえましょう。

社会学的概念および人間関係は変化し続け、その変化によつてやがてまつたく新しい全般的経営技術への要求が出て来ました。さらに大きい影響がありましたのは、新成品と新生産技術の急速な進展、雇用関係その他の直接要因でありましょう。それらは大部分が近代技術の産物であり、すなわち産業研究の果実であります。

経営の天才である、新しい産業指導者となるにはその事業の一部門での熟練が前訓練として要求されるようであります。それはどの部門でも良いわけではありますが、現在までのところ労働関係またはパブリック・リレーションの方面からは数多くの偉大なる経営者は出ておりません。近年技術および研究方面から、社長という最高の経営者となり、非常に成功したという例が数多くあります。このようなことはしばらく前までは絶対おこり得ませんでした。これは産業界におこつた変化、たとえば消費者の購買態度の変化、新しいエネルギー源、枯渇した原料などのかしくなき変化の反映であります。研究はその変化自体と大いに関係があります。

* 昭和 33 年 5 月 27 日東京都千代田区大手町大和証券ビルにおいて講演

** アメリカ金属学会々長、アメリカ鉄鋼協会一般研究委員会委員長

私共は産業上の研究について話をしておりますが、まだその言葉の定義をおこなっておりません。古典的ではありますがあのレイモンドの定義、すなわち「産業上の研究は新しい富を創造するに適用できる事実や原理を組織的・体系的に追求するものであり、そのためには各方面の科学分野で専門的教育を受けた人々達の働きを必要とするものである」に勝る定義はないようであります。私は時々次のように定義したいと思いましたが、「産業研究は会社がその技術上のあやまりを安価におこなうことのできる唯一の手段を提供するものであります」と。

どのような意味にしましても研究は産業内で大切なものとなつてまいりました。少くとも私の国におきますかぎり、産業研究の重要性は、全産業研究に支出される金は国民総所得の約 1.75% であるということによつて示すことができるであります。とくに電気・化学・航空機工業のように、研究によつてその存在を得たような産業の場合にはそれらの総売上の 5% を遙かに上廻る金を研究のために支出しております。これらの割合を考えましても研究の重要性を充分に把握することができると思います。産業全体の平均は政府による助成金は別としましてもその売上の 1.25% を越える金を研究のために支出いたしております。売上げに対する研究費の割合は、現在このように大きいのでありますが、しかし企業の利益のために企業自身がおこなう研究ということは比較的新しいものであります。単に当面の問題を解決するためだけでなしに研究がおこなはれ始めたのは今世紀の始めでありました。それらの会社は研究分野の先駆者達を充分に待遇いたしました。その研究は充分な報いのあつたものに違いありません。なぜならばこれら初期における研究の開拓者達は今もこの分野で指導的立場をしております。すなわち、ジェネラル・エレクトリック、デュポン・ド・ヌムール、イーストマン・コダック、エレクトロ・メタルルジカルその他同じようになじみ深い名前であります。過去 28 年の間に産業研究は約 15 倍に成長し、また過ぐる 10 年間をとつてもその量的成長は三倍に達しました。これは産業研究は今や事業が成り立つていくためにも必要欠くべからざるものとなり、そのため必要な経費もまた無視することのできないほど大きくなつたことを物語っております。経理家達は、今日では研究費の支出を注意深く検討し、研究費支出は利益増進に寄与し、会社の他のどの部門での支出にもおとらず会社の目的に役立つものであることを社長に対して証明せねばなりません。つまりこれは産業上の研究はそれ自身が今日大きい事業となつたということであり、

アメリカ産業内で科学的研究のしめる地歩からみて、会社の総合的研究計画の責任者は必ず最高経営陣の一人であることが分ります。その責任者は通常社長に対して責任を持ち、ある場合は副社長に対して責任を持つことでもあります。最高政策を決定する会合に席を持っております。その責任者はアメリカでは部長クラスの人であることが多く、したがつて会社の長期計画について熟知しており、また長期計画の設定について発言権を有する人であります。その人は長期的に見た会社の収益について責任があり、したがつてその責任に相当する権限を持っております。科学研究に関しては、鉄鋼業は一種独特な地位をしめています。鉄鋼業はまことに古い産業であります。御承知のごとく、鉄鋼業は、産業研究がおこなわれるようになる以前に己に年産数百万トンの鋼材を生産しておりました。生産技術は己に進歩したものであります。もつともその技術は、非常に長期にわたる高価なやり方すなわち、幾多の試みと失敗の連続の上に達成せられたものであります。近代的応用研究がおこなわれるようになって後に発達したいろいろな金属産業は鉄鋼業よりも速く、そうしてもつと安く、その進歩を遂げ得ましたけれども、今日の鉄鋼業は変りゆく諸条件を充分に認識しており、その諸条件は、基礎的・科学研究をおこなつて新しい技術を創り出し適用する以外には対処し得る道のないものであることを充分認識しております。広範囲に賦存せられた、しかも良質の鉄鉱石は無尽蔵ではなく、良質の粘結質も、もはや潤沢ではありません。今日世界の鉄鋼業は、低品位の原料から高品質の鋼材を製造するための研究を喜んで支援するだけの思慮分別を充分持つまでに成長した産業であります。ただいま高品質の鋼材と申しましたがそれはまだひかえ目な表現であります。なぜならば鉄鋼需要家達は、私共の鋼材を材料としてのみ使用する関係上常に高度に特殊化された鋼材を要求しつつあり、また鋼材一つ毎に、出荷毎にほとんど完全なる品質の均一性を主張してゆずりません。経済性の問題は彼らを広範囲なオートメーションの採用へと駆り立て、このオートメーションのための機械設備は常に極めて均一な性質の素材から造られた時のみに機能を発揮するのであります。このことは規格の一層の厳密化を意味します。この事実は只一つの事柄を意味するだけであります。それは鉄鋼業における一層広範囲な困難な、研究課題ということであり、

ある需要家の事業が危殆に瀕している時、ある技術上の問題解決を待ち望んだ事のある方々は、研究は全く時間のかゝることだという事実に充分お気付きでありまし

よう。これは悲痛なまでに真実でありまして、また私の知る限り、研究の開始から結論の発表までの時間をことほど左様に縮め得たという人のあることを聞きおよびません。問題解決の遅滞を縮め得る道はただ一つしかなく、それは早く研究に着手するというのでしかありません。そこで賢明な研究所長は、問題解決への要求が焦眉の急をつげるに到る前に研究に着手するのであります。このようにして始めて研究はその課題解決の使命を果し得、そのような研究のみがいわゆる“研究”の名に値するものであります。焦眉の急に迫られておこなう問題解決は普通大部分を古く不完全な知識に依存する“不徹底な解決”に終わります。周到な計画の下におこなう研究は問題の完全な解決のための基盤を提供し、いざ解決が要求される場合に必要な知識を用意いたします。ある分野でもつと学ぼうとして冶金学的研究がおこなわれますのは、上述の考慮に基きます。ある場合には研究分野は非常に新しく、まだ何等理解の手掛りが存在しない場合があります。そのような前人未踏の分野の研究からしばしば、真に価値と意義のある技術が発展していったことが多いのでありまして、この場合の技術には予想さえしなかつたものが多くありました。

近代的研究組織とそのあり方について今一言付け加えますと、どの事業におきましても研究内容の多様性はその事業自身と全く同じ位広いものであります。研究分野の専門家を必要とすることは、最高経営層がそれぞれ販売、作業、経理、技術、その他の専門家達を必要とするのと同じでありまして、研究の場合は各方面、すなわち物理・化学・物理化学・電子工学・固体物理学などの科学的教育訓練を経た人々を必要といたします。技術研究所の所長たるべき人は、上に述べましたような研究活動を会社の最大利益に合致するよう統合調整するため、最高度の経営的技術を具えていなければなりません。彼はその研究所にリーダーシップを与えるという大きい善の前に、彼自身が大きい科学的貢献をなすという喜びを犠牲にしなければならないでありましょう。このためある程度の自己抑制が要求されます。

今までの所私共は研究ということを経営の立場から眺めてまいりました。ぼつぼつこの問題を今少し技術的な立場から見、私自身ある程度関係を持つておりました、ある研究所でおこつております事柄に着目してお話したいと存じます。通常説明の便宜上実験研究計画を二つのタイプに分ちます。

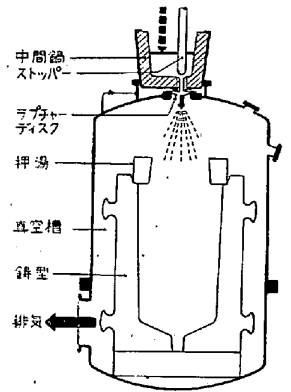
まず、第一は長期的計画の下に素材・反応・性質について何らかのを知るための研究であります。この場

合研究の目的は、将来何らか役立ち得るかも知れぬという期待以上の、何一つ具体的なものはありません。

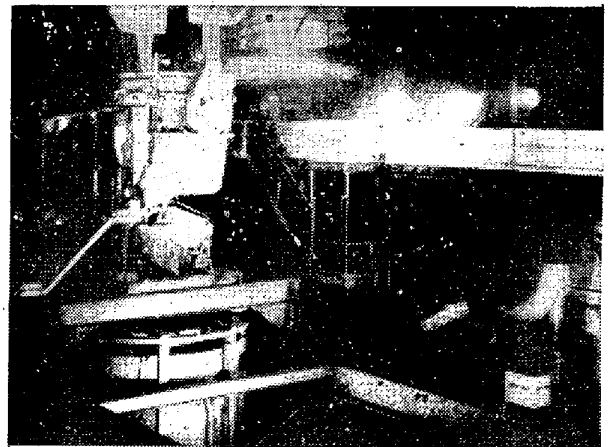
第二の分野は、ある問題の解決または一つの技術上の目的達成をできるだけ早く実現するための研究であります。

このそれぞれの分野に働いております研究者の成果を挙げようとする心構えには、殆んど相違がないのであります。それにもかかわらず一方においてはあまり成果をあげ得ないが、他方では大いに成功するという研究者もいるのであります。

まず始めに応用研究の分野を考えてまいります。それは普通ディヴェロプメント (Development) と呼ばれるのですが近年、将来の製鉄技術に大きい影響を与えると思われるいくつかの技術が研究せられております。



第 1 図



第 2 図 真空鑄造作業全景

真空脱ガス法と真空鑄造法

この方法はドイツで初めて用いられました。現在非常に低圧（水銀柱約 1/2mm）で 160t の鋼塊が鑄造され水素は大部分除去されます。取鍋から流れ出た湯の流れは小さい粒子に分かれ、この状態でガス状成分は大部分が容易に除去されます。水素含有量は 100 万分の 1 程度となり、水素がこの程度まで減ると、その後の変態や温度差で、その材料が破壊されるような応力が生じてても、内部破壊はほとんどおこらなくなります。（いわゆる白点の存在に対しては水素がほとんどその原因であることが証明されています）

ガスの排気方法の進歩によつて真空脱ガス法の効力を

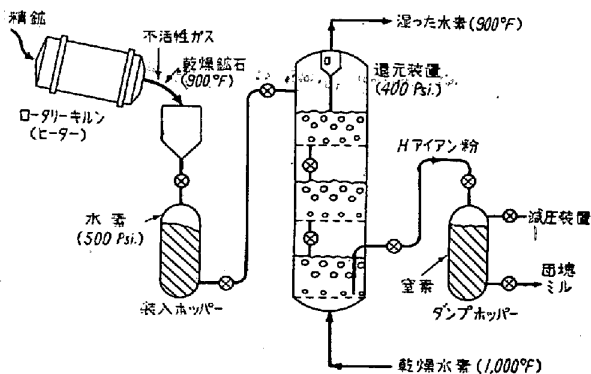
大いに向上しました。真空鑄造法の他の利点は、とくに大型鍛鋼品でいちじるしく、この方法で製造される鋼塊は非常に優秀な品質となります。真空脱ガス法によると、変圧器用鋼の硫黄が平均 0.008% から 0.004% に、また炭素は 0.05% から 0.02% へと低下することが報告されています。

鋼 中 水 素

水素のことに話がふれましたので、鋼中の水素の大部分は炉内雰囲気内の水蒸気から入って来ることを証明するのに成功した。立派な試験的研究について申し上げます。スラグの塩基度が高いと、鋼中の水素も高くなるのでありますが、また一方スラグ中の酸化物が多くなると、水素は減少します。かくしてヒートのブロッキング中において、カーボン量を一定に押えと、水素量が増加いたします。それは、酸化の状態がふたび増加した場合にのみ低下するのであります。これらの諸因子が定量的に明らかになれば、水素成分のさらに低い普通鋼々塊を容易に作り得るはずであります。

鉄 鉱 石 の 直 接 還 元

鉄酸化物が水素ガス中で約 600°C 度に熱せられると、その酸素を放出し、金属鉄となり、同時に水蒸気を生ずるということは一世紀前から化学を学ぶ総ての学生が良く知っていることであります。水素の代りに一酸化炭素でも同様な反応が起き、この場合には炭酸ガスが発生することもよく知られております。これらのガスの混合物は鉄を還元し、一方元素状の炭素が deposit. してまいります。

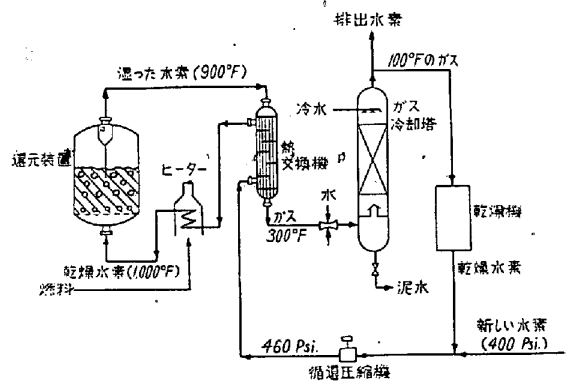


第 3 図

この単純な化学反応から商業的に利益を生むプロセスを完成させるための諸方法が考案されて来ました。

しかし、この新しい方法の主な難点は熔鉱炉と競争せねばならなかつたということでありました。その熔鉱炉は

多品種な鉱石を処理する能率的設備でありまして、唯一つの制約といえば、還元剤として潰裂強度の高いコークスを必要とするということのみであります。熔鉱炉は長い歳月にわたり徐々に改良を加えられて現在では1日当り 2,000 t 以上の良質の鉄鉄を生産するものもあるまでになりました。しかも生産費が下りまして他の方法でこれと競争するのは真に困難であるというまでにいつたのであります。



第 4 図

すでに申し上げましたごとく、私共が常に忘れてならないことは、変化というものは必ずおこるということでありました。水素または一酸化炭素によつて鉄鉱石を直接に還元する方法によると、すべて固体状の物が生じまして、経済的にはまことに好都合であります。しかしこの物は鉱石中の土壌物質をふくみまして、その分離は大変困難で、かつ高価なものであります。特殊な脆いスラグを生ずるクルップレン法は別として、直接還元法により普通の鉱石から良質の鉄を分離することは非常な高価な経費を要することと申せましょう。しかしながら、こゝに変化がおこつたのであります。今や土壌物質をほとんどふくまない品位の高い鉱石の入手が可能となり、加うるに、ある種の低品位鉱、たとえば磁性のあるタコナイト、マルタイトなどのごときものを事前処理すれば、直接還元非常に好ましい極度に純度の高い、非常に細い精鉱を作りうるようになりました。

今後どのような事情の変化がおこるかも知れませんが現在のところ水素による還元法は、一酸化炭素による還元法よりもある程度、採算上の利益を有しております。廉価な酸素が入手可能となりましたが、それは廉価な水素を意味するものであります。近時直接還元法の経済性は大いに改善されたかのごとくみえます。加うるにガス気流中で個体を処理するいわゆる流動焙焼法は他の工業分野で完成されて来たものであります。これは今や鉄鉱石の直接還元法のために利用され得るのであります。

す。つまり各方面で直接還元法が新しく評価され始め、このための設備投資が適正な利潤をもたらすものであることが充分保証されるようになれば、多少相違はあるにしても、直ぐにも大型の、すなわち商業生産用の設備として利用できる数多くの方法がすでに用意されているようであります。

すべての直接還元法は、きわめて古くからある改良を重ねられた方法を競争相手としています。実際のところ近代的な熔鉱炉にどのような原料がもつとも適しているかという最近の知識は、熔鉱炉によつて作られる鉄の品位を大いに向上させました。粉鉱の巧な除去、強い還元しやすい焼結鉱、適正炉頂圧、各羽口毎での熱風の制御、コークス生産のためのよく洗炭された石炭の配合、これらすべては鉄の供給源として古くから信頼しうる熔鉱炉を大いに改良しました。

高品位鉱石を水素で直接還元して得られる生産物は勿論カーボンが低いのでありまして、この段階においては非常に価値の高い合成スクラップとも考えられるべきものであります。このような鉄源が製鋼炉の中に装入されると、珪素、硫黄、燐のごときメタロイドの除去は、直接還元法による鉄源以外の装入物に大いに左右されます。平炉において良好な反応と攪拌を得、スラグとメタルが適正なスピードで作用するためには高炉鉄の装入がよいとされています。

高純度の直接還元鉄と、選別されたスクラップから、低カーボン鋼を生産するための、新しい炉の経済性について考えてみる事ができましょう。この炉でできた低カーボン鋼は、ほとんど、または全然精練を必要としません。注意深く合成しておいたスラグ中に特別な方法でメタルを流しこむペラン法があります。前述の脱炭された熔鋼を精練するに要する時間を、このペラン法によれば相当節約することができます。

完全焼入れ、焼戻しの合金鋼板

工具鋼を焼入れする古い技術を大型鋼板の完全熱処理に適用する最新の方法について考えてみることは、価値のあることであります。巾 13 フィート、長さ 45 フィート厚さ 6 インチ、すなわち巾 396cm、長さ 11m、厚み 15cm までのものが、このようにして熱処理されます。それらの鋼板は焼入れ温度に達するまで、均一に熱せられ、それから装置中で曲らないようにしつかり固定して噴水焼入れをおこないます。それから 1,200°F (650°C) で非常に均一に焼戻して冷却します。これらの鋼板は、主として T-1 鋼として知られるきわめて品質の

良い合金鋼を圧延して作り、低温においてさえも非常に強度と靱性とを要求されるきわめて厳密な用途に用いられます。降伏点は、5 インチの厚みのものにおいてさえ一平方インチ当り最低 9 万ポンドであります。規格では華氏零下 50°C で最少シャルピー衝撃値は、15 ポンドであります。キーホールシャルピーテストで靱性より脆性破壊への移行点、すなわち遷移温度は、通常華氏零下 140°C 以下であり、また 1 インチ厚みまでの鋼板のキンゼルテストと破面の様相から華氏零下 42°C で遷移することがわかります。

東京ガス会社の巨大なガスタンクは T-1 スチールで作られ、シカゴブリッチアンドアイロン会社によつて製造建設されたものであります。世界で最も高いテレビ塔のあるものは、T-1 棒鋼によつて作られております。

日本におきまして、どの程度まで他国、とくに私の国アメリカにおいておこなわれているような方法で研究と実験がおこなわれているかを知ることは非常に興味を覚える事柄であります。そのお答は冶金学者である私にとり、冶金学の知識が世界的科学としての存在を完全に持ちつゝあるという心よい感を与えてくれるものだからであります。

世界の各地でおこなはれている多くの研究は、たゞ金属の性質、特質、すなわちそのクリスタライン・ハビット (Crystalline, habit) とくに結晶性でありながら塑性変形をするという機構等について深く知ろうという方向に向つています。結晶学的な言葉としての相成分は今日では、あらゆる一般の金属の 2 成分系、さらには 3 成分系で研究されており、その中には稀有金属の組合せもふくまれています。その稀有金属は最近までは、単に化学的な好奇心の対照でありました処の、高融点合金としてのジルコニウム、チタニウム、コロンビウム、などさらにはリチウムやマグネシウムのような低融合金であります。

金属中の結晶欠陥

金属が、その莫大な原子間の凝集力と比較して、ごくわずかな力で変形し得られる理由の説明として、ティラーは 25 年以上も前に、ある種の欠陥、すなわち金属中の転位の存在を推定しました。それ以後、毎年このような予想された転位にきわめて似た何かを確に存在するという証拠が集積されてまいりました。今日ではエッチングによる観察は、数えることが充分できる程明らかなものとなりました。それらは顕微鏡(光学、電子顕微鏡とも)観察中に応力で動かされるのであります。螺旋転

位が、結晶成長において重要な役割を演じていることが観察され、また非常に面白い色彩映画によつても画面に現われる結晶が階段状に回りながら上方にのびずつと成長していくことが観察されています。そして結晶が崩壊する場合はこの方向が逆になります。現在冶金学者達は金属のビヘーヴィア (behavior) を局部的にエネルギーの高い場所での転位の拡散と集中ということによつて説明しています。歴史を貫いて人類のおこなつた最も偉大な重要なことゝろみの一つとして、きわめて潜在的な重要性をもつものであります。すなわち、非常な強度をもつた物質の創造ということでありま。

微 結 晶

理論的強度をもつた金属をほとんどそのまま造り出す可能性のあるきわめて興味深い発見がおこなわれ、全世界の冶金学界で検討されています。この映像はいわゆる“微結晶”であり、通称“鬚髭” (Whiskers) と呼ばれているものであります。そのような微単結晶は想像をこえるような弾性領域を有しており、たとえば完全に弾性状態で 1.5% もの変形をおこなうことができます。そのような結晶はやわらかい金属のものでさえ 1 平方インチ当り 100 万ポンドをはるかにこえる強さを有しており同種金属の massive specimens よりも数百千倍もの強さを示すのであります。そのような微結晶を大きい単結晶と比較するとき強さの差はさらに大きいことを見出すであります。

当初これらの特別に強い微結晶は、さらに大きい実用上役立ち得る結晶の種としての役割を果すことができるかも知れないと想像されました。この微結晶の格子の上に結晶を成長させて行つて上記の理論値に近い性質をもつたさらに大きい金属の塊をつくるような条件が見つかるだろうなどは今日の科学者は誰も信じておりません。それはそうとしましても、そのような超強力物質が

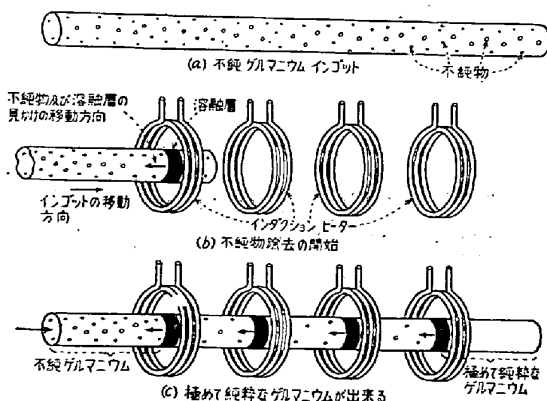
たとえミリグラムの単位で計る程であつたとしても、初めて作られ得たということの意義を否定する者はいないのであります。私共は冶金学における次の偉大なる進歩ほどの方面からおこなわれるか断言することはできませんが、微結晶の研究によつて代表されるような基礎的研究の方面からおこなわれるであることは間違いないことでありま。

金属の極端な冷間加工

ある種の金属とくに鋼は変形を加えれば加える程その強さを増しそこにはまだ限界が見出されていないと言うことは、御承知のとおりであります。線引は一平方インチ当り約 40 万ポンドの強さを生ぜしめますが、こうなるとダイス中の摩擦が大となり強いワイヤでさえも必要な引張りに耐えられなくなります。圧延についていえばストリップ材が加工硬化を受けてロールとほゞ同じ硬さになると、ロールの弾性によつてロールには余りにも大きい elastic flattening が生じます。これ以上のストリップ材の強化はおこななくなります。一時にわずかな体積にでも上記以上の大きい変形を加え得る方法をもし発見し得たならば鋼中に一平方インチ当り 70 万、80 万いや 100 万ポンドの強さを生ぜしめることは、いとたやすいことであります。すでにブリッジマンの技術を用いて小規模ではありますが、この程度の強さは実際に作られたのであります。さらに良い方法が研究によつて見出されるかも知れません。奇妙なことに微結晶と超冷間加工をおこなつた金属には共通な点の一つあります。双方ともに塑性変形がおこり難くなつているという点であります。超強力を生ぜしめる右以外の方法には、折出によるものがあるのみであります。他の方法によつて常温における強さを得ようとする試みはほとんどおこなわれつくしてあります。高温における強さを得るために折出硬化をおこなう方法はいまだほとんど手のつけない分野であります。

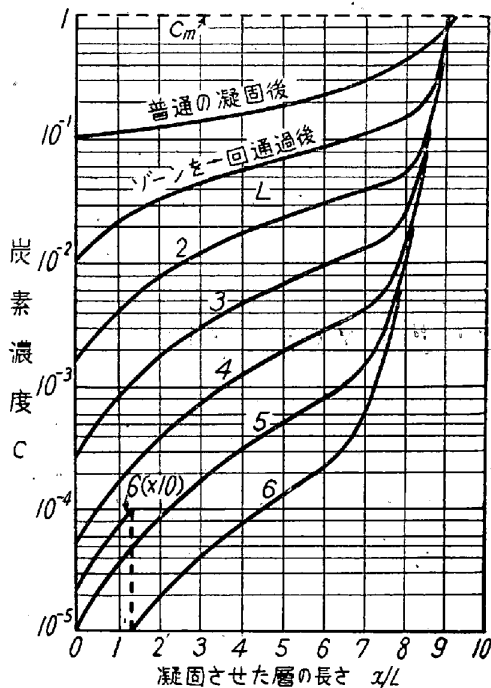
微量の介在物による大きな効果

いわゆるほんのちよつぱりの不純物、すなわち非常に少量のある物質が金属の性質に大きい効果をおよぼす現象には冶金学者達は、たゞ驚きの目を見張るばかりであります。古い例であります。銅の中における数千万分の 1% のビスマスの存在によるものがそれでありま。最近では同じ程度の量しかないが、ボロンが鋼の硬化能の上におよぼす影響に馴れ親しんでまいりました。しかし、これらは electronic の装置であるトランジスター



第 5 図

の基礎となつている、いわゆる半導体におけるある種の異質原子が十億分の数%で効力をあらわすのに比較すれば、きわめておだやかなものであります。



第6図 普通の凝固の後、引続いて6回ゾーンメルティングをしたときの溶質の分布。分配係数 $k=0.1$ 層の長さ、 $L=1$ 、インゴットの長さ $T=10$ 、 C_m は最初の濃度を示す。(W. G. Pfann, ベル電話研究所)

第 1 表

バッテリー・メモリアル研究所製の標準純鉄の分析値

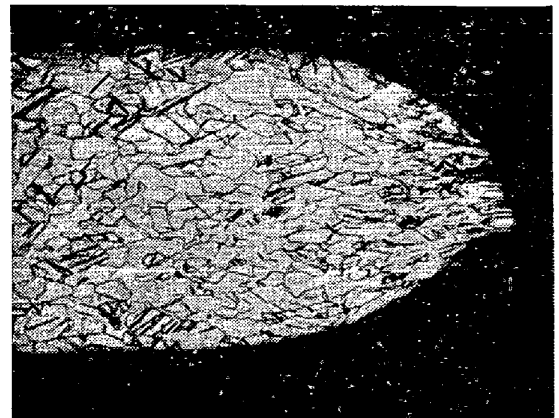
元素	成分パーセント
C	0.003
O	0.0012
N	<0.00008
H	0.00001
P	0.002
S	0.004
Ma	<0.001
Si	0.001
Cu	0.005
Cr	0.007
Ni	0.007
Mo	<0.005
V	<0.002
Co	0.002
Sn	検出不能
Al	検出不能
不純物総計	0.04029

そのようなほとんど純粋な状態にもつていくためには固体金属に使用された古い fractional recrystallization process を新しく使用することです。これ

は“ゾーンメルティング”と呼ばれております。インダクションヒーティングによつて溶けた物質の狭い動きつゝあるゾーンを次ぎ次ぎにつくり、それを棒の一端から他端へとおよぼしてゆきますと、不純物は一方の端によせられ、捨てられます。在来のやり方は非常な純度の高い棒を作り、それからゾーンメルティング処理をおこなつております。

この広く知られた技術はその当初の目的であつたオプテマムなほとんど純粋な成分のゲルマニウムや珪素を作るための利用からすつかり離れて、今では重要な数多くの研究に使用されております。純度の非常に高い鉄を作るためには、電解沈着がまず金属を精練するために用いられました。この電解鉄が、真空溶解され、それから適当な棒に鍛造されました。その棒はさらにゾーンメルティングによつて純化せられ、こゝに示すような成分の金属が得られたのであります。これは非常に立派な成果であり、以来数年間これ以上の改良がおこなわれておられないほどであります。

この純鉄には、なお、わずかの時効性がありますが、実質的には非時効性であります。そのすばらしい特性は、純対温度4度(摂氏零下269度)において、驚くべき靱性を示すことであります。それは破壊の前にこゝに示します拡大された縦方向の断面図に示されましたごとく、断面に対し80%の収縮をうけることができます。それは約80°Kにおいて非常な脆ろさを一時的に示す最良のインゴット・アイアンと甚だ対照的であります。この高純度の鉄における現象より見まして普通鉄における降伏点、伸びと低温脆性は、また鉄における原子自体の結晶的配列によるよりも、むしろ微量の不純物の存在によるものだと結論せざるを得ないのであります。



第7図 ゾーンメルティングして溶かした鉄の破断面、4.2Kで試験(フランクリン研究所)80%の断面収縮率をもつた靱性破断面を示す ×200(1/2)

低温における靱性物質の脆性破壊

過去数十年にわたって弾性限界または降伏点強度にもとづいて構造物が設計され、そのセクションの現格が定められて来ました。永久的に変形がおこる以前に応力はこの値に達せなければならぬということが充分観察されております。欠陥が存在する場合さえも、通常の比較的高い温度においては急激な脆性破壊はおこらないのであります。けれども今や私共は鋼の種類によつてはある程度温度が低くなると割れ (crack) が急速に成長して脆性破壊がおこり得ることを知つております。そしてさらに重大なことは、通常の降伏点強さより遙か下の応力によつて割れがおこることです。

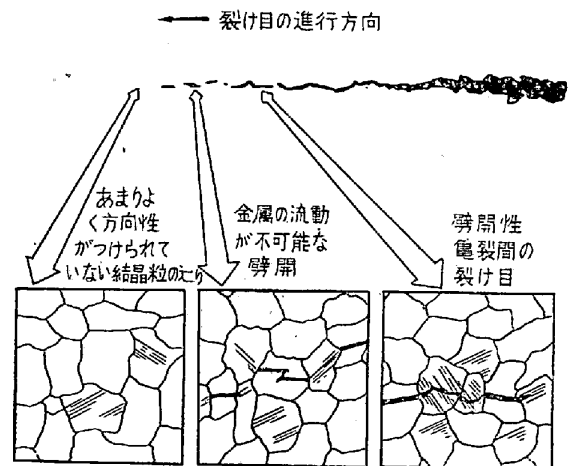
グリフィスの古典的な論文によりますと、ある最小規模の割れが存在し、さらに金属の単位体積の中に一定量のエネルギーが弾性歪みエネルギーの形で存在しますと自己発生的割れが全断面まで破壊してしまうことを論じております。たとえ、その応力の程度が相当低くともある条件の下では割れが金属全体にいきわたつてしまいます。さらにプリフィスは歪エネルギーはその応力の二乗で増加する。すなわち強い素材の中には割れの伸長する前に素材が少々変形するために、ある程度エネルギーが消費された時においてさえ、自己発生的な割れを生ずるに足るだけの充分な歪エネルギーが存在すると告げております。

これらの事実が完全に受入れられる前に、低温における脆性破壊のいくたの例が観察され始めました。長い年月にわたつてそのような破壊は観察されて来たのでありますが、それはみんな他の原因に帰せられておりました。つまり技術家達は、あらゆる条件のもとにおいて降伏強さを完全に得ることは最早や望み得なくなつたのであります。マックス・ゲンサマー博士は最近これらの現象を解明しまして、脆性破壊に対して弱い金属を判定する単純化された規準と、ならびに脆性破壊を起さしめるような条件を指摘いたしました。彼は非常な労力を費して準備されるシャルピーVノッチタイプの試験片に要する費用を、バンド・ソーでノッチされた精密度の低い試験片を使うことによつて節約することができると提案いたしました。

同博士は試片を破壊するに要する厳密なエネルギー量には左程興味を持たず、試片の真中あたりのノッチの下の方に少くとも少量の靱性が存在するというに非常な関心を抱きました。この条件の明確な証拠を示し得る最低温度は通常の応力まで鋼を使用することのできる安全

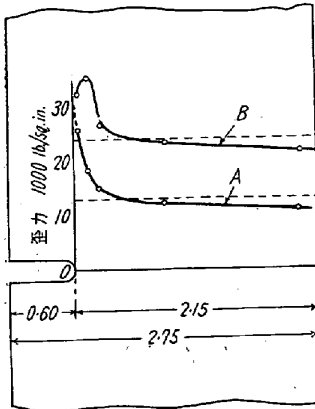
な温度であります。ペリーニの落下テストの結果と、シャルピーノッチ衝撃テストにおける 10 フィート・ポンドに基礎を置く遷移との間には非常に良好な相関関係があるのであります。

ゲンサマー博士はまた、低い水準の応力で脆性破壊がおこり得る温度、すなわち遷移温度に関して、いくたのテストを用いて鋼を分類することができると結論いたしました。常温において自己発生的な割れを生ぜしめるためには、鋭いノッチが必要とされます。けれどもノッチのもとにおける実際の歪みの強さは実際的には決定され得ません。そこで歪みが容易に測定され得るような普通の試験片によつて研究することが望ましいのであります。併しながらこのテストはこのように精密に測定可能な歪みの下で、脆性破壊がおこり得るような温度、すなわち純対温度の $60^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{C}$ の近辺でおこなねばなりません。実際この二つの温度における遷移温度の相違はその大きさにおいて液体空気での引張り試験と、常温近くでのノッチ曲げの結果の間の相異に非常によく似ております。



第 8 図 劈開性亀裂の進行状態を示す。三亀裂の前方やいろんな方向に亀裂を生じ、その場合塑性変形に脆性破壊を伴うことが多いことを示す。

結論として劈開による脆性タイプの破壊の場合には常に少しの塑性変形がおこり、それは進行していく割れの一寸前方におこるということを相当確信をもつていうことができます。そのような幾個かの粒子の中におこる少量のフローは、フローすることのできないように方向づけられた部分に高い応力を生ぜしめます。こゝにおいてグリフィスの一連の割れ形成の原因をなす小亀裂が表われてきます。鋼の中に弾性的に貯えられたエネルギーは危険な程度に大きくそうして新しく形成された亀裂と



第9図 曲線AおよびBは刻みを入れた板の縦方向の歪力のX線定量の結果を示し水平に引いた二本の破線はおのおのの平均歪力の水準を示す。

もに作用する時には、劈開型の急速な決定的な破壊の条件となります。

ゲンサマー博士が金属において継続して拮つていく各種の亀裂の特別な意義と弾性応力により供給されるエネルギーの役割について解明しましたことは、彼の低温引張り試験における新しいデータの提供とともに非常に立派な仕事でありました。

X線による歪みの測定法

応力がかゝっている鋼のノッチの近辺での歪みの状態を正確に知ることの困難についてはすでにお話いたしました。その理由は勿論ノッチの頂点における金属はノッチから遠くにある金属の平均よりもはるかにその応力が高いからであります。理論的には最もすどいノッチによる応力増加は平均値の五倍かあるいはそれ以上であると推測されております。金属の挙動はこの数字が一般的に正しいことを示しております。

しかしながら現在マサチューセッツ工科大学のジョン・ノルトン博士の説により鋼の結晶格子の実際の伸びはX線の廻折によつて測定され得、X線が廻折し得る限りの場所においては少なくとも表面に関する限りは応力の状態について知ることができます。テンションをかけた時にノッチが応力を生ずる効果については、このノートこの資料によつて確認することができます。

このような比較的新しい数個の研究成果により科学的な好奇心というものが金属とくにもつとも普遍的に使用され、また必要である金属すなわち鋼についてのより

よき理解にいかにして私達を導いていつたかということがよく知られます。予測を許さない明日の日の技術はこのような実用化をその基本的な願望として持つ諸研究からやつてくるであろうということは、いくら強調してもし過ぎることがありません。比較的容易な研究は大部分がすでにおこなわれました。残るものはその解決のためにより精巧な機械設備とより高く天駆ける想像力とを必要とする問題ばかりであります。この分野におきましては、私は日本の方々の気性がとくにこの方面に適していることを信じて疑わぬものであります。

私が今まで述べましたことは、応用研究すなわち、新分野の開拓の有用性を軽んじる意味ではなく、それらの研究からは当然製鋼ならびに加工法における改良が期待されます。両分野における研究は共々に人類の進歩にとつて、すなわちすべての人々の生活の絶えざる向上のために必要なであります。さらに申しますならば、この両方面すなわち基礎なびにに应用研究においては、重要な共通の要素があります。すなわち試験的仮設とその実験的肯定または反論という非常に有用なやり方でありす。

幾十万気圧下における固体物質の挙動について知ろうとする本質的慾求は、賞讃に値する。そうして典型的な基礎研究への努力を形づくります。そのような研究のもつともいちじるしい技術的成果は人造ダイヤモンドというすばらしい結果となつて現われております。いわゆる“ボラゾン”という、今一つの高圧物質すなわち不可思議な緻密な一種のボロンナイトライドが今や一層の興味をひきつゝあります。なぜならば、それは、原子週期律表におけるダイヤモンドの両側にある元素の合成物であり、ある点ではダイヤモンドをしのぐようなすぐれた性質を有すると思われるからであります。

まことに現代は驚歎すべき時代でありまして、私共は科学の水平線上には何らの限界をも認めないのであります。(訳者：八幡製鉄・中尾常世・今井正)