

No. 1

平成10年度

帰国研修員フォローアップ調査団

(表面改質技術・熱処理技術集団研修コース)

報告書

平成11年3月

JICA LIBRARY



J 1153164 (7)

国際協力事業団  
名古屋国際研修センター

JICA  
118  
66.6  
TNC  
LIBRARY

名古屋セ
J R
98-2



## 序 文

国際協力事業団名古屋国際研修センターは、金属加工見直し検討会の結果をもとに、表面改質・熱処理の両研修コースを統合する計画が進みつつあります。その際に開発途上国における表面処理・熱処理の両技術の現地の状況を把握して効果的な新研修コースのカリキュラムを策定することが重要と考えられます。

この報告書は、表面改質・熱処理の両研修コースの帰国研修員や同研修員所属機関等に訪問し帰国研修員の活動状況・日本での研修の帰国後の効果・当該国の技術水準・技術的問題点を調査することで統合後の新研修コースの計画・実施の際の参考とするために派遣された平成10年度帰国研修員フォローアップ調査団の調査結果をまとめたものです。

現地調査にあたって協力していただいた両国の政府、公的機関、民間企業の関係者及び現地の日本側関係者に対して深く感謝の意を表明するとともに平成12年度を予定している新研修コースの実施に向けてご指導ご協力を課賜わりますよう心よりお願い申し上げます。

平成11年3月

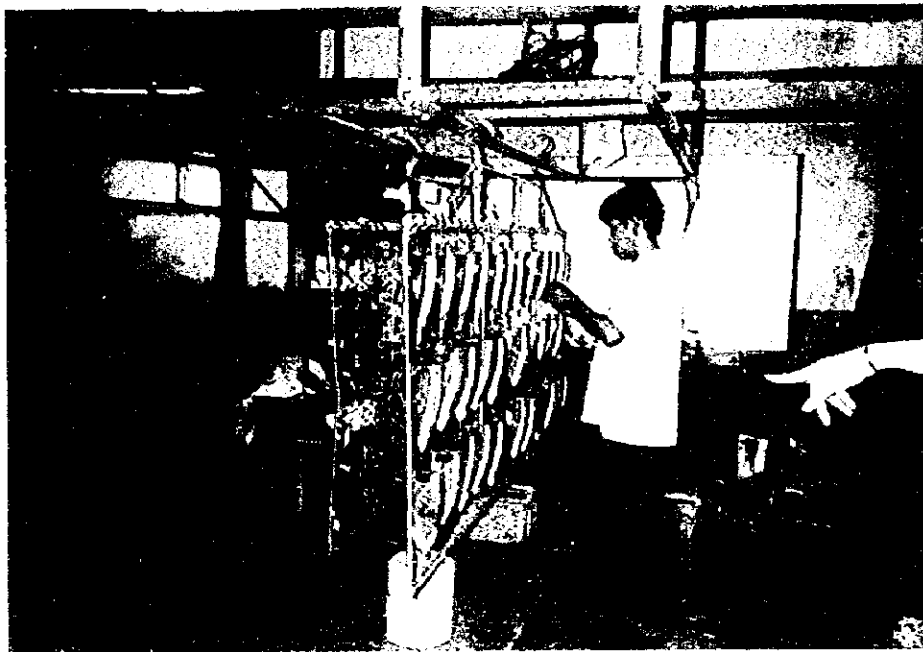
国際協力事業団  
名古屋国際研修センター  
所長 鈴木 信一



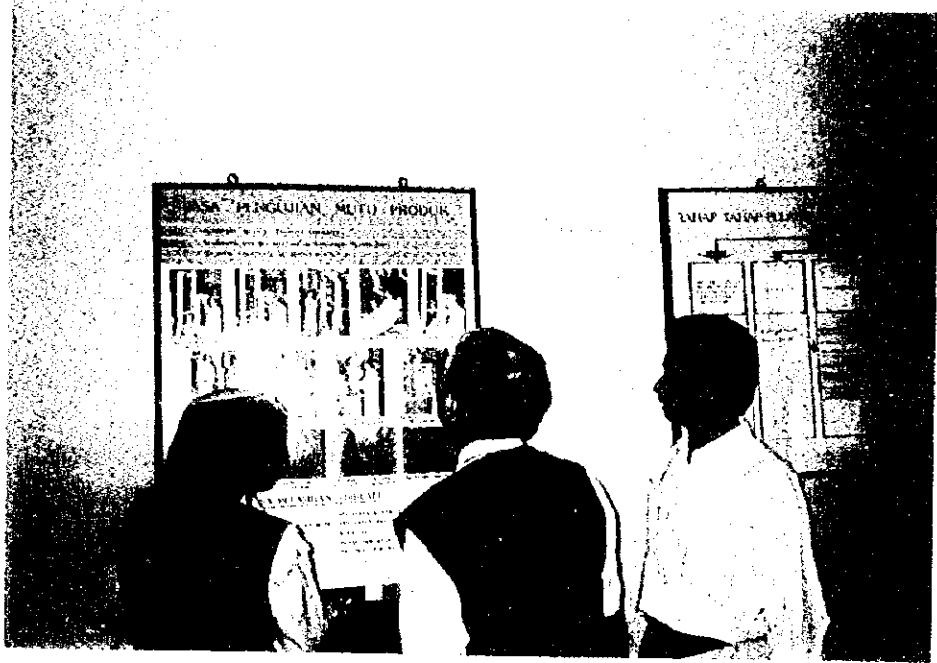
1153164 [7]



帰国研修員Ms. Marilou E. Canonesと沖団長（フィリピン・MIRDC）



IMF社訪問（フィリピン）



MIDC訪問（インドネシア）



MIDC訪問（インドネシア）

# 目 次

## 序文

1. 調査概要	
1. 調査団概要-----	1
2. 調査日程-----	3
3. 主要訪問先・面談者-----	4
II. フィリピン	
1. 社会・経済事情、技術分野の現状と問題点-----	6
2. 帰国研修員調査結果-----	7
3. 技術セミナー実施報告-----	7
4. 関係機関等訪問-----	8
5. 資料（セミナー出席者、帰国研修員アンケート） -----	9
III. インドネシア	
1. 社会・経済事情、技術分野の現状と問題点-----	13
2. 帰国研修員調査結果-----	14
3. 技術セミナー実施報告-----	16
4. 関係機関等訪問-----	17
5. 資料（セミナー出席者、帰国研修員アンケート） -----	22
IV. 全体所感-----	26
V. 添付書類	
・新設研修コース案-----	28
・金属加工見直し検討会報告書より関係分-----	30
・セミナー原稿-----	38
(Ceramic Coating Technology for Surface Modification, Survey of Carburizing)	





## I. 調査団概要

### (1) 派遣の経緯と目的

昨年度、名古屋センターにおいて実施した金属加工分野研修コース見直し検討会では、標記両研修コースの統合が方向づけられた。

そのため、開発途上国における表面処理・熱処理の両技術の現地の状況を把握し効果的な新研修コースのカリキュラムを策定することを目的とした。

また、帰国研修員や同研修員所属機関等に訪問・調査することで、帰国研修員の活動状況や日本での研修の帰国後の効果、当該国の技術水準や技術的問題点、その他研修コース計画や運営の参考になる点を把握すること、またさらに研修の内容等の見直し、技術セミナーを現地にて実施し帰国研修員や現地関係者に表面改質技術の最新情報を伝達するために派遣された。

### (背景)

熱処理技術はもともと鑄造技術のような鋼材加工の分野から発展した技術であり、表面改質技術はメッキ技術を起点に発展してきた技術である。

しかし、両者の技術は技術革新のなかで共通の方向に向いてきた経緯があり、例えばPVD、CVD、窒化（Ion Nitriding）、浸炭(Carbonizing)などのいくつかの技術が両方共通の技術であるため、両研修コースの統合が検討された。

一方、開発途上国の産業界の現状は、未だ両者の技術区分が従来と変わらないことも考えられ、その反面統合後の研修コースの場合でも十分ニーズに対応できる可能性もある。そのため、両方の研修コースに係った帰国研修員等途上国の関係者に面談してこれらの経緯に沿って説明し、意見を聞く必要がある。

### (2) 対象コース名

#### 1. 熱処理（昭和56年度以来19回実施）

本研修コースは、愛知県工業技術センター等の協力を得て実施されていて、金属製品の材料強度・耐磨耗性のための熱処理技術を開発途上国の技術者に指導することを目的としたものである。講義、実習、企業見学によって、熱処理理論、固有熱処理技術等の技術が移転される。

#### 2. 表面改質（昭和40年金属表面処理として開始し平成2年度より現在のコースとして9回実施）

本研修コースは、愛知県工業技術センター等の協力を得て実施されていて、金属の素材改善のための技術を開発途上国の技術者に指導することを目的としている。講義、実習、企業見学等によって、素材、金属表面処理（電気めっき、PVD、CVD等）、排水処理等の技術が移転される。

めっき集団研修コース（昭和40年）

鍍金技術集団研修コース（昭和41年～昭和44年）

金属表面処理技術集団研修コース（昭和45年～昭和63年）

表面改質技術集団研修コース（平成元年）

表面改質技術集団研修コースII（平成2年～）

(3) 調査対象国

フィリピン共和国、インドネシア共和国

(4) 派遣期間

平成10年11月24日～平成10年12月6日

(5) 調査団構成

団 長 (総括／ 表面改質技術)	<small>おき たけお</small> 沖 猛雄	名古屋大学名誉教授 (表面改質技術集団研修コースリーダー)
団 員 (熱処理技術)	<small>さいた よしゆき</small> 斎田 義幸	斎田技術事務所 (熱処理技術集団研修コースリーダー)
団 員 (研修計画)	<small>ほりもと たかやす</small> 堀本 隆保	国際協力事業団 名古屋国際研修センター 研修課

## 2. 調査日程

日順	月日	曜日	訪問機関、面会者等	調査すべき事項、収集すべき資料等
1	11/24	火	出発（関空→マニラ）、 JICAフィリピン事務所	表敬、挨拶、調査打ち合わせ
2	25	水	技術協力窓口機関（NEDA）、 帰国研修員所属機関（民間企業IMF International）	表敬、挨拶、調査打ち合わせ、面談、研修につ いてのヒアリング調査 見学、関連情報の収集、 所属長表敬及び研修要望聴取 帰国研修員との面談の実施
3	26	木	帰国研修員所属機関 （DOST,MIRDC,ITDI）	見学、関連情報の収集、 所属長表敬及び研修要望聴取 帰国研修員との面談の実施
4	27	金	セミナー、JICAフィリピン事務所、日 本大使館	セミナー実施、事務所報告、大使館報告
5	28	土	資料整理	
6	29	日	移動（マニラ→シンガポール） 移動（シンガポール→ジャカルタ）	
7	30	月	JICAインドネシア事務所、日本大使館 技術協力窓口機関（SECCAB） 移動（ジャカルタ→バンドン）	表敬、挨拶、調査打ち合わせ、面談、研修につ いてのヒアリング調査
8	12/1	火	移動（バンドン→ジャカルタ） 帰国研修員所属機関（IRDMMI, IRDMT）	研究機関等見学、関連情報の収集、 所属長表敬及び研修に対する期待、評価の聴取 関連情報の収集、帰国研修員との面談
9	2	水	帰国研修員所属機関（材料・部品・構 造物強度試験場, Anck Tambang）	研究機関等見学、関連情報の収集、 所属長表敬及び研修に対する期待、評価の聴取 関連情報の収集、帰国研修員との面談
10	3	木	セミナー	セミナー実施
11	4	金	JICAインドネシア事務所、日本大使館、 木下専門家	事務所報告、大使館報告、専門家ヒアリング
12	5	土	移動（ジャカルタ→シンガポール）	
13	6	日	帰国（シンガポール→関空着）	

### 3. 主要訪問先・面談者

#### (1) フィリピン

(\*) は当コース帰国研修員。

・ JICA事務所

後藤所長、黒柳次長、中沢職員、石賀職員

・ 日本大使館

篠田邦彦 (一等書記官)

・ 援助の窓口機関

国家経済開発庁 (NEDA; National Economic and Development Authority)

Ms. Carmencita J. GUIYAB (Executive Officer)

Mr. Micheal Angele P. Rupisan (Desk Officer, Special Committee on scholarship)

・ 科学技術省 (DOST; Department of Science and Technology)

Dr. William G. Padolina (次官 Secretary)

・ 金属加工研究開発センター (MIRDC; Metals Industry Research & Development Center)

Mr. Rolando T. Vilorio (Executive Director)

Mr. Equardo R. Lacbay (Deputy Executive Director) 等

(\*) Mr. Ishidro D. Millo (98年熱処理 帰国研修員、Heat Treatment, Welding & Forging Section)

(\*) Mr. Edilbert M. Dela Pena (Technology Business & Advisory Section、94年熱処理 帰国研修員)

(\*) Ms. Marilou E. Canones (95年表面改質 帰国研修員)

・ 工業技術開発研究所 (ITDI: Industrial Technology Development Institute)

Dr. Rogelio A. Panlasigui (Director)

(\*) Mr. Perfecto S. Braganza Jr. (89年熱処理 帰国研修員、Senior Science Research Specialist)

(\*) Mr. Alexander Enriquez Carandang (96年熱処理 帰国研修員)

・ JICAフィリピン金型技術向上プロジェクト(担当: 鋳工業開発協力第一課)

近藤靖彦 (チーフアドバイザー)

井出専門家 (Mould Assembling and Trial Shot)、土井専門家

(Mold Processing)、小島専門家 (Mold Design)、石田専門家

(調整員)。

・ IMF International Corporation

Cherry S. Rodriguez

(\*) Ms. Estrelita R. Francia (表面改質90年帰国研修員)

等

(2) インドネシア

(\*) は当コース帰国研修員。

・ JICAインドネシア事務所  
 諏訪所長、米田次長、大田職員。

・ 日本大使館  
 八山幸司 (二等書記官)

・ JICA専門家 木下俊夫 (Analysis and Foreign Aid)

・ 援助の窓口機関  
 内閣官房 (Bureau for International Technical Cooperation,  
 Cabinet Secretariat of the Republic of Indonesia)  
 Mr. Didin Burhanudin S. Sos. (技術協力局、政府間技術協力部長)  
 Dr. Tutang Sutandi (担当官)

・ 金属・機械工業研究所 (Institute for Research and Development of Metal  
 and Machinery Industries (IRDMMI) )

Dr. Hadi Nuguroho (総務部長)

Dr. Abdul Wahid (加工技術部長)

(\*) Mr. Muchamad Furqon (80年熱処理 帰国研修員)

(\*) Mr. A. Yudia Bakti (95年熱処理 帰国研修員)

・ 材料製品試験所 (Institute for Research and Development of Materials and  
 Technical Products)

(\*) Mr. Mustansir (93年表面改質 帰国研修員)

・ 材料・部品・構造物強度試験所 (Laboratory for Strength of  
 Materials, Compounds and Structures)

(技術評価・応用庁 BPPT (B. P. P. TEKNOLOGI) )

(\*) Mr. Sidarto Handoyo (Sub. Bid. Mekanik, 91年熱処理 帰国研修員)

Mr. Budi S. Tedjolukito (Engineer, Material Assessment Dept.)

Mr. Arif Nurtjahjo (Components & Structures Testing Dept.)

・ P. T. Aneka Tambang

Mr. Darma Ambiar (Production Manager)

(\*) Mr. Gatot Setiawan (Metallurgist, 89年表面改質 帰国研修員)

・ 金属開発研究センター (訪問せず)

(R & D Centre for Metallurgy - Indonesian Institute of Sciences)

Dr. F. Firdiyono (金属技術部)

Mr. Budi Priyono (同)

Mr. Bambang Sriyono (同)

Mr. S. Dedog (同)

Miss Harini (同)

## II. フィリピン共和国

### 1. 社会・経済事情、技術分野の現状と問題点

#### (1) 社会・経済事情

フィリピン共和国（以下フィリピン）は南西太平洋に位置して数多くの島々から形成する国土（約300千平方KM）と約7千万人の人口を持つ国である。

同国は、スペイン、アメリカの2国の植民地となった歴史を持つので、ASEANのなかでは相対的に欧米との文化・経済的つながりの強い国である。一部のムスリムを除き主たる宗教もカトリックキリスト教である。第二次大戦時に日本が占領し多くの死者も出たので一部に反日の気風も存在する。

戦後の産業は、日本・欧米の外資を導入したアグリビジネスや製造業が主流であった。70年代に好調であった経済は80年代から停滞し構造調整プログラムを受け入れた。80年代なかばから90年代初頭にかけてマルコス政権末期、アキノ政権時代に内戦など国内政治の不安定化、天災、電力不足の影響もあって大きく停滞の時代を迎えていた。しかし、経済開放、自由化の政策の結果、90年代には経済の好調な発展を経験した。近年のASEANの経済危機のなかでも最も影響のすくなかったといわれる。製造業については消費材が中心で国内市場指向にあるが、電気電子機器の輸出が近年は輸出全体の30%に達している。これらの輸出振興、経済発展に日本や欧米の外資の進出が大きく影響していることは言うまでもない。しかし、2003年のAFTA以降の地域内の貿易投資の自由化に向けてより国際競争力の拡大が望まれている。

日本との経済的なつながりでは、アメリカの次の輸出相手国が日本であり（93年）、輸入は日本が最大の相手国である（93年）。

日本のODA対象額は、97年無償、技術協力で約190億円規模である。工業関係では、JICAプロジェクト方式技術協力・金型技術向上(97.9.1～2002.8.31)が帰国研修員の多く所属しているMIRDCをサイトに近藤靖彦氏（元工業技術院名古屋工業技術研究所長）を日本側リーダーとして実施されている。

(一人当りGDP) 1050ドル (95年)

(実質GDP成長率) 4.8% (95年)

(帰国研修員面談者)

Mr. Perfecto S. Braganza Jr. (ITDI, 89年表面改質 帰国研修員)

Ms. Estrelita R. Francia (IMF International Corporation, 表面改質90年帰国研修員)

Mr. Edilbert M. De la Pena (MIRDC, 94年熱処理 帰国研修員)

Ms. Marilou E. Canones (MIRDC, 95年表面改質 帰国研修員)

Mr. Alexander Enriquez Carandang (ITDI, 96年熱処理 帰国研修員)

Mr. Ishidro D. Millo (MIRDC, 98年熱処理 帰国研修員)

## 2. 帰国研修員調査結果

折角、日本で研修した新技術、例えば物理蒸着法、化学蒸着法、真空熱処理などでは、装置が無いので研究発展や普及しにくい（装置としては電気抵抗炉、マス炉、電気めっき装置などくらいである）こと、また材料の入手が極めて困難であること、などの問題があり、大きく応用や利用発展に困難があることに直面している。

日本で研修した知識や技術の帰国後の応用は装置の問題のない部分のみ応用されている。しかし新技術の内容は産業界（外資系を除く）からの要請が殆どない。

両コースの統合による新コースへの移行に伴う長所および短所については、長所としては知識の増えること、境界領域の新技術がより良く理解し応用し易い、目的遂行において柔軟性のある対応ができる、技術の複合的發展ができる、金属加工の材料工学の理解と把握に役立つ、などがあげられる。一方短所と考えられる点については、両コースの内容がそれぞれ短縮されての研修となる可能性、実習・見学・現場研修の短縮化、これまでのスペシャリストの再研修が必要、などがあげられる。

## 3. 技術セミナー実施報告

技術セミナーは、1998年11月27日（金）マニラのマナギン プレジデント ホテルにおいて行われ、講演と討論会の形で進められた。講演の題目は、（資料別添）

沖　　： 表面硬化技術－表面改質セラミックコーティング技術－  
（Surface Hardening Technology-Ceramic Coating Technology  
for Surface Modification）

斎田　： 浸炭概説（Survey of Carburizing）

であり、これら両講演（講演内容は別添資料を参照）が続いて行われた後、活発な質疑応答による討論会に入った。ここにおけるいろいろな質疑応答討論において、両講演との関係もあり表面硬化関係に集中して行われ、研究関係者は新しい

表面硬化技術のPVD、CVD、溶融塩法などについてのプロセス技術についての討論が盛り上がった。技術指導関係者は装置の充実のテーマに関心が強く、また現在持っている装置の両講演内容に関する技術への応用改善方法の有無について質問があった。

フィリピン金型技術向上プロジェクト(JICA-MIRDC)の近藤靖彦チーフアドバイザー他4名も参加された。

#### 4. 関係機関等訪問

##### 4 (1) 関係行政機関訪問調査

援助の窓口機関(NEDA, National Economic Development Authority)の関係担当部長の Ms. Carmencita J. Guiyab 女史らを訪問し、本調査団の主旨を説明をした。なお同女史は以前に国連地域開発センターの研修のため、JICA名古屋国際研修センターに宿泊したこともあり、JICA研修に対して深い理解を示し、同時に感謝の意を強く表された。さらに、フィリピンは私企業への技術移転に熱心であることから、企業からも新コースに推薦をしたいことを強く要望された。

科学技術省(DOST, Department of Science and Technology)の次官である、Dr. William G. Padolina氏らは、日本側の説明を聞いた後、新コースの研修により技術水準の改善により強く効果が出ることに期待が寄せられた。

##### 4 (2) 研究機関訪問調査

金属工業研究開発センター(MIRDC, Metal Industry Research & Development Center) 320人ものスタッフをもつ大きなセンターで、所長のEngr. Rolando T. Viroria, 副所長で技術開発担当のEngr. Eduardo R. Lacbay 両氏らの対応で関係部門の見学と対話をおこなった。

また、M&E計画(Metal and Engineering Plan)による地方材料試験センターの運営指導があり、地方のセンターは、ミンダナオ島、ネグロス島、セブ島にあって、たとえば、セブ市に表面処理と熱処理セクションがある。関係専門分野の主な技術開発については、熱処理では焼鈍、焼きならし、球状化処理、焼き戻し、応力除去処理、溶体化処理、非鉄合金材料の析出硬化、直接硬化、浸炭、浸炭窒化、液体窒化、(工具やダイ、



農業用機械部品、医療機器、電子部品、構造用工具、金属加工部品、木材など）があり、表面改質技術では、アルミニウム材の陽極酸化法による耐摩耗性、耐食性、着色性付与、（自動車用トランスミッション部品、車体部品、飛行機部品、家庭用品など）、金めっき（Niめっき真鍮部品）、表面硬化（パックおよび液浸炭、浸炭窒化、硬質クロムめっき）、Niめっき、Cuめっき、Agめっきなどがある。さらにアークトライボロジックとのジョイントで超耐摩耗、長寿命のコツクローラの表面改質処理のための超硬コート(VC)と硬質クロムめっきの研究をも開始された。

この様なMIRDCの現在の状態においても熱処理セクションと表面処理セクションを統合して材料強化および表面改質の総合技術開発研究を新しく進めようと計画実施進行中である。この様な事情もあり日本案に対して強力な賛意を示した。むしろMIRDCの先行性すら強調した。現在、MIRDCではJICAプロジェクト方式技術協力による金型技術向上プロジェクトがスタートしている。

工業技術開発研究所(Industrial Technology Development Institute)は前出のDOST傘下の主研究所(約400人)で、研究と開発、技術移転、技術研修、とテストなどが主な業務している。所長のDR. Rogelio A. Panlasigui氏らと面談と見学視察を行った。当所長はフィリピン大学の教授からの転任された事もあり、工業技術開発と研究に対しては特に関心があり造詣も深く討論も進展し、技術開発研究においては基本的事項の基礎的研修が特に重要であることを強く主張された。同所で関係する分野は材料科学の分野とテストの標準化の分野があり、これらの分野では特に計測工学の利用に力を入れ、科学試験(腐食試験)、微生物試験、物理的試験、計測試験、排水処理がなされている。セラミクス材料や加工プロセスに関係する部所では、表面改質技術特にPVD、無電解めっき処理、CVDなどが関係し興味をもっておられ、総合的な見地からの材料強化や表面改質の研修を望んでいる。これらのことも考慮され、両コースの統合は新しい思考に更なる情報を提供する上でも有用であると理論的および技術的見地から支持された。所長としては表面改質や表面強化による装置製作改善などの方向に進みたいとの意向を示された(たとえば、樹脂反応炉の内部のセラミックコート、農学系装置の耐食コートなど)。このほかセラミクスとメタルとの接合界面、ソルゲル法、有機コートに興味を示された。

## 4 (3) 企業訪問調査

行政機関の紹介で、1社 IMF International Corporation (約50人)を見学と現場説明を受けた。技術開発担当の Ms. Cherry S. Rodoriguez 女史の説明で、当社の操業めっきなどの種類としては、Cr (装飾)、Ni、Cuめっき、ハウターコート、メッキの熱処理を、Durabass Co.ではニッケルコート、SUSシート'のCrめっきなどを行っている。2年先には表面処理部門を都心から地方に移転する。ここでは、Philaco社 (電気製品会社)の冷蔵庫 (GEと提携)の蝶番やアロウなどのCrめっき、ホンダ関係のZnめっきなどのCrめっきやプラチナなどを行っている。さらにAl合金材料へのCrめっきをも行っており、約20社と取引関係がある。この様な多品種の仕事をしており、日本での複合的技術研修を望み、実習に力を入れての5-6ヶ月の実質研修を期待している。特に、ここではCU-Ni-Cr、Ni-Ni-Crを行っており、素地材料の熱処理と関係するので熱処理との連携を望むと同時に、種々の問題や環境処理を相談できる人材育成の技術研修や正しいめっき被膜評価法の研修をも要請が強い。

## &lt;資料&gt;

## フィリピン帰国研修員リスト

(研修時所属先、研修年度)

(\*) は面談した研修員。

## 1) 表面改質

1. Ms. Victotria Jocelyn R. Argano (MIRDC, 87年) → 現在はAustralia在住。
2. Mr. Danny P. Ramillano (MIRDC, 88年) → 現在は民間企業Ramtool Co., LTD.。
3. (\*) Mr. Perfecto S. Braganza Jr. (ITDI, 89年) → 現在も同じ所属先。
4. Ms. Pagasa M. Trinidad (MIRDC, 89年) → 現在はUSA在住。
5. (\*) Ms. Esirelita R. Francia (IMF International Corporation, 90年) → 現在も同じ所属先。
6. Mr. Jaime F. BAUTISTA (MIRDC, 94年) → 現在は民間企業National Panasonic Co., LTD.。
7. (\*) Ms. Marilou E. Canones (MIRDC, 95年) → 現在も同じ所属先。

## 2) 熱処理

1. (\*) Mr. Edilbert M. Dela Pena (MIRDC, 94年) → 現在も同じ所属先。
2. Mr. Christopher Canading GONZALES (DAVAO Oriental State College of Science & Technical, 95年) → 現在も同じ所属先。
3. (\*) Mr. Alexander Enriquez Carandang (ITDI, 96年) → 現在も同じ所属先
4. (\*) Mr. Ishidro D. Millo (MIRDC, 98年) → 現在も同じ所属先

以上



ATTENDANTS TO THE SEMINAR  
NOVEMBER 27, 1998  
NASH ROOM, MANDARIN ORIENTAL HOTEL

FOLLOW-UP TEAM

DR. TAKEO OKI ) 出席  
DR. YOSHIYUKI SAITA ) 出席  
MR. TAKAYASU HORIMOTO *Horimoto*

JICA OFFICE

MR. TOSHIYUKI KUROYANAGI *Kuroyanagi*  
MR. HAJIME NAKAZAWA *Nakazawa*  
MR. FLORENCIO PEREZ *Perez*

MIRDC PROJECT (JICA)

DR. KONDO - CHIEF ADVISOR *Kondo*  
MR. KOJIMA - EXPERT *Kojima*  
MR. DOI - EXPERT *DOI*  
MR. IDE - EXPERT *Maeda Ide*

EX-PARTICIPANTS

MR. PERFECTO BRAGANZA *Braganza* - ITDI  
MR. ALEXANDER CARANDANG - ITDI  
MR. EDILBERTO DE LA PENA *De la Pena* - MIRDC  
MS. MARILOU CANONES *Canones* - MIRDC  
MR. DANNY RAMILLANO *Ramillano* - COMPANY-OWNED  
MR. OSCAR JAVIER - HIGH PRECISION STEEL 欠席  
  
MR. SOTERO CONCEPCION - ARMCO MARSTEEL 欠席  
MS. ESTRELLITA FRANCIA - IMF CHROME 欠席  
MR. CHRISTOPHER GONZALES - DAVAO 欠席  
*WILSON D. PEVELO* - ITDI  
*WILFRED O. JEMIAL* - ITDI  
  
MICHAEL P. RUPISAN - NODA-SCS  
ISIDRO D. MILLO - MIRDC - *Millo*

## 帰国研修員アンケートより

### <フィリピン>

#### 1. フィリピン（表面改質） Mr. Perfecto S. Braganza Jr. (ITDI, 89年)

1) 貴殿の組織において業務を遂行するうえで問題はないか。

a) 当組織においては高度なコーティングの処理をする機材がないのでPVD、CVDなどの研究を実施できない。機材は非常に高い。

b) ASEANインド間の技術協力により、インドのプラズマ噴霧コーティングプロジェクトに参加した。

c) 96年に塗料の研究のための表面処理研究開発センターを設立してJICAからの支援（詳細不明）も受けている。

2) 日本で得た知識や技術をどのように応用していますか。

a) 日本から帰国したのち非金属コーティングの仕事 시작했다。

(1) プラスチックコーティングの研究をフィリピン化学技術研究所との技術セッションでもって発表。現地企業オクノケミカルにてこの技術は私の指導によって生かされている。

(2) 91年の8月にプラスチック研究開発センターとITDIによる、フィリピンプラスチック工業協会のセミナーにて提出されたプラスチックメタライジング (ITDIの経験) という論文。

(3) CVD, PVDおよびセラミックコーティングのプロジェクトを押しすすめている。しかし機材費用が高くて購入できないため難しい。

(4) 93年にJICA大阪国際センターの先進ガラス研修コースに参加して、ITDIのガラス研究室を立ち上げたし研究をしている。

3) 表面改質と熱処理の統合についての感想。

(要約) 基本的には良いことだと思う。新技術特に、PVD, CVDについてもその研修にて講義して欲しい。

## 2. フィリピン (熱処理)

Mr. Christopher Canading GONZALES

(DAVAO Oriental State College of Science & Technical, 95年)

1) 貴殿の組織において業務を遂行するうえで問題はないか。

DAVAO Oriental State College of Science & Technicalは直接、表面改質・熱処理の活動と関係ない。この地域の基本的な科学技術な進展には寄与しうる。熱処理のカリキュラムは地場産業に応用しづらいので困難である。いずれ将来この分野も陽の目を見るであろう。

2) 日本で得た知識や技術をどのように応用していますか。

同僚との討議や勉強会を実施。

3) 表面改質と熱処理の統合についての感想。

経済性や重複整理には良いが、分野が広くなりすぎないか？

## 3. フィリピン (表面処理)

Ms. Msrilou E. Canones (MIRDC, 95年)

1) 貴殿の組織において業務を遂行するうえで問題はないか。

排水処理。一般的な熱処理・表面処理の機材。業界の鉄などの金属素材についての知識不足。メッキやその他熱処理について応用することについても資金不足である。

2) 日本で得た知識や技術をどのように応用していますか。

メッキ技術についての研修を中小企業に実施している。コンサルサービスもやっている。

個人的知識や研究に役立った。

3) 表面改質と熱処理の統合についての感想。

経済性はあるし、研修員の知識は増えると思う。両方の研修コースは共通の目標をもっていると思われる。

期間が長くなりゃしないか？研修員の数が限定されりゃしないか。腐食など熱処理とは無関係な技術がある。

#### 4. フィリピン (熱処理)

Mr. Ishidro D. Millo (MIRDC, 98年)

1) 貴殿の組織において業務を遂行するうえで問題はないか。

真空熱処理炉、PVD、CVD、そして他の表面処理設備もないので業界への技術振興をすることはできない技術がある。

2) 日本で得た知識や技術をどのように応用していますか。

業界への研修やセミナー、コンサルサービスとして実施。

3) .表面改質と熱処理の統合についての感想。

広い分野を学べて業界への支援には良いことだと思われる。

期間が統合で長くなりやしないか。



### Ⅲ. インドネシア共和国

#### 1. 社会・経済事情、技術分野の現状と問題点

##### (1) 社会・経済事情

インドネシア共和国（以下インドネシア）は東南アジアのなかでも最大の国土（約1905千平方KM）と人口（約1億9千3百万人）を持つ非常に多くの島々と300以上の民族によって形成される国である。

大戦後にオランダから独立し、言語の統一などに見られるように統一国家としての発展を目指してきた。人口の大多数はイスラム教徒である。

66年以來ずっと続いたスハルト政権は近年終焉したが、長期政権によって政治的な安定は得られたもののその結果による民主化の遅れが今後の政治的不安定要因となっている。

石油・天然ガスが最大の輸出品であり、就業者数が最も多い分野（全体の半分）のが農業分野である。工業分野は80年代なかばから輸入代替型から輸出指向型に転じ、工業品輸出の増加が見られてきた。94年には約24%と大幅に上昇した。工業製品の輸出は、繊維、合板、電気電子機器、ゴム製品の順である。外資の導入による製造業の発展についてはフィリピンと同様である。一方、アジア経済危機による経済停滞の影響を受けIMFの介入も見られた。しかし、2003年のAFTA以降の地域内の貿易投資の自由化に向けてより国際競争力の拡大が望まれている。

日本との経済的なつながりでは、輸出入ともに日本が最大の相手国である（95年）。

日本のODA対象額は、97年無償、技術協力で約260億円規模である。工業関係では、ちかじか鋳物分野の技術協力がJICAプロジェクト方式技術協力として帰国研修員の多く所属しているIRDMMIをサイトに実施される予定である。。

(一人当りGDP) 980ドル (95年)

(実質GDP成長率) 7.5% (ただし94年)

(帰国研修員面談者)

Mr. Muchamad Furqon (IRDMMI、熱処理80年帰国研修員)

Mr. A. Yudia Bakti (IRDMMI、熱処理95年帰国研修員)

Mr. Gatot Setiawan (Metallurgist、表面改質89年帰国研修員)

Mr. Mustansir (表面改質93年帰国研修員)

## 2. 帰国研修員の調査結果

今回のフォローアップで調査の対象としたインドネシアにおける帰国研修員は、表面改質コース7人（1988年度以降11年間）、熱処理コース10人（1980年度以降19年間）の合計17人であるが、このうちジャカルタ及びバンドン在住の以下の5人に面接した。

### ● Mr. Muchamad Furquon (1980年度熱処理コース)

バンドンにある金属・機械工業研究所 (Institute for Research and Development of Metal and Machinery Industries, 以下 IRDMIM) から派遣されて第1回の熱処理コースに参加した帰国研修員で、現在は同所加工技術開発部に所属して熱処理に関連する研究、技術指導、委託加工業務の統括を行っている。部長の Dr. A. Wahid によれば、バック法による銅のポロライジング、クロマイジング、アルミナイジング等の研究を行い、成果を学会に発表するなど活発に活動してきた。

現在 IRDMIM は熱処理設備として箱形電気炉、塩浴炉及び高周波焼入装置を保有し、焼ならし、焼なまし、焼入れ・焼戻し、軸類の高周波焼入れを行うことが可能である。青化物系塩浴による液体浸炭も実施可能ではあるが、環境汚染への配慮から行っておらず、要望がある場合には木炭と炭酸バリウムを浸炭剤とする固形浸炭法を採用している。浸炭剤として使用している木炭を見せてもらったところ、片状の軟らかいものであったので、直径3～5mmのできるだけ硬いものに変えるよう指導した。

Mr. Furquon によると、Asian Development Bank からの資金援助を受けて券囲気熱処理炉を導入する計画が進められているとのことなので、1995年度熱処理コースの帰国研修員 Mr. Y. Bakti とともに、当所における熱処理分野の技術指導能力の高度化にむけての一層の活躍が期待される。

### ● Mr. Gatot Setiawan (1989年度表面改質コース)

ジャカルタ市内の PT. Aneka Tambang に勤務し、貴金属製品の成形加工部門の技術責任者として活躍している。彼が担当する部署では、自社で精錬した金、銀、白金をベースとする各種貴金属・合金の鋳塊からスタートして指輪やペンダント等の装身具に加工するための線・板・棒等の素形材及び表面に各種の印象をスタンプしたメダル等の最終製品を製造している。したがって、利用する加工方法も鋳造、押し出し、引き抜き、打ち抜き、押印等広範囲に及んでおり、それぞれの加工技術のほか、加工に使用するダイス、ポンチ、金型等の各種工具の製作に必要な材料、熱処理、機械

加工についての知識・経験も必要であるが、現在内製して使用している押印用金型について聞き取り調査したところでは、スウエーデン Assab 社の冷間ダイス鋼 XW10 を用いているにもかかわらず、焼入れの加熱方法が適切でないために HRC30 というきわめて低い性能しか得られていない。きわめて加工しやすい貴金属を対象とする少量生産だからどうかうまくいっているものの、大いに改善の余地があることを指摘し、適切な加熱方法をアドバイスした。

表面改質コースの帰国研修員である彼が現在の職務を担当するにはそれなりの理由があるが、日本における研修の成果をフルに生かすためには、彼が現在担当している部門には金属加工コースの帰国研修員を配置し、彼は電解精錬やメッキの部門に配置換えするのが望ましいと思われる。

#### ● Mr. Sidarto Handoyo (1991 年度熱処理コース)

ジャカルタ市内にある科学技術評価応用庁（原語で BPPT, The Agency for the Assessment and Application of Technology）傘下の材料・部品・構造物強度試験所（Laboratory for Strength of Materials, Components and Structures, 以下 LSMCS）で機械設備課の課長として所内機械設備の設置、運転、修理、保守の業務を担当している。

担当課の日常業務の内容は、金属系材料、部品、構造物の各種機械的性質の試験に使用する静的及び動的引張・圧縮、衝撃、ねじり等の各種試験機の保守と試験用治具、取り付け具等の設計・製作であるが、このうち試験機の保守に関しては、部品の破損などの重大な故障は機器メーカーに直接修理を依頼するのでとくに問題はない。一方、試験用の治具、取り付け具の設計・製作の業務に関しては、材料の選定から熱処理、溶接、機械加工等の金属加工法全般についての知識と経験が必要であり、熱処理に関しては日本における研修の成果が大いに役立っている。ただし、保有する熱処理設備は箱形電気炉 1 基だけなので、適用できる熱処理も炭素鋼の焼入・焼戻しまでであり、浸炭、窒化等の表面硬化熱処理設備の導入を希望している。

#### ● Mr. Mustansir (1993 年度表面改質コース)

バンドン市内の IRDMMI に隣接した材料・製品試験所（Institute for Research and Development of Materials and Technical Products, 以下 IRDMT）に勤務している。

研修に参加した当時は有機化学実験室（Organic Laboratory）に所属して塗料、フ

ラスティック、高分子材料の試験、分析及び研究に従事していたが、現在は計量実験室 (Calibration Laboratory) に配置換えされていて、有機材料及び製品の分析や物性試験に利用する機器の検定、校正及び計測技術の開発などの業務に従事している。

現在の業務を遂行する上で障害となっている問題は機器の老朽化、厳密な物性測定に必要な恒温・恒湿試験室の欠如などである。

● Mr. A. Y. Bakti (1995 年度熱処理コース)

Mr. Furqon と同じくバンドンの IRDMMI に勤務し、所内の 2 人目の熱処理コース 帰国研修員として主に熱処理及び溶接に関する研究、研修、技術指導の業務に従事している。Mr. Furqon より遅れること 15 年後に研修に参加しているため、真空熱処理、C.V.D.、P.V.D.等の最新熱処理技術を研修しているが、現在 IRDMMI が保有する熱処理設備は箱形電気炉と塩浴炉及び高周波焼入装置だけであるため、日本における研修の成果を十分に活用できるような環境とはほど遠い。当所には 2 人の熱処理コース帰国研修員がいるため、せめて実験室規模の小型の真空熱処理炉だけでも導入することができれば、これを利用して高速度鋼やダイス鋼の光輝焼入れや真空浸炭などのより高度な熱処理技術の指導、普及が可能になると思われる。

### 3. 技術セミナー実施報告

日 時：12月3日(木) 9:00～13:10

場 所：ジャカルタ プレシデントホテル, Topaz / Jade Room

参加者：16名

プログラム：

8:30～9:00 受付

9:00～9:05 開会挨拶 JICA インドネシア事務所 大田 亮

9:05～10:05 表面改質セラミックコーティング技術 沖 猛雄

10:10～10:25 コーヒーブレイク

10:30～11:30 浸炭概論 齊田 義幸

11:30～12:30 質疑応答、意見交換 司会 堀本 隆保

12:30～13:00 昼食

13:05～13:10 閉会挨拶 沖 猛雄

特記事項：

セミナーに参加した 16 人の内訳は表面改質及び熱処理コースの帰国研修員 4 人、帰国研修員が所属する機関の上司・同僚数人、及び帰国研修員はいないが JICA インドネシア事務所から案内を送った インドネシア科学協会（原語で LIPI, Indonesian Institute of Science）傘下の金属研究開発センター（原語で PPPM, 略して 3PM, Research and Development Centre for Metallurgy）の技術者 5 人などであった。

講演後、浸漬法によるクロム炭化物コーティングにおいて必要な母材の最低 C% はどれくらいかとか、C.V.D.における母材と C.V.D.層との密着性はどの程度かなど、かなり立ち入った内容の質問が出され、新しい表面改質技術に対する関心の高さを伺わせた。

帰国研修員との意見交換では、セミナーに参加した人のほぼ全員が日本での留学や技術研修を体験した帰国研修員であったので、名古屋国際研修センターにおける表面改質コースと熱処理コースに限定しない、日本における研修全般についての意見や要望が述べられた。日本の技術協力に対する要望としては、国別特設研修の実施や現地における帰国研修員の技術移転業務へのサポートなどであった。

#### 4. 関係機関等訪問

##### (1) 内閣官房 ( Cabinet Secretariat )

訪問日：11月30日 (月)

面談者：Mr. Didin Burhanudin (技術協力局, 政府間技術協力部部長)

Dr. Tutang Sutandi (担当官)

概要：訪問した内閣官房 技術協力局 政府間技術協力部は、インドネシアにおける政府間技術協力の窓口業務を担当する部署であり、JICAの技術研修についてもここが窓口となっている。各研修コースの G.I. は JICA インドネシア事務所からここに届けられ、ここから各省庁に配布して候補者を募ることになる。

表面改質コースと熱処理コースについてのこれまでの実績によると、インドネシアから派遣される研修員の企業と公設試験研究機関との比率はほぼ半々なので、その点について何らかの基準を設けているのかどうかを尋ねたところ、たまたまそうなたただけでとくに意図した結果ではないということであった。

表面改質コースと熱処理コースの統合については、技術分野の垣根を越えて研修範

囲が広がるので歓迎するとの意見であった。また、多くの省庁から推薦される多数の応募者の中から候補者を選考しなければならない場合が多いので、できるだけ早く G.I. が入手できるよう配慮して欲しい旨要望された。

## (2) 金属・機械工業研究所 ( IRDMMI )

訪問日：12月1日(火)

面談者：Dr. Hadi Nuguroho (総務部長)

Dr. Abdul Wahid (加工技術部長)

Mr. Muchamad Furqon (1980年度 熱処理コース帰国研修員)

Mr. A. Yudia Bakti (1995年度 熱処理コース帰国研修員)

概要：工業・貿易省 工業研究開発庁 (Agency for Industrial Research and Development, Ministry of Industry and Trade) に所属する国立研究所で、ジャカルタから列車で約2時間半のバンドンにある。

1988年に名称を金属工業開発センター (Metal Industry Development Centre, MIDC) から金属・機械工業研究所 (IRDMMI) に変更したが、業務の対象とする技術分野は鋳造、溶接、機械加工、熱処理等の金属加工技術が主体で、機械関連技術分野の業務は少ない。

熱処理分野の業務に関しては、Mr. Furqon と Mr. Bakti の2人の熱処理コース帰国研修員がいて、保有する箱形電気炉2基、塩浴炉2基、軸用高周波焼入装置1台を使って受託加工や技術指導を行っているが、浸炭、窒化、真空熱処理等の日本では普通に行われている熱処理すら、設備がないので、加工依頼に応じることも実際に技術指導することもできないのが現状である。このことは、表面改質技術についても同様で、金属及びセラミックの溶射、各種金属の電解メッキ、アルミニウムの陽極酸化等ひとつおりの設備を備えてはいるが、いずれも著しく老朽化が進んでいる。

熱処理及び表面改質以外の分野については、機械加工部門には多数の CNC 旋盤やフライス盤、放電加工機が設置され、それらを使って外部から受け入れた研修生の教育が活発に行われており、鋳造部門では、名古屋工業技術研究所との間の専門家の派遣や設備の供与を含めた共同研究によって、ロストワックス法による精密鋳造の設備、技術を導入して業界に技術移転できる体制が整っており、さらに現在、この研究所をサイトに鋳造技術のJICAのプロジェクト方式技術協力の実施が計画されている。

溶接分野の設備としては、塑性加工と同じ建家の一角に10人くらいが同時に実

習できるような溶接ブースが設けられ、被覆アーク、TIG、MIG、炭酸ガスアーク等の各種溶接設備と溶射装置が備えられていて、実技面の指導設備は充足している。

機械・金属工業の発展に果たす熱処理の役割はきわめて大きいにも関わらず、この分野の設備は機械加工、鋳造、溶接に比べて著しく劣っており、国の試験・研究機関で浸炭、窒化、真空熱処理など、現在の工業技術のレベルからみて最低限必要と考えられる熱処理を依頼に応じて実施、あるいは指導できる場所は皆無である。地理的には多少不利でも2人の帰国研修員をもつ IRDMMI にこれらの指導設備を整備するのが最も効果的と考えられる。

### (2) 材料・製品試験所 ( IRDMT )

訪問日：12月1日(火)

面談者：Mr. Mustansir (1993年度表面改質コース帰国研修員)

概要：バンドンの IRDMMI のすぐ隣の、同じ工業・貿易省 工業開発庁傘下の試験所で、IRDMMI との違いは対象が金属だけでなく無機、有機系材料に及ぶ点と業務内容が主としてこれらの材料及び製品の試験、分析、評価及び各種計量機器の検定、校正である点である。

しかし、業務のもう一つの柱として技術者研修をうたっていて、非破壊検査、溶接、水処理などの各種の技能・技術を修得するためのコースを開設していること、企業から持ち込まれた種々の不良品や破損品について、破損解析や不良原因の調査などを行っているので、製造工程の改善や品質の向上などの方策を助言したり指導したりする機会が多いことなどから、担当職員に対する技術研修は IRDMMI と同様に有効であると考えられる。

### (3) 材料・部品・構造物強度試験場 ( LSMCS )

訪問日：12月2日(水)

面談者：Mr. Sidarto Handoyo (機械設備課長、1991年度熱処理コース帰国研修員)

Mr. Arif Nurtjahjo (部品・構造物試験部担当者)

概要：ジャカルタ市内にある BPPT 所属の試験・研究機関で、1984年に開設した比較的新しい施設である。業務の柱は研究、試験、相談指導、技術者研修の4つであるが、とくに金属系の材料、部品及び構造物の強度試験に関しては、小は直径数 mm のテストピースから大は商用車や航空機などのフルスケールまで、広範囲の静的、動的負荷試験や疲労試験、クリーブ試験など多様な試験設備を保有していて、恐らく国

内随一の能力をもっているように見受けられた。

強度試験のほかに、材料評価部では非破壊検査、金属組織試験、破面解析、腐食試験なども行っており、たまたま訪れた金属組織試験室では、中小企業から持ち込まれた鍛接農具や廃車のバネでつくった刀身に水牛の柄と鞘をつけた民芸調ナイフの顕微鏡組織を試験しているところを見学することができた。試験の結果は企業にフィードバックされ、行程改善や品質向上に役立てられるとのことである。

業務の重要な柱の一つである技術研修は、企業、大学、他の政府機関等から派遣された技術者を対象に、たとえば中小企業技術者を対象とする農機具製造技術コースや中規模以上の企業技術者を対象とする破損解析技術コースなどを開設しているとのことである。

#### (4) P.T. Aneka Tambang (貴金属製品製造)

訪問日：12月2日(水)

面談者：Mr. Darma Ambiar (製造部長)

Mr. Gatot Setiawai (1989年度表面改質コース帰国研修員)

概要：当初予定していた PT. Karakatau Steel への訪問が時間の関係でできなくなったので、PT. Aneka Tambang がインドネシアにおける唯一の訪問企業となった。当社は中規模の国営鉱山会社で、我々が訪問したジャカルタ市内の工場のほかに鉱山をもち、ボーキサイト、ニッケル鉱石、フェロニッケル及び貴金属を生産している。

訪問したジャカルタ工場では、自社の鉱山で採掘した鉱石から金、銀、白金等の貴金属を乾式精錬、湿式精錬によって抽出、精製し、メダル、指輪、ブローチなどの装身具やその素材用線、棒、板などを製造しているが、我々が見学することができたのは帰国研修員 Mr. Setiawai が担当する加工部門だけで、それ以外の精錬工程は見ることはできず、工場への出入りの際には金属検知機による厳重な身体検査を受けることが求められた。

被加工材が金、銀、白金等の軟らかい貴金属であることに加えて、処理量も少ないので、加工に用いる金型に要求される性能は著しく高い必要はないであろうが、寿命に重大な影響をもつ焼入加熱を石炭粉末中で行っているため、表面脱炭を生じて寿命が著しく短くなっていると考えられる。鑄鉄切りくずを用いることにより脱炭を防止して型寿命を延ばしうることを指導したが、作業の内容から考えて、型製作技術を習得した技術者の養成が必要であると思われる。



(5) 金属開発研究センター (Research and Development Center for Metallurgy)

訪問日：面談のみで訪問はしなかった。

面談者：Dr. F. Firdiyono (金属技術部)

Mr. Budi Priyono (＃)

Mr. Bambang Sriyono (＃)

Mr. S. Dedog (＃)

Miss. Harini (＃)

概要：インドネシア科学協会所轄の金属だけに特化した研究所で、ここからは1987年度の熱処理コースに Mr. Rusminto Wongso が参加している。彼はその後転職し、現在は帰国研修員がいないので、今回のフォローアップにおいては本研究所は訪問しなかった。しかし、12月3日に開催したセミナーに本研究所から前記の5人が参加して熱心に聴講し、帰国研修員との意見交換の席でも積極的に発言したことなどから、名古屋国際研修センターが実施する各種金属加工系研修コースへの研修生受け入れの適否を中心に、本研究所について若干の調査を行った。

インドネシア科学協会は政府のどの省庁にも属しない、大統領直轄の組織で、その主たる責務は、研究・開発計画の立案・実行における大統領の補佐、及び大統領布告によって制定された国家科学技術振興計画について政府に指導、援助、助言を与えることである。そのために社会科学、自然科学、工業技術等の分野ごとに多数の研究開発センターを設置して研究開発を行っており、金属研究開発センターは工業技術の分野に設置された6つの研究開発センターの一つである。

金属研究開発センターの規模や設備、技術レベル等の詳細は不明であるが、セミナー会場で Dr. Firdiyono から聞いたところでは、ジャカルタとバンドンの2カ所にセンターがあつて、ジャカルタセンターの所員の数は約50人、島津製作所製のX線マイクロアナライザー (EPMA) を保有していること、鋳造、溶接、熱処理などの実験室から成る金属技術部のほかに防食技術部があつて、応力腐食の研究が行われていることなどから推察すると、金属に関する研究の設備やレベルは国内ではトップクラスにあるものと思われ、当センターからの研修生の受け入れは望ましいと考えられる。

(資料)

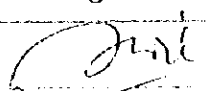
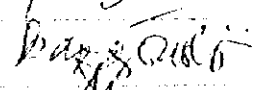

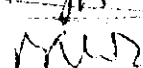

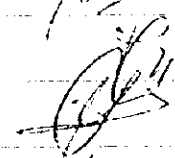
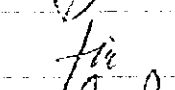



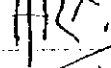

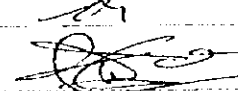
(表) 一表面改質 及び来日年度 ☆は面談した研修員  
(熱) 一熱処理

インドネシア 帰国研修員リスト

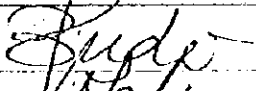
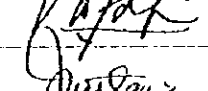
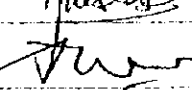
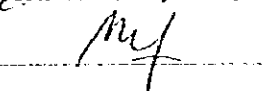
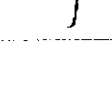
INFO LIST OF EX-PARTICIPANTS ON  
SURFACE FINISHING TECHNOLOGY FOR MATERIALS AND HEAT TREATMENT TECHNOLOGY

NAME	DEPT/INSTITUTION	ADDRESS	REMARKS
Harry Furnomo (表) 87	PT. Krakatau Steel, Wisma Baja	Jl. Gatot Subroto Kav 59 Jkt	still working
Mr. Raphael Ascendadji (表) 88	DG og Machinery & Basic Mental	Min. of Industry & Trade	unknown 不明
Mr. Gatot Setiawan (表) 88	PT. Aneka Tambang	Jl. Pemuda - Raya Bekasi Km 7	still working
Mr. Agung Sutardhana (表) 90	PT. Krakatau Steel, Wisma Baja	Jl. Gatot Subroto Kav 59 Jkt	moved-unknown 不明
Mr. Samudro (表) 91	Blank ( not mentioned detailed )	-	- 不明
Mr. Mustansir (表) 92	Inst. of Material & Technical (B4T)	Jl. Sangkuriang No. 14, Bdg	still working
Mr. Ayi Yudha Bakti (熱) 95	Inst. of Metal Industry Development	Jl. Sangkuriang No. 12, Bdg	still working
Mr. M. Fuqon (熱) 80	Inst. of Metal Industry Development	Jl. Sangkuriang No. 12, Bdg	still working
Mr. Budi Nur Prasetya (表) 96	Inst. of Industrial Research & Dev't	-	been in German 不明
Mr. Ketut Rasdita (熱) 81	-	Min. of Industry & Trade	unknown 不明
Mr. Suparmin Supar (熱) 82	PT. Barata Surabaya	-	still working
Mr. Djoko Resmihadi (熱) 85	PT. Barata Gresik	-	still working
Mr. Impin Sutardjo (熱) 83	PT. Barata Indonesia	-	Retired 引退
Mr. Rusminto Wongso (熱) 87	R&D for Metallurgi	IIFI Bandung	Moved to IPTN
Mr. Sidarto Handoyo (熱) 87	UPT-Luk BPPT Serpong	Paspitek Serpong	still working
Mr. Robert T. Napitupu (熱) 93	Plaza Kanindo	-	Moved-unknown 不明
Mr. Firdaus T.A. Rani (熱) 96	Univ. Syiah Kuala Banda Aceh	-	still working

**List of Participants for The Seminar on  
"Surface Finishing Technology for Materials and Heat Treatment Technology"**

No.	Name	Organization	Signature
1	Andi M. Kadir	UPF - LUK BPPT	
2	Koos Purgono	- " -	
3	Mai Setia Nugro	- " -	
4	Mitro. W.	- " -	
5	B. Sriyono	P3M - UPT	
6	HARINI	P3M - LIP1	
7	Yunus	P3M - LIP1	
8	A. Firdaus	P3M - LIP1	
9	ALIP SAPTNO	PT. BARATA INDONESIA	
10	Yenni Nurjani	BYT - Depenindag	
11	Arif N	LUK	
12	Eddy S	- " -	
13	A. Walid	B B L 157	
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			

**List of Participants for The Seminar on  
"Surface Finishing Technology for Materials and Heat Treatment Technology"**

No.	Name	Organization	Signature
1	Bardi Priyono	F31 - CIT	
2	Dedy S.	P3M - LIPS	
3	MUSTANSIR	DIT - Deperindag	
4	S. Handoyo	DIT UK - BPPS	
5	M. FURQON	BBLM - Bandung	
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			

## 帰国研修員アンケートより

### <インドネシア>

#### 1. インドネシア (熱処理)

Mr. A. Yudia Bakti (IRDMMI、95年)

##### 1) 貴殿の組織において業務を遂行するうえで問題はないか。

表面処理や熱処理技術を研究するうえで問題があるとするれば、CVD、PVD、イオン注入などの表面処理や熱処理の機材がない。金属表面処理と熱処理の機材があるのみである(電気炉。ソルトバス、メッキなどの機材)。

材料もインドネシアでは価格は高い。

##### 2) 日本で得た知識や技術をどのように応用していますか。

産業界に普及しようとしている。CVD、PVD、イオン注入を実施しようとしているものの宣伝程度である。機材不足、業界のニーズ不足である。

##### 3) 表面改質と熱処理の統合の感想について

参加者の知識が増える。CVD、PVD、イオン注入などの技術についても幅広く知識が増える。

しかし、もし、PVD、CVD、イオン注入を中心にすると前述、技術的に高度になりすぎると思われる。

#### 2. インドネシア (熱処理)

Mr. Sidarto Handoyo (BPPT, 材料・部品・構造物強度試験所、87年)

##### 1) 貴殿の組織において業務を遂行するうえで問題はないか。

熱処理炉が良いものがない。

##### 2) 日本で得た知識や技術をどのように応用していますか。

機材不足のため応用できない。

##### 3) 表面改質と熱処理の統合の感想について

参加者の知識や経験は増えるが、各トピックスについては深くできないと思われる。

#### IV. 全体所感

名古屋国際研修センターが中心となって平成10年度に実施された技術研修員受入事業における金属加工分野研修コース見直し検討会において、名古屋国際研修センター所管の熱処理および表面改質の両技術研修コースの統合が示唆されたことに伴って、このことの可能性と新研修コースの研修内容の方向性などを見出す為に研修対象国のうちこれまで両コースに数多く参加したフィリピンとインドネシア両国を調査対象国として帰国研修員フォローアップ調査を行った。熱処理および表面改質の両技術の状況と研修期待の課題調査、両分野の技術小セミナーの開催による啓蒙効果、窓口技術指導・研究機関および工場現場視察、帰国研修員へのヒアリング調査などを行った。

熱処理および表面改質技術の両研修コースはそれぞれ発生要因は全く別の基礎のもとに、すなわち熱処理は材料強化を、表面改質は表面処理による表面改善と表面硬化などによる表面強化および耐食性改善を主目的としてはじまりそれぞれ発展してきた。これら両コースの発展経緯において、技術的境界領域および理論的学際的共有の発現発展がおり共通境界分野への発展がなされ、浸炭、窒化、物理蒸着法、化学蒸着法などを通じ両分野は境界がなくなり、繋がりつつある。

フィリピンとインドネシアの行政機関は、総じて両コース統合に異論はない。しかし、新コースの目的をはっきりさせ、両コースの利点を生かした研修内容の構成が必要であること、内容の充実により各国がそれぞれ複数以上の研修員を推薦したいこと、このために研修定員の増加が欲しいこと、などが強く望まれた。

技術指導・研究機関は、共通して新研修コース誕生により帰国研修員による目的に対する技術開発の柔軟性が大きく発現されうる期待を示した。ここでもはっきりした目的とその為の内容の構成、さらには成果が見込まれるための十分な研修期間の設定に丁寧な配慮をすることの要望が出された。新コースの目的についての要望については、本調査団からの参考案を示した関係もあると考えられるが、材料強

化と表面強化（含 耐食性付与）を主なものとして研修が取り上げられ、その周辺技術がよく応用されるよう加味されることを期待された。

企業関係は調査対象企業は一社のみであるが、現在、企業内容の多様化、多角化への変化と少量多品種の動向により、技術内容の複合化が強く指向される必要から、新コースの強い実現を望み、この時公的企業は勿論であるが私企業からも国を通じての研修員の受入許可の希望が強い。対象国の技術発展を考えると、私企業の技術管理者および現場技術者の育成上良いことと強い感觸を得た。

帰国研修員は、おおむね統合については賛成する傾向にあった。

援助研修対象国の関係製造製品や部品の強度、耐摩耗、耐食性、など製品機能の更なる向上や問題解決のために、材料強化・硬化、表面強化・硬化、耐食性向上、耐摩耗性向上、機能性向上、意匠性向上、などのための熱処理・表面改質技術の複合化技術研修を途上国研修員に対して実施することは、開発途上国の機械・金属加工製品の信頼性、機能性、耐久性の向上につながり、それらの国の近代化と産業振興に寄与できるとの確信を強くした。同時にフィリピンやインドネシアの技術レベルのまだまだ低いこと、プリミティブな技術で応用の広くある電気めっきのニーズのまだまだ強いことなども念頭において技術移転すべきと考えられる。

これらの調査の要約と結論から種々これまでの発展内容を参考にして、新コースの研修内容の一次案を別表に示す。

## 新研修コース名称と研修内容（1次案）

### 1。コース名 材料性質改善熱処理・表面処理技術集団研修コース

Heat Treatment & Surface Finishing for Material Improvement

### 2。研修内容

#### 金属材料ハrd強化

講義： 1. 熱処理概論 2. 一般熱処理(Hrd) 3. 特殊熱処理  
4. 高速度鋼工具 5. ハrdリング熱処理 6. タrs鋼熱処理  
7. 真空熱処理 8. 非鉄金属熱処理 9. その他のHrd熱処理

現場研修： 1. 一般熱処理 2. ハrd鋼熱処理 3. 高速度鋼熱処理  
4. 特殊熱処理 5. ハrdリング熱処理 6. タrs鋼熱処理  
7. 真空熱処理 8. 非鉄金属熱処理 9. その他のHrd熱処理  
10. 材料計測

#### 表面強化・硬化（耐食性付与、腐食防食を含む）

講義： 1. 表面改質概論 2. 浸炭・浸炭窒化 3. 窒化 4. 浸硫その他  
5. 高周波など高密度エネrd-処理 6. CVD 7. PVDと他の表面硬化  
8. Crめっき 9. 無電解めっき 10. 金属材料の腐食防食  
11. 自動車用鋼板の表面処理 12. 溶融金属めっき 13. 電鍍  
14. 化成処理と陽極酸化処理 15. Ni, Cuめっき 16. Znめっきと  
表面計測

現場研修： 1. 浸炭・浸炭窒化・窒化 2. 高周波処理など 3. CVD  
4. PVDその他 5. 腐食防食 6. 表面清浄化 7. 溶融めっき  
8. 無電解めっき 9. 化成処理 10. Crめっき 11. 他のめっき  
12. 自動車の表面処理（鋼板および部品）

実習： 熱処理 1. 5週間、表面改質（含腐食防食） 2週間。

研修旅行： 東京方面；1週間、広島方面；1週間 その他；1週間。

このほか、必要に応じて技術討論を含めて1週間の申をとる。



Heat Treatment & Surface Finishing Technology  
For Improving Metal Materials Properties

The new course plan for training the process technology for strengthening, hardening, corrosion-resistance, wear-resistance of metal materials by means of the combination of heat treatment and surface finishing processings.

In this new training course, the strengthening, bulk-hardening, surface-hardening, corrosion-resistance, wear-resistance and also the process for quality control, ecological problem( environmental problem), recycling of metal materials are covered by selected lectures, exercises, practices and observations.

In new curriculum, as for strengthening and bulk hardening of bulk metal material, general heat treatment, special heat treatment, composite metal processing etc are intensively planned.

As for surface hardening, surface strengthening, wear resistance, other surface characteristics improvement and other objective surface finish, carburization, nitriding, high frequency wave treatment, high density energy treatment, diffusion hardening, chemical vapor deposition, physical vapor deposition, metal and ceramics coating, plasma treatment electroplating, electroless plating etc are also intensively educated.

As for corrosion resistance, electroplating, electroless plating, hot dipping coating of metal and alloy, surface finishing process for car, surface chemical conversion, physical treatment etc are included.

In the practice, heat treatment training in factory, PVD & CYD process in factory, electroplating & electroless plating practice, and some material property test and measurement in institutes are also performed.

<金属加工見直し検討会報告書より関係分>

(3) 表面改質技術（表面改質技術研修コース関連） および熱処理技術（熱処理技術研修コース関連）

①開発途上国の現状

ア) 各国の技術力

それぞれの国の技術力は一応先進国化に強く進んでいる韓国、台湾などを除くと、タイ、マレーシア、インドネシア、ブラジル、メキシコ、エジプト、トルコ等に於いては、外資系企業は本国企業の技術支援があるためAランクに属すると言えるが、現地企業はたとえ外資系企業の仕事をする場合でも外資系企業からの技術指導が受けにくく、また現地技術支援センターなどが存在し、充分機能している場合はよいが、当該センターなどが充分機能しなかったり、存在しないときには、技術向上に困難が多く、これによってBあるいはCランクに格付けされてしまう。その他の国においては、基本的に現地技術レベルは低く、Bが少々でほとんどCランクと言わざるを得ない。

熱処理技術は古くから行われている処理技術であるが高性能要求を満たす技術進歩と精密調整技術の問題の解決が重要な課題である。表面改質技術においては、電気めっきなどは行いうるが、その精密度をあげること、新しい表面改質技術例えば無電解めっき、CVD、PVDなどの理解と応用技術の実際と技術移転による金属加工分野の発展が重要な課題である。

イ) 現地技術者および技術指導者の技術レベル

現地技術者や技術指導者で、一応大学などで当該分野をいくらかでも専攻してきた者は基礎的内容についての知識はもっているが、その具体的内容の正しい理解と実践については不十分で、品質仕様を満たす製品を生産するための重要事項を抽出する能力に欠け、それに関連した工程管理・調整の能力が不十分である。製造工程において不良対策への対応が悪い場合が多い。技術者養成や指導機関の人材育成において、技術向上のために工程のみを考えるのではなく、WHAT、WHY、HOW、WHERE、WHICHなどの疑問詞に正しく応答でき、ユーザーのニーズに正しく応えうるようにしなくてはならない。

熱処理技術においては、行うプロセス、例えば、加熱—冷却—焼鈍などの工程において、性質・性能の調整のための工程変更改善方法の見出し思考の困難な現地技術者および技術指導者が多い。また、熱処理歪みを少なくする工夫とか、適正硬度はどのようにして得られるか、などの技術思考が出来る人材でなければならない。表面改質技術分野では、“どのような表面改質がユーザーの目的に適うか”、“ユーザーへの適正表面改質の提案”などのできる現地技術者および技術指導者が非常に少ない。単にユーザーの言う表面改質処理を薬品メーカーや定常装置の仕様によって行うことに終結し、工程の実行のみを表面改質技術と考え、ファインな調整思考に欠けている場合が多い。このため親外資企業や親企業の要求や改善に応じがたい事象が生ずることになる。此の点は最も重要で思考しなくてはならない点であり、この技術レベルが当該国の産業状況と密接な関係にあることは言をまたない。

現在のこの様な技術レベルでは外資系企業からの要求を満たすことは出来にくく、外資系企業の現地調達も困難になると同時に現地企業の発展を遅らすこととなる。

#### ウ) 公的技術後援機関

MIRDC (フィリピン)、MIDI (タイ)、SIRIM-FTG (マレーシア)、CMRDI (エジプト)、TIMS (エジプト)、MIDC (インドネシア)、SENAI (ブラジル) などの業界への技術後援をする教育・訓練・研究開発機関が存在する。

これら重要な技術教育・訓練・研究開発機関の指導研修とその業界への普及が重要なポイントとなる。

熱処理技術については、その重要性や応用性の理解と実践が伴う思考をも含めての技術指導体制を行う必要がある。

表面改質技術については、どのような表面改質技術がどの産業分野のどの部分にどのように役立つかを考え、教育・研究開発することがある。

このためには、これら機関が現地民間企業から頼りになる組織・体制、それに応える技術指導者および技術者を養成できる能力をもつよう期待される。

#### ②開発途上国の研修ニーズ

- i) 品質の良い製品を生産するための重要事項を抽出する能力、それに関連した工程管理・調整の能力の育成
- ii) 熱処理については、性質・性能の調整のための工程変更改善方法の見出し思考の向上。
- iii) 表面改質については、ユーザーの目的をにらんだ技術思考や調整能力の向上。

これらの技術向上をサポートするためには、現地での公的技術支援機関の民間とタイアップした教育指導・研究が重要と考えられる。

### 3. 表面改質技術集団研修コース・熱処理技術集団研修コースの見直し案

#### (1) 研修コースの名称

##### <現行>i) 表面改質技術集団研修コース

(Surface Finishing Technology for Materials II (New Processing in Metal Finishing, Corrosion Protection, Recycling and Waste Water Treatment))

##### ii) 熱処理技術集団研修コース (Heat Treatment Technology)

##### <見直し案>材料性質改善のための熱処理・表面処理技術集団研修コース

(Heat Treatment & Surface Finishing Technology for Improving Materials Property)

\*既存の両コースを以下の理由でもって統合することとする。

機械金属製品の材料強度や耐摩耗性の向上に必要な技術としての熱処理コースと金属製品の表面の化学的性質や物理的性質を付与して性能改善をする表面改質コースは本来の発生日的は全く異なるものであっても技術的には同じ方向に向かっているのでカリキュラムや目的において重複している部分が多い。工業化の将来的を含めた動向についても考えたうえで、この際むしろこの2つの研修コースを合併して、材料性質改善のための熱処理・表面処理技術を研修員に学んでいただける新研修コースを作成して、様々なニーズに総括的に対応していける新コースに改編する。

(2) 技術研修期間 (日本語研修、来日直後のオリエンテーション、帰国準備などの期間を除く)

##### <現行>

i) 熱処理 2ヶ月

ii) 表面改質 3ヶ月

<見直し案>現行の期間を加算したものを基準にし、カリキュラムの見直し結果に応じて期間を適宜、調整する。

#### (3) 研修対象者・資格要件

##### <現行>

i) 熱処理

現在、企業、研究所、教育機関において当該部門で2年以上の経験があるもの。

大学卒もしくは同等の学歴のもの。26歳から38歳までの間のもの。

#### ii) 表面改質

現在、企業、研究所、教育機関において当該部門で2年以上の経験があるもの。

化学の基礎知識があるもの。大学卒もしくは同等の学歴のもの。35歳以下のもの。

#### <見直し案>

現在、企業、研究所、教育機関において当該部門で2年以上の経験があるもの。大学卒もしくは同等の学歴のもの。40歳以下のもの。

金属製品の材料性質改善に係る業務に従事している方が望ましい。

### (4) 研修の目的

#### <現行>

##### i) 熱処理

多くの途上国において機械・金属加工業の発展に高い優先度を置いていて、輸送機械・農業機械・繊維機械・工作機械等の各種機械および金属製品が内製されるようになった。しかし、設備投資・人材育成の対象はもっぱら形状創性の加工工程に向けられるものの、材料強度や耐摩耗性の向上に必要な熱処理の重要性が十分でないため、早期の摩耗や破損が起こったりして機械製品の信頼度、耐久性が十分でないことがしばしばみられる。当該研修コースは、材料強度や耐摩耗性の向上に必要な熱処理の技術研修を途上国研修員に対して実施することで、開発途上国の機械・金属加工製品の信頼性、耐久性の向上を図り、それらの国の近代化と産業振興に寄与するものである。

##### ii) 表面改質

材料の表面処理技術は製品表面の化学的性質・物理的性質を付与して、性能改善を行うことを目的として発展してきた。近年は材料の表面に新しい特性つまり耐蝕性、耐摩耗性、装飾性、電気及び磁氣的性質、熱的性質機能を付与する技術として従来の分野だけでなく機械、電気、セラミックスの分野でも発展しつつある。

このように表面処理技術によって新しい素材を製造されていく一方、この技術は製品を長持ちさせる技術でもありリサイクルや環境とも調和していると言える。これらのことは表面改質技術が、材料工学の新たな時代を切り開いていることを明確に表わしている。

この研修コースの目的は以下の通りである。

- (a)研修員が表面改質技術についての実用的な知識を身につける。
- (b)研修員が帰国後に得た技術を製品・材料の品質向上のために自国内で応用・普及する。
- (c)それによって途上国では製品・材料の品質向上の問題点が改善される。

#### <見直し案>

近年、開発途上国において、輸送機械・農業機械・繊維機械・工作機械の製品や部品の製造が幅広く行われてきているが、これら機械製品の信頼度、耐久性が十分でないことがしばしばみられる。その原因は、摩耗・強度・意匠性の早期の不具合によることが多いので、それを解決するためには、形状創性の加工工程のなかでの熱処理・表面改質技術向上が必要とされる。材料硬化・表面硬化・機能化・意匠性向上のための熱処理・表面改質技術の技術研修を途上国研修員に対して実施することで、開発途上国の機械・金属加工製品の信頼性、耐久性の向上を図り、それらの国の近代化と産業振興に寄与するものである。

#### (5) 研修の目標

##### <現行>

###### i) 熱処理

研修員は研修終了時点において以下の技術および知識を修得することによって、母国の機械・金属加工製品の信頼度向上を実現し開発途上国の産業振興と近代化に寄与しようとするものである。

- a) 熱処理素材および熱処理設備
- b) 構造用鋼熱処理技術
- c) 高速度工具鋼熱処理技術
- d) 合金工具鋼熱処理
- e) 表面硬化処理技術
- f) 非鉄金属熱処理技術
- g) 熱処理品質検査技術

###### ii) 表面改質

研修員は研修終了時点において以下の技術および知識を修得することによって、母国の機械・金属加工製品の信頼度向上を実現し開発途上国の産業振興と近代化に寄与しようとするものである。

- a) 金属表面処理の新技术

- b) 防蝕
- c) リサイクル
- d) 排水処理
- e) 表面強化及び硬化

<見直し案>

研修員は研修終了時点において以下の技術および知識を修得することによって、母国の機械・金属加工製品の信頼度向上を実現し開発途上国の産業振興と近代化に寄与しようとするものである。

- a) 材料硬化・強化
- b) 表面硬化
- c) 耐食・装飾処理
- d) 特殊めっき
- e) 品質管理・環境・リサイクル

(6) カリキュラム

<現行>

- i) 熱処理
  - a) 基盤技術
    - 1) 熱処理素材
    - 2) 熱処理理論
    - 3) 熱処理設備・計測機器
  - b) 固有熱処理技術
    - 1) 一般熱処理
    - 2) 表面硬化熱処理
    - 3) 表面改質
    - 4) 真空熱処理
  - c) 応用技術
    - 1) 輸送機器
    - 2) 工作機械
    - 3) 切削工具
    - 4) 成形工具

5) 熱処理品質検査

ii) 表面改質

a) 素材

- 1) 金属素材
- 2) 腐蝕・防蝕
- 3) 表面改質
- 4) 真空熱処理

b) 表面処理技術

c) 関連技術

<見直し案>

1) 講義

a) 材料硬化・強化

- 1) 熱処理法・設備
- 2) 熱処理・一般
- 3) 熱処理・特殊
- 4) めっき設備
- 5) 熱処理・非鉄

b) 表面硬化

- 1) 浸炭処理
- 2) 窒化处理
- 3) 高周波処理
- 4) 表面硬化
- 5) PVD
- 6) CVD
- 7) 表面硬化・溶射
- 8) 表面硬化・拡散

c) 耐食・装飾処理

- 1) 電気めっき
- 2) 浸漬めっき
- 3) 無解めっき
- 4) 化成処理



5) 陽極処理

d) 特殊めっき

- 1) 貴金属めっき
- 2) 電鍍
- 3) 自動車用表面処理

e) 品質その他

- 1) 品質管理品質管理
- 2) 排水処理
- 3) リサイクル

2) 実習

- 1) 硬さ測定
- 2) 組織検査
- 3) 亜鉛めっき
- 4) 銅・ニッケル・クロムめっき
- 5) 化成処理

\*この研修コースは、機械・金属加工製品の信頼度向上のための熱処理・表面処理技術を移転するコースである。しかし、これら技術のなかでめっき技術は、他の技術から独立した親がある。例えば途上国においても生産工場などで金属加工製品の熱処理や表面処理を実施する部署のなかで金属製品のめっき処理をする部署は違う場合が一般的である。そのため現在でも表面改質技術集団研修コースの場合、熱処理が専門である研修員とめっきが専門である研修員とが混在している。しかし、機械・金属加工製品の信頼度向上という観点でもって両方とも同一のカテゴリーで考えるのが日本のやり方であって、めっき専門の研修コースを設置するという実施体制を構築する方向では関係者はもう動けない。一方、金属の表面硬化のためには両方の技術を技術者が知っておくことのメリットは大きい。新研修コースでは、専門的な違いがあってもいずれの専門のかたでも表面硬化のための実力がつくように対応した研修にする。

以上

CERAMIC COATING TECHNOLOGY  
FOR SURFACE MODIFICATION

NAGOYA UNIVERSITY

TAKEO OKI

1. INTRODUCTION

Nowadays, various kinds of oxides, nitrides, carbides and borides are playing an important role as new ceramics for surface modification in industry because of their excellent characteristics and performance. These ceramics such as nitrides, carbides, oxides and borides are coated in order to give their effective properties and performance to material surfaces. In other words the ceramic coating is a process which produces the composite materials consisted of ceramics as film and other materials e.g. metals as substrate. Therefore ceramic coating will be given a great deal of attention not only as one of coating technology itself, but also as manufacturing process of composite materials or preliminary process for joining.

As representative processes of ceramic coating, chemical vapor deposition (CVD), physical vapor deposition (PVD), chemical densified coating (CDC), molten salt method, spray coating, ion implantation etc. are mentioned. And in addition diamond coating and sol-gel process are recently devised very actively.

In this paper various ceramic coating processes which mainly produce the film of nitrides, carbides, oxides and borides will be dealt from the viewpoint of their properties, performance and coating methods, and the principle that develops the effective technology for surface modification in future will be explained.

2. CERAMIC FILMS AND THEIR SIGNIFICANCE

Ceramics are classified into carbides, nitrides, borides, oxides, silicides

etc.

In carbide group, TiC, VC, TaC, WC, NbC, ZrC, Mo<sub>2</sub>C, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>C, SiC are listed up, TiN, VN, TaN, NbN, ZrN, HfN, CrN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, BN, AlN etc., in nitrides group, TiB<sub>2</sub>, VB<sub>2</sub>, TaB<sub>2</sub>, WB<sub>2</sub>, ZrB<sub>2</sub>, MoB<sub>2</sub>, NbB<sub>2</sub>, CrB<sub>2</sub>, AlB, SiB<sub>2</sub> etc., in boride group, and TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> etc., in oxide group. And in addition various silicides such as TiSi, MoSi, ZrSi and CrSi, various sulfides, BP, C, B, i-carbon, diamond, etc are listed up, although these ceramics are not general yet.

Generally speaking, ceramics mentioned above have high melting point, surface hardness(1000-2000Hv), good oxidation resistance, acid- and alkali-resistance but brittleness. Their coefficients of thermal expansion are about 5-10(10<sup>-6</sup>/°C). Therefore one can select a certain ceramic and utilize it as ceramic coating according to the purpose.

On the other hand the ceramic coating films are classified into two large groups from the view point of the application, i.e. those for the construction material and for the electronic (function) material. The former needs corrosion resistance, surface hardness, heat resistance, wear resistance, acid resistance and so on. And the latter requires the properties of semiconductor, (isolator, passivation), magnetism, dielectric properties (thin film condenser, surface wave device, pressure sensitive element), photoelectric properties (thin film laser, EL, transparent electrode, optical coating). But the discovery of new properties will lead us to more useful applications in future.

### 3. NITRIDES AND CARBIDES

Properties of various nitrides and carbides are showed in Table 1 and Table 2, respectively.

Most of nitrides have high melting point (<2000°C). Their resistivity ranges from 10~20 μΩ·cm like ZrN and TiN to 10<sup>19</sup> μΩ·cm like Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Their hardness are more than 1200kg/mm<sup>2</sup> e.g. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (2600~3200kg/mm<sup>2</sup>) and TiN (1800~2100kg/mm<sup>2</sup>), but generally elasticity is low and they are brittle.

Table 1 Properties of various nitrides

nitrides properties	TiN	ZrN	HfN	VN	TaN	NbN	BN	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	AlN	CrN	Cr <sub>2</sub> N
crystal system	cubic	cubic	cubic	cubic	hexagonal	cubic	hexa. cubic	hexa. (α, β)	hexa.	cubic	hexa.
density(g/cm <sup>3</sup> )	5.44	7.35	13.94	6.08	14.1	8.26 8.4	2.15 3.48 2.27 3.49	3.18 3.19	3.25 3.30	6.1	6.51
melting point (C°)	2900 3220	2930 2980	3300 3307	2050 2360	2940 3360	2050	decomposition 2720 3000	decomposition 1900	2200 2300	1500	----
specific resistance(μΩ·cm)	22 130	11.5 14.0	32	86	135	200	1.7×10 <sup>11</sup>	> 10 <sup>16</sup>	2×10 <sup>11</sup>	600 680	79 89
thermal conductivity(CGS) (RT)	0.07	0.04	0.052	0.027	0.021	0.009	ori-entation	0.035 0.041	0.004	0.0261 0.0307	0.0514 0.0521
microhardness (kg/mm <sup>2</sup> )	1800 2100	1400 1600	1500 1700	1500	1060	1400	----	2670 3260	1225 1230 (10H)	1000 1168	1522 1629
elastic modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	25500	----	----	----	58700 (α-TaN)	49300	1160~ 8370 (α-BN)	5620 21800	28100 35200	----	----
coefficient of thermal expansion(10 <sup>-6</sup> deg <sup>-1</sup> ) (C°)	9.31 9.39 (25-1100)	7.24 (20-1100)	6.9 (20-1100)	9.2 (20-1100)	3.6 (20-700)	10.1 (20-1000)	0.5 ~1.7 (α-BN)	2.75 (20-1000)	4.8 (20-300)	2.3 (20-800)	9.41 (20-1100)

Table 2 Properties of various carbides

carbides properties	TiC	ZrC	HfC	VC	TaC	NbC	WC	SiC	B <sub>4</sub> C	SiC	Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub>	Cr <sub>23</sub> C <sub>6</sub>
crystal system	cubic	cubic	cubic	cubic	cubic	cubic	hexagonal	rhombic	hexa. cubic	rhombic	trigonal	cubic	
density(g/cm <sup>3</sup> )	4.85 4.93	6.44 6.9	12.20 12.70	5.36 5.77	14.48 14.65	7.82	15.5 15.7	2.50 2.54	3.21 3.22	6.48	6.92	6.97 6.92	
melting point (C°)	3180 3250	3175 3540	3885 3820	2810 2865	3740 3850	3500 3800	2627 2900	2350 2470	2200~ 2700	1895	1762	1518	
specific resistance(μΩ·cm)	70 173	50 64	60	150 150	20 175	74 254	53	0.3~10 <sup>11</sup> 0.8	10 <sup>11</sup> 10 <sup>11</sup>	70 80	105 113	125 129	
thermal conductivity(CGS) (RT)	0.041 0.06	0.049	0.053	0.010	0.053	0.014 0.041	0.070	1.065 0.069	0.098 0.100	0.045 0.047	0.035 0.038	0.042 0.053	
microhardness (kg/mm <sup>2</sup> )	2900 3200	2600	2533 3202	2800	1800	2400	2400	2400 3700	3000 3500	1800	1882	1663	
elastic modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	31600 44800	32300 48900	43300	26000 27400	37100 38900	34400	53600 72100	79500 65800	34450 42200	38000	----	----	
coefficient of thermal expansion(10 <sup>-6</sup> deg <sup>-1</sup> ) (C°)	7.95 (25-1000)	7.01 (25-1000)	6.80 (25-1000)	7.25 (25-1000)	7.09 (25-1000)	7.21 (25-1000)	3.84 ----	4.5 25	4.7 (20-2127)	11.7 (25-1100)	9.4 (25-1100)	10.1 ----	

On the other hand, density of carbides ranged widely from  $2.5\sim 15\text{g/cm}^3$  as well as that of nitrides and specific resistivity from TaC of  $20\sim 175\mu\Omega\cdot\text{cm}$  to SiC of  $10^9\sim 10^{11}\mu\Omega\cdot\text{cm}$ . In carbides, there are no insulators such as  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , and melting points of carbides are generally higher than nitrides and more than  $2500^\circ\text{C}$ . Thermal conductivity of carbides is generally larger than that of nitrides, which can be supposedly applied to various uses. Microhardness of carbides is much higher than that of nitrides, which can be supposedly applied to various uses. Microhardness of carbides is much higher than that of nitrides i.e.  $1800\text{kg/mm}^2$  for TaC and  $3000\sim 3500\text{kg/mm}^2$  for SiC. Elasticity of carbides is slightly higher than that of nitrides, but they have also low elasticity and are brittle in general. Although these ceramics as thin film deviate slightly from their intrinsic properties, but the tendency of property remains constant.

#### 4. OXIDES AND BORIDES

Various properties of oxides and borides are shown in Table 3 and 4. Density of oxides ranges from  $4\sim 10\text{g/cm}^3$ . Melting point of oxides is lower than that of both nitrides and carbides. Specific resistance of oxides is much higher than that of nitrides and carbides ( $10^7\sim 10^{22}\mu\Omega\cdot\text{cm}$ ), and many oxides can be used as insulator. Thermal conductivity ranges from 0.001 to 0.01 (CGS), which can be concluded from the value of specific resistance, and is very low in general. (However thermal conductivity and specific resistance of BeO are exceptionally high.) Both microhardness and elasticity of oxides are lower than those of carbides and nitrides. Especially  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  have high hardness which can be utilized in various application.

On the other hand, the density of borides ranges from  $4.5\sim 12\text{g/cm}^3$  which are similar to those of the other three compounds.

Melting point of borides is much higher than those of other compounds (and is similar to those of several carbides whose melting point is very high. This property will be often utilized for high heat resistance in the future. Specific resistivity of borides ranges from 6 to  $30\mu\Omega\cdot\text{cm}$  and is lower than that

Table 3 Properties of various oxides

oxides properties	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	HfO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
crystal form	te- tragonal	te- tragonal	cubic	rhombic	rhombic	hexa.	te- tragonal	hexa.	rhombic
density(g/cm <sup>3</sup> )	4.24	6.27	9.68	3.36	8.73	4.95	6.47	3.97	5.21
melting point (C°)	1855 / 1895	2900	2780 / 2790	670 / 685	1755 / 1815	1470 / 1510	1473 / 2130	2050	2309 / 2359
specific resistance (μΩ·cm)	3×10 <sup>10</sup>	—	—	3×10 <sup>7</sup>	1×10 <sup>11</sup>	—	2×10 <sup>11</sup>	1×10 <sup>21</sup>	—
thermal conductivity(CGS) (RT)	0.008 / 0.015	0.0047	0.0011	0.0010	—	—	—	0.095	—
microhardness (kg/mm <sup>2</sup> )	1000	1300 / 1500	940 / 1100	—	890 / 1290	726	—	2300 / 2700	2915
elastic modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	24000 / 29000	25000	—	—	—	—	—	37000	—
coefficient of thermal expansion (10 <sup>-4</sup> ·deg <sup>-1</sup> ) (C°)	8.85 (25-1000)	10.8 (25-1100)	6.45 (20-1700)	—	—	—	—	8.1 (20-1000)	9.6 (20-1600)

Table 4 Properties of various borides

borides properties	TiB <sub>2</sub>	ZrB <sub>2</sub>	HfB <sub>2</sub>	VB <sub>2</sub>	TaB <sub>2</sub>	NbB <sub>2</sub>	W <sub>2</sub> B <sub>5</sub>	CrB <sub>2</sub>	FeB	Fe <sub>2</sub> B
crystal system	cubic	cubic	cubic	cubic	cubic	cubic	cubic	cubic	rhombic	te- tragonal
density(g/cm <sup>2</sup> )	4.38	6.17	10.5	5.06 / 5.23	12.38	6.97	11.0	5.22	7.15	7.34
melting point (C°)	2790	3200	3250	2400	3037	3000	2370	2200	1650	1410
specific resistance (μΩ·cm)	6.4 / 9.1	9.7	10.6	22.7	32.5	25.7	22.0	30	80	38
thermal conductivity(CGS) (RS)	0.154	0.138	0.122	0.101	0.038	0.057	0.125	0.076	0.029	0.072
microhardness (kg/mm <sup>2</sup> )	3310 / 3430	2230 / 2274	2400 / 3400	2797 / 2813	2460 / 2540	2600	2650 / 2675	2020 / 2160	1600 / 1760	1290 / 1390
elastic modulus (kg/mm <sup>2</sup> )	56000	35060	—	27300	26200	65000	79000	21500	35000	19000
coefficient of thermal expansion (10 <sup>-4</sup> ·deg <sup>-1</sup> ) (C°)	4.6 (27-1027)	5.9 (27-1027)	6.3 (27-1027)	7.6 (27-1027)	8.2 (27-1027)	8.0 (27-1027)	7.8 (27-1027)	10.5 (27-1027)	12 (400-1000)	11.5 / 12.1 (15-400)

of carbides. This property will be utilized for special purpose like conductor at high temperature, too. Thermal conductivity of borides ranges from 0.04 to 0.15(CGS). Hardness of borides is the highest in these four compounds generally ( $>2000\text{kg/cm}^2$ ). And it is very important that this hardness property will be applied to practical uses. But elasticity is also very low and brittle as well as other compounds.

As already mentioned above, these ceramics have low thermal expansion coefficient, good heat resistance, corrosion resistance, electric properties, although their thermal-shock resistance and mechanical strength are often not so good yet. The low elasticity of these ceramics is detrimental rather than beneficial. The new ceramics coating is one of the treatments which can resolve such a disadvantage by combining these brittle new ceramic films with ductile substrates. Therefore it might be called one of composites manufacturing process. Recently the difference of properties between ceramic films and ceramics themselves have turned out, which is very interesting in the view point of surface functions of these ceramics.

## 5. SIGNIFICANCE OF FINE OR NEW CERAMIC COATING

Ceramic coatings can give some new functions moreover the properties as composite to the material substrate surface. Main applications of the ceramic coatings are described as follows. Components for wear resistance, hot resistance and packing parts, and mechanical seals are  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{SiC}$  etc.. Electric materials (functional materials) such as transparent conductive films are  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ , etc., for infrared cut-filters and strong dielectric substances  $\text{BiTi}_3\text{O}_{12}$  is used, and for piezoelectric films  $\text{ZnO}$  is used. Moreover  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is applied to coating of lens by utilizing its transparency.  $\text{AlN}$  is used as insulation film,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  and  $\text{SiC}$  as semi-conductor devices,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{TaN}$  and  $\text{TaC}$  as emitter materials, and transparent  $\text{SiO}_2$  thin film as infrared ray cut filter, resistance devices, dielectric substances and lens coating.

As mentioned above, it is frequently required nowadays that mechanical

components can undergo higher loading and that electronic materials have more various functions. And then their usage are inclined to increase more and more. If the properties of those ceramics are studied and turned out further (e.g. the electric, magnetic, thermal and mechanical properties of nonstoichiometrical compounds by reactive ion plating, etc.), the uses of new ceramic coating will increase more and more. In this point, the application of new ceramic coating which shows new properties, is very significant.

## 6. CHARACTERISTICS OF CERAMIC COATING

Ceramic coating processes can be classified in terms of the way as follows;

### (1) Chemical Vapor Deposition (CVD)

CVD utilizes chemical reactions in gas phases in order to coat the new ceramics on substrate. Low pressure CVD for controlling the surface state and plasma CVD which promotes reactions at relatively low temperatures are recently being developed.

### (2) Physical Vapor Deposition (PVD)

All PVD processes should be considered as vacuum vapor deposition and its application processes. For new ceramic coatings there are many processes utilizing chemical reactions, e.g. vacuum vapor deposition, sputtering, ion plating and so on with and without reactive gases. Low temperature plasma are utilized effectively to improve reactivity and characteristics of produced films, too. Ion implantation being now in the limelight is one of PVD processes and very interesting.

### (3) Chemical Densified Coating Process (CDC)

This process utilizes the decomposition reaction of compounds coated on the substrate. The coating of chromium oxide is utilized in practical uses to improve the wear resistance, etc..

### (4) Other Processes

Besides the above mentioned processes, Carbide coating and boride coating by using molten salts, ion nitriding, ion carburizing, spray coating, composite



plating, diamond coating and i-carbon coating are being developed. These processes has the characteristic that the film formation takes place through catalytic contact reactions of the interface between substrates and gas phases or liquid phases. Their various properties will be explained item by item in the next chapters.

## 7. CHEMICAL VAPOR DEPOSITION (CVD)

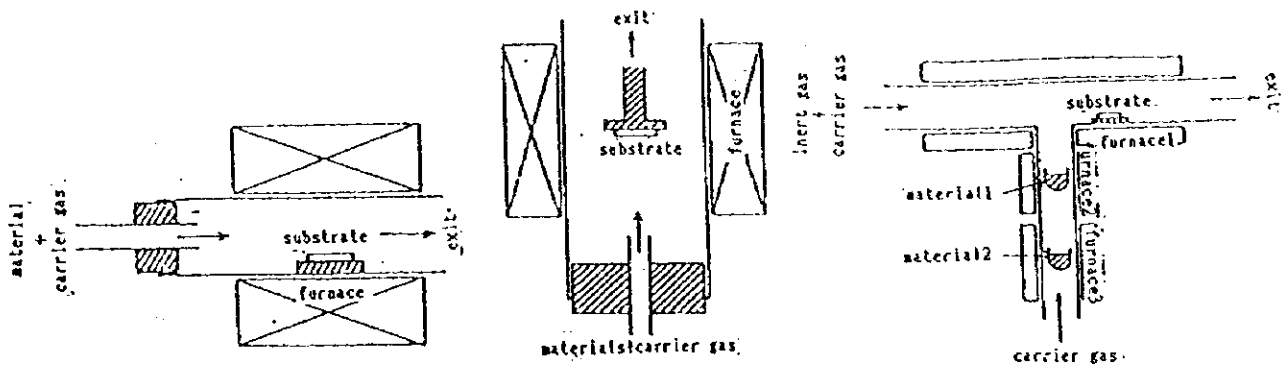
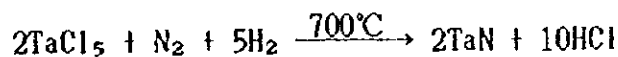
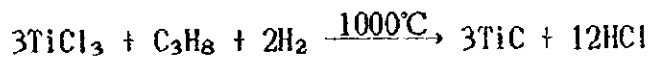


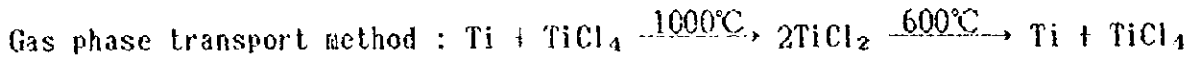
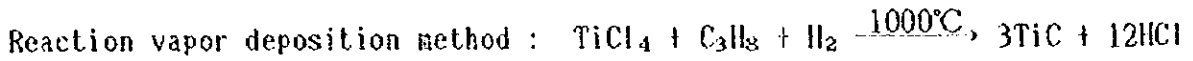
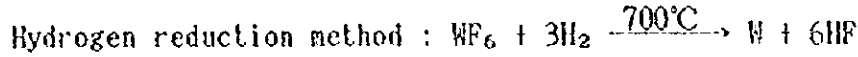
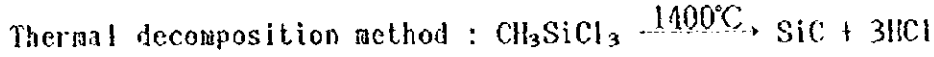
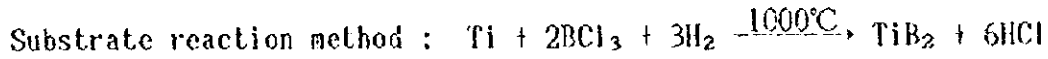
Fig.1. Schematic illustration of CVD process

Basic apparatus are shown schematically in Fig.1. CVD is the process in which metal nitrides, carbides, oxides, borides and other compounds deposit on material substrate surfaces through catalytic contact reactions at the interface between substrates and vapor phases. For example, the following reactions take place on the surface of steels to produce titanium carbide and tantalum nitride.

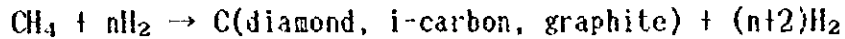


In many CVD processes, the heat influences to the film formation because of elevated temperatures of 700-1000 °C to give some adhesion problem. In order to avoid the disadvantages, the intermediate undercoating is sometimes required. Recently plasma CVD in which low temperature plasma makes the film formation at

relatively low temperatures possible is being investigated for such purpose. Representative CVD processes are mentioned as follows.



On the other hand diamond and i-carbon coating by plasma CVD are often studied recently.



The diamond has high hardness and good thermal conductivity in spite of its insulation. Therefore diamond coatings are very interesting and expected to develop more over in future.

### 8. PHYSICAL VAPOR DEPOSITION (PVD)

Generally speaking, PVD is the process in which vaporized metals deposit as compounds on the substrate through reactions with reactive gases. Ceramic coatings can be, of course, achieved only by evaporation or sputtering ceramics.

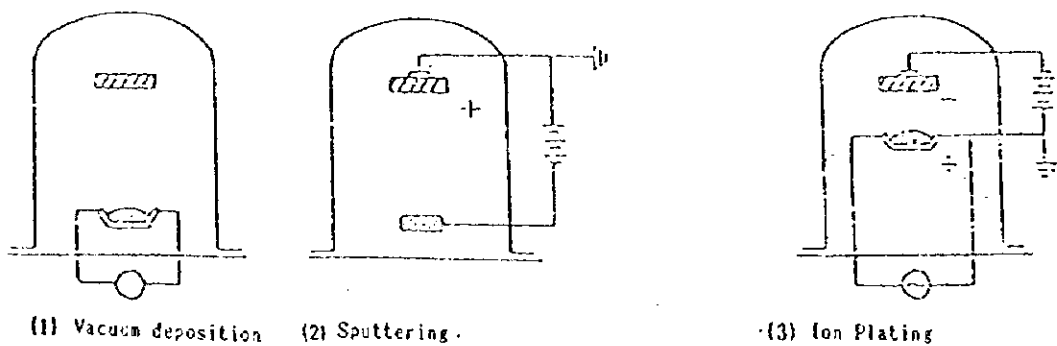


Fig. 2 PVD processes

(For example several oxide films are produced only by evaporation.) PVD processes are mainly classified into the vacuum vapor deposition, the reactive sputtering and the reactive ion plating.(Fig.2)

In the vacuum vapor deposition process, the system is evacuated at  $10^{-4} \sim 10^{-7}$ mmHg to have various compound films deposited on material surfaces.

In the sputtering processes, Ar gas is induced into the vacuum chamber at  $10^{-3} \sim 10^{-2}$ mmHg. Voltage of 1-5KV is applied to the intended ceramics as negative electrode. And glow discharge takes place in the vacuum chamber, where positive argon ion collides with the negative ceramic target and sputters parts of it to deposit on the substrate.

Prominent features of this process are to produce films of high melting point materials at relatively low temperatures, to keep the composition constant from target to film and to be able to form various kinds of ceramic film by reacting with induced gases. It's very interesting to consider sputtering as one of vaporizing at low temperatures.

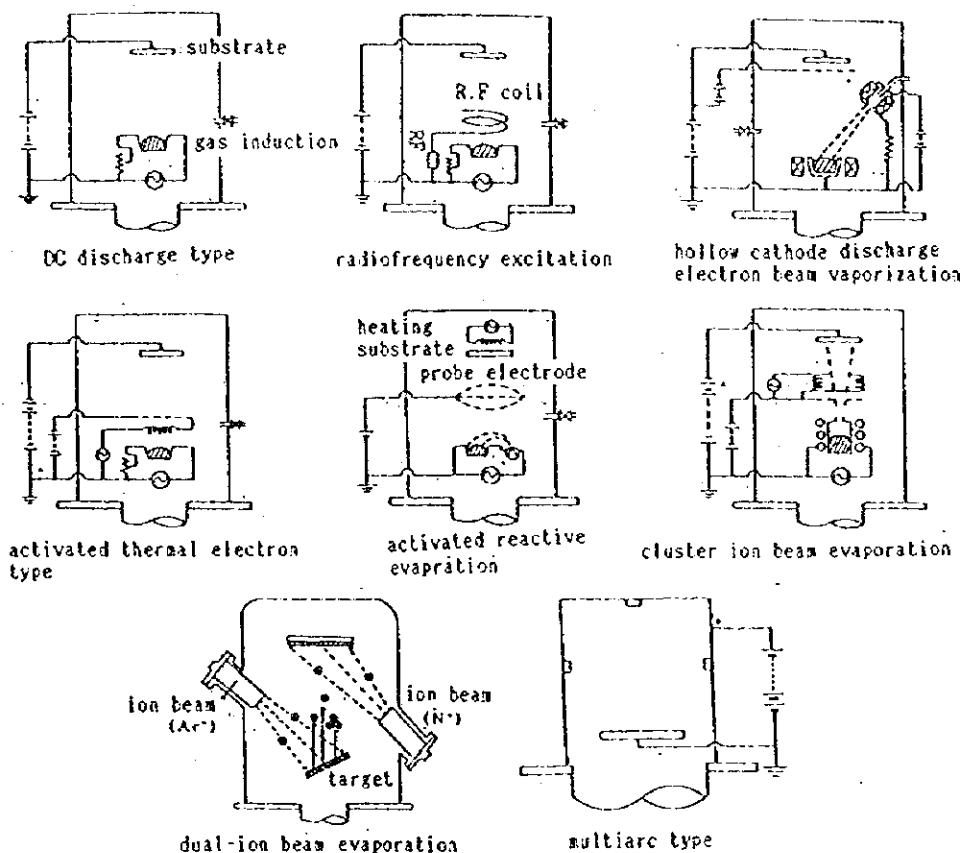
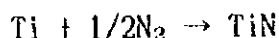
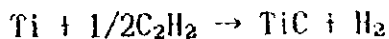


Fig.3 Schematic diagrams of various ion plating devices

Reactive ion plating is the process in which vaporized metal is ionized or activated to produce compound film on material surfaces through means of the reaction with environmental gases. In this process plasma promotes the chemical reactions and adhesion of produced films at relatively low temperatures. Ion plating is classified into various types from the viewpoint of the way of ionization or activation. (Fig.3)

For example, total reactions for the formation of titanium carbide and titanium nitride can be described as follows.



Reactive ion plating makes it possible to produce  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TaC}$ ,  $\text{ZrC}$ ,  $\text{ZrB}_2$ ,  $\text{SiC}$  films, etc. As the reaction in this process proceeds in the nonequilibrium

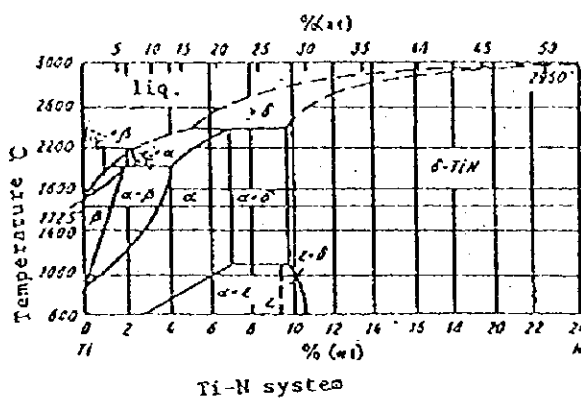
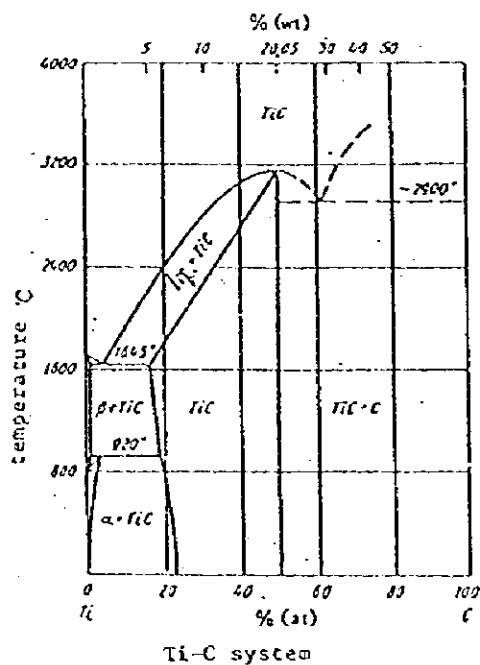
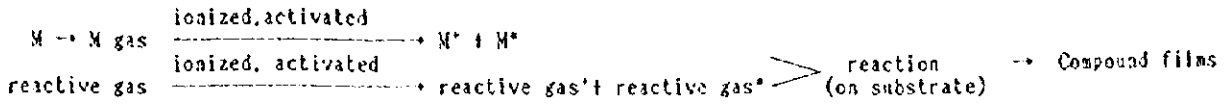


Fig.4 Phase diagram (Ti system)



state, various phases of titanium nitrides and carbides can produce on the surface (Fig.4). The principle leads to the development of the coating process of new ceramics which is termed the artificial new ceramics.

The mechanism can be generally described as follows.



For the formation of nitride films,  $N_2$  and  $NH_3$  gas are used as reactive gas,  $CH_4, C_2H_2, C_2H_4, C_3H_8$  and etc. for carbide films,  $O_2$  gas for oxide films and  $BH_3$  and  $BCl_3$  for borides.

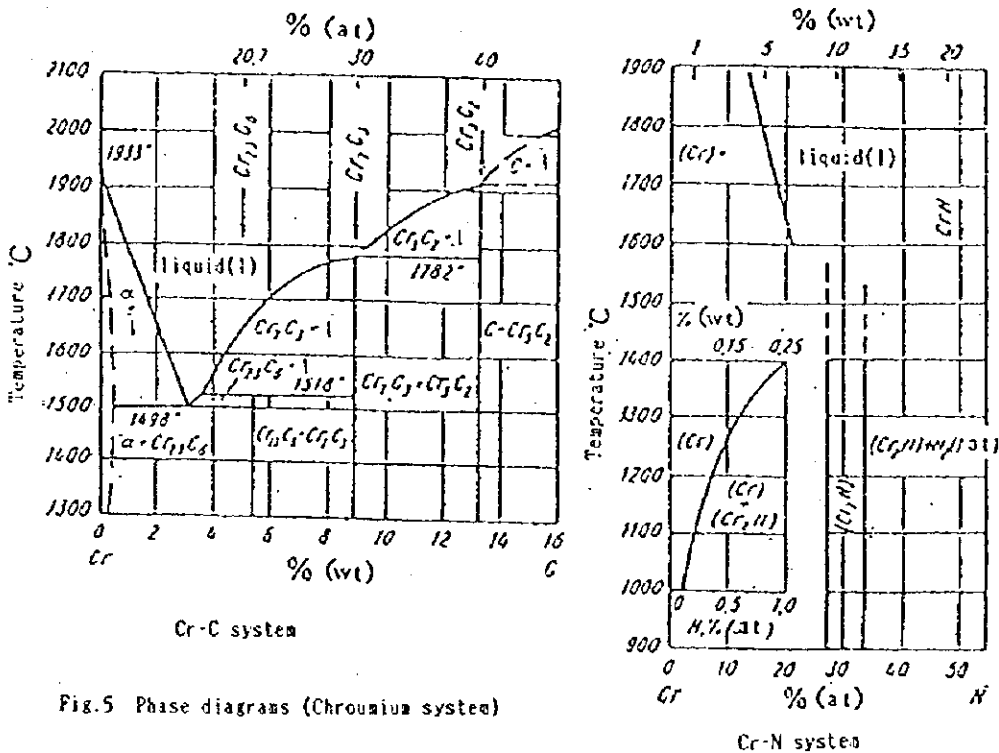


Fig.5 Phase diagrams (Chromium system)

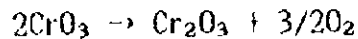
## 9. CHEMICAL DENSIFIED COATING AND OTHER PROCESS

### 9.1 Chemical densified coating(CDC)

This process utilizes the chemical(thermal) decomposition to coat the porous structural ceramic films and to densify them. The example of the coating

of chromium oxide is explained as follows:

Anhydrous chromic oxide is dissociated by heat. The reaction can be described as follows.



$\text{Cr}_2\text{O}_3$  is deposited by this reaction. In practical uses, the substrate is coated by  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  compound called 'base coat' at the thickness of about 30~100  $\mu\text{m}$ , chromium acid solution as binder is added into the film and heated. As results, the ceramic film of more than 1200~1300Hv can be coated. Even if the base coat is not used, a thin  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  film can be coated.

This is one of the best and prospective surface modifications in the point of making use of good properties of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Such a ceramic coating by chemical thermal decomposition will advance the surface modification technology further.

## 9.2 Carbides coating and boride coating

process by molten salt

When materials containing carbon are immersed into molten neutral or borax salts into which carbide forming elements are added as powder, carbide films forms on material substrate surfaces. And the treatment in boron containing molten saits leads to the formation of  $\text{FeB}$  or  $\text{Fe}_2\text{B}$  whose hardness is 1800 ~2100  $\text{kg/mm}^2$ . This process enables low grade steels to have high wear resistance, heat resistance and corrosion resistance. Composite films such as V-Nb-C and Ti-V-C can be produced by this process. The disproportionation reaction is considered as the main mechanism.

## 9.3 Spray coating

This process such as high temperature plasma spray coating, explosion spray coating and so on requires high temperature or energy. They are not suitable for ceramics decomposing easily at elevated temperatures. Ceramic films are inclined to be porous, as the melting points are generally high. If this tendency is taken into consideration, the process has no problem for ceramic coatings. Low pressure spray coating inhibits the change of components by oxidation. A bit of binder are applicable to improve the adhesion, when the

mixture does not hinder the properties of ceramics. But in this case the problem of pore remains unsolved sometimes.

#### 9.4 Composite plating

Ceramics such as SiC, WC, TiC, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are dispersed in plating metal e.g. Nickel, which results in the improvement of wear resistance. nickel plating dispersed SiC is put into practical use.

#### 9.5 Sol-Gel process

Metal alkoxide sol such as Al(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>3</sub>, Al(OC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>3</sub>, Ti(OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>4</sub> and so on painted on materials becomes thin films through thermal decomposition and hydrolysis. The calcination temperature depends on the properties of produced films and is about 100~1100 °C.

Table 5 Coefficients of thermal expansion  $\alpha$  [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]

element	nitride	carbide	oxide
Ti (0-100°C) 8.9	TiN (-180-27°C) 3.02-4.76	TiC (25-1000°C) 7.95-8.58	TiO <sub>2</sub> (20°C) 7.5 Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20°C) 9.0
Zr (0-100°C) 4.4	ZrN (-180-27°C) 4.09-4.62	ZrC (25-1000°C) 7.01-7.42	ZrO <sub>2</sub> (20°C) 8.8
Hf (0-100°C) 6.0	HfN (20-1000°C) 6.9	HfC (20-1000°C) 6.80-7.13	HfO <sub>2</sub> (20°C) 3.8
V (0-100°C) 8.3	VN (-180-27°C) 9.2	VC (25-1000°C) 7.25-7.45	-----
Ta (0-100°C) 6.5	TaN (20-700°C) 3.6	TaC (25-1000°C) 6.50-7.12	-----
Nb (0-100°C) 7.2	NbN (20-1000°C) 10.1	NbC (25-1000°C) 6.88-7.25	-----
W (0-100°C) 4.5	-----	WC (25-1000°C) 3.84	WO <sub>2</sub> (20°C) 2.6 WO <sub>3</sub> (20°C) 16.4
Al (0-100°C) 23.5	AlN (20-300°C) 4.8	-----	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20°C) 5.4
Cr (0-100°C) 6.5	CrN (20-800°C) 2.3	Cr <sub>7</sub> C <sub>3</sub> (20-1000°C) 9.4	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (20°C) 8.8
B (20°C) 4.7	$\alpha$ -BN (20°C) 1.8	B <sub>4</sub> C (20°C) 4.5	-----
Si (0-100°C) 9.6	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> (20-1000°C) 2.75	$\beta$ -SiC (25-1000°C) 4.7	SiO <sub>2</sub> (20°C) 10.3

## 10. POINTS AND CHARACTERISTICS FOR APPLICATION

These processes mentioned above are generally applicable to various material substrates. But one has to pay attention to softening temperatures of substrate, their elasticity and the difference in thermal expansion between substrates and coated ceramics, which is needed for ceramic coatings at elevated temperatures. For the purpose undercoating is often required. (Particularly for the coating on metal surfaces). And the thicker films grow, the larger the effect of thermal expansion becomes. Thermal expansion of various ceramics are summarized in Table 5.

Secondly special precautions for substrate will be mentioned below. For steels multilayer coatings are sometimes needed. For aluminium one must pay attention to the oxide surface film and softening, but anode oxide films are

Table 6 Properties and application of various nitrides

nitrides	properties					application
	density (g/cm <sup>3</sup> )	melting point (°C)	specific resistance ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	micro- hardness (kg/cm <sup>2</sup> )	coefficient of thermal expansion ( $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	
TiN	5.44	2900   3200	.22   130	1800   2100	[ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ] 9.35	wear resistance, cutting tool, die ornaments, cases for watches
TaN	14.1	2980   3360	135	1060	3.6	wear resistance, cutting tool, ornaments
AlN	3.25   3.30	decomposition 2200   2300	$2 \times 10^{17}$	1,225   1,230 (KH)	5.0	heat resistant insulator ultrahard-heat resistant structural materials
BN	2.15 3.48     2.27 3.49	decomposition 2720   3000	$1.7 \times 10^{19}$	4700	4.8	heat resistance, corrosion resistance diecast, insulation electronic materials thermal conductivity
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3.18   3.19	decomposition 1900	$>10^{19}$	2670   3,260	2.75	heat resistance
HfN	13.94	3300   3,307	32	1,500   1,700	6.9	corrosion resistance
NbN	8.26   8.4	2050	200	1,400	10.1	electric conductance electric tube for sending images



often applicable. For copper alloys, the low temperature treatment is suitable because of softening. And for plastics the anchor effect and low temperature treatment are required to get the good adhesion.

If all these points are considered enough, ceramic coating is able to be universal. It is expected that the processes will be developed by the study on the properties of produced films.

## 11. PROSPECTS FOR THE FUTURE

Various properties and new performance of new ceramics or artificial ceramics has been found, which made this technology more applicable as performed

Table 7 Properties and application of various carbides

carbides	properties					application
	density (g/cm <sup>3</sup> )	melting point (°C)	specific resistance (Ω·cm)	micro-hardness (kg/mm <sup>2</sup> )	coefficient of thermal expansion (10 <sup>-6</sup> /°C)	
TiC	4.85	3,180	70	2,900	6.4	wear resistance, heat resistance, cutting tool, ceramics tools
	4.93	3,250	173	3,200		
WC	15.6	2,627	53	2,400	3.7	wear resistance, heat resistance, hard metal tools (WC-Co)
	15.7	2,900				
TaC	14.48	3,740	20	1,800	5.6	wear resistance, ceramics tools, heat resistance, cermet tools
	14.65	3,880	175			
B <sub>4</sub> C	2.50	2,350	0.3	2,400	4.8	wear resistance, neutron absorber
	2.54	2,470	0.8	3,700		
SiC	3.21, 3.22	decomposition	10 <sup>9</sup>	3,000	3.3	wear resistance, heat resistance, corrosion resistant high grade materials for furnaces
		2,200	10 <sup>11</sup>	3,500		
HfC	12.20	3,885	60	2,533	4.9	heat resistance
	12.70	3,890		3,202		
ZrC	6.44	3,175	50	2,600	4.0	heat resistance, heat resistant alloys
	6.9	3,540	64			
VC	5.36	2,300	150	2,800	6.2	wear resistance
	5.77		160			

surface, modified surface, composite surface and functioned surface. For example, the practical applications of nitride and carbide films are shown in

table 6 and 7. As some coating processes such as ion plating(containg reactive one) can produce nonequilibrium phases on the surface, application fields will expands more and more.

It is expected in future that new function materials by ceramic coating such as semi-conductor, metallic materials, ceramics and plastics will be investigated and developed, and that new thin films such as ultrafine particle films, amorphous films, superconducting films and diamond films will be developed, and that structural materials on which corrosion resistive, heat resistive, wear resistive films are formed will be developed.

## 12 CONCLUSION

New ceramic coating processes will be developed as one of technical innovations and give dreams and hopes to the engineer of material science. And they will introduce diversified and complex technology to our industrial world.

The author hopes that ceramics and new ceramics coating technology in this review will lead not only to the surface modification, but also to the development of new films and composite and to the new application.

## REFERENCES

- (1) Compilation of of technology of ceramic materials (The Center of Industrial Technology, 1979),p.534-535
- (2) T.Oki: Fundamentals and the process tecnology of ion plating,"Recent ion plating technology and the application" seminar(Information of Research and Technology center,1985),P.17,18
- (3) K.Sugiyama: J.Met.Finish.Soc.Jpn.,35(1984),538;Nanba:J.Met.Finish.Soc.Jpn.,35(1984)572
- (4) T.Oki,K.Kim et al:J.Met.Finsh.Soc.Jpn.,35(1984)692
- (5) T.Oki : Film characteristics of TiN ion plating, Proc.7th ICVM, 1982(Tokyo)110
- (6)T.Oki et al: J.Met.Finish.Soc.Jpn.,35(1984)242

- (7)T.Oki: Jitsumu Hyoumen Gijutsu,31(1984)172
- (8) S.Nomura et al;Jitsumu Hyoumen Gijutstu,32(1985)42
- (9)T.Oki,T.Cho: Bullet.Met.Soc.Jpn.,22(1983)723
- (10) Diamon film formation by CVD utilizing electron impact. The section meeting of new materials-ion plating,3(1985)8
- (11)S.Kuwano: J.Met.Finish.Soc.Jpn.,36(1985)458



# Survey of Carburizing

Yoshiyuki SAITA

## Introduction

Essential requirements for machine parts such as shafts, cams, gears, crankshafts and so on, are

- High hardness to resist wear
- Good toughness to resist impact load
- High fatigue strength to sustain repeated stresses

However, hardness and toughness are usually contradictory each other with a steel; the higher the hardness, the lower the toughness is. Carburizing is one of the effective solution by which these two contradictory requirements can be fulfilled at the same time. In addition to this, compressive residual stresses are induced to the surface layer after carburizing, which improve fatigue strength of the part significantly.

In principle, carburizing is a heat treatment in which carbon introduces into the surface layer of a solid ferrous alloy by heating to and holding at a temperature above  $A_{c1}$  in contact with a suitable carbonaceous material. The parts to be carburized are usually made of low carbon steel with the carbon content up to 0.25%. After carburizing, the parts are quenched to form martensite, and then tempered at a temperature 100 to 200°C.

Carburizing can be classified into 3 groups; pack carburizing, liquid carburizing and gas carburizing depending upon the carbonaceous material to be used.

### 1. Pack carburizing

#### 1.1 Carburizing agent (compound)

Carburizing agent used in pack carburizing consists of hardwood charcoal of 6 to 8 mesh or 3 to 5 mm in size and  $BaCO_3$  or/and  $Na_2CO_3$  as an energizer.

#### 1.2 Facilities

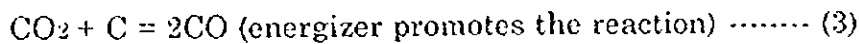
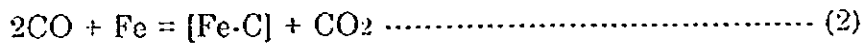
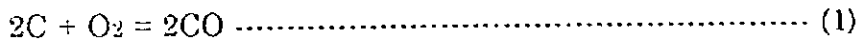
- Furnace ----- ordinary air furnace of any type
- Container ----- cylindrical or box-type container with a lid made of mild steel, aluminized mild steel or heat resisting steel

#### 1.3 Working procedure

(1) Degreasing

- (2) Packing the work pieces and compound into a container
- (3) Heating to and holding at a temperature 850 ~ 950°C
- (4) Cooling down to room temperature
- (5) Unpacking and separating the work pieces from compound
- (6) Reheating the work pieces and quenching
- (7) Tempering at 100~200°C

### 1.4 Carburizing reactions



### 1.5 Important factors

#### 1.5.1 Case depth

Case depth (depth of carbon penetration) is primarily determined by the time and temperature of carburizing process. It can be estimated by using Harris's empirical equation.

$$\text{Total case depth (mm)} = \frac{803 \sqrt{t}}{10^{(3722/T)}} \dots\dots\dots (4)$$

where  $t$  is carburizing time in hour,  $T$  is carburizing temperature in degree Kelvin.

The equation can be rewritten as

$$\text{Total case depth (mm)} = k \sqrt{t} \dots\dots\dots (5)$$

and the  $k$  values are given in Table 1 for each carburizing temperature.

Table 1 The  $k$  value for calculating case depth.

Temp.(°C)	850	875	900	925	950
k	0.389	0.460	0.539	0.628	0.727

For example, total case depth after carburizing at 900°C are estimated as follows.

Carburizing time (hr)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Total case depth (mm)	0.35	0.54	0.76	0.93	1.08	1.21

### 1.5.2 Surface carbon content

In pack carburizing, the surface carbon content depends on the amount of energizer and carburizing temperature as shown in Fig.1 and Fig.2. Surface carbon content higher than about 1.0% results in a precipitation of cementite in network during slow cooling from carburizing temperature, which remains as it was after quenching and embrittles the carburized layer very much. Therefore, the surface carbon content is usually controlled in the range from 0.8% to 1.0% for many carburized parts.

To attain this, the percentage energizer from 10 to 20% and carburizing temperature from 850 to 950°C are recommended in pack carburizing.

### 2.5.3 Packing work pieces and compound into container

Intimate contact between compound and work piece is not necessary; however, when properly packed, the compound will provide good support for the work piece. The layer of compound surrounding the work must be heavy enough to maintain a high carbon potential during the entire cycle, but not so heavy as to unduly retard heating of the workpiece to carburizing temperature.

Firstly, a layer of compound from 13 to 50mm deep is placed in the empty box. The parts and compound are then stacked layer by layer into the container. After packing of a top layer of compound of about 50mm thick, the lid is put in place. The lid must be tight

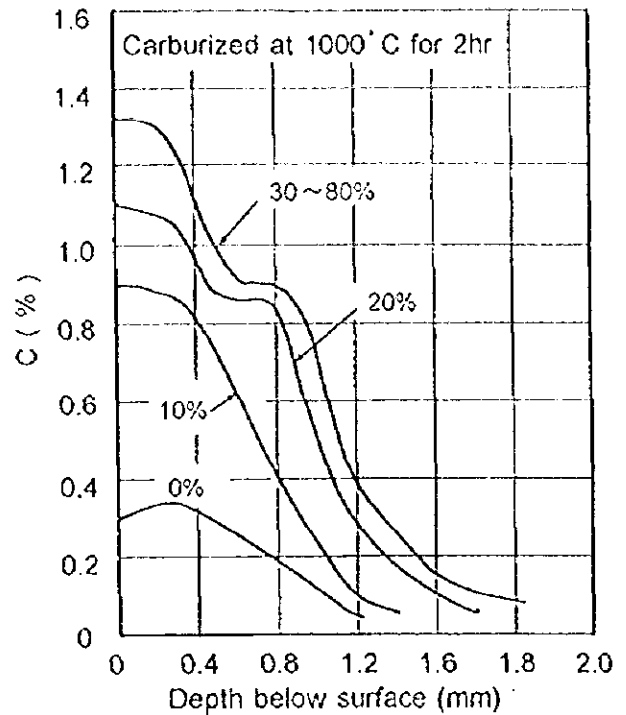


Fig.1 Effect of amount of energizer on carbon gradient in pack carburizing.

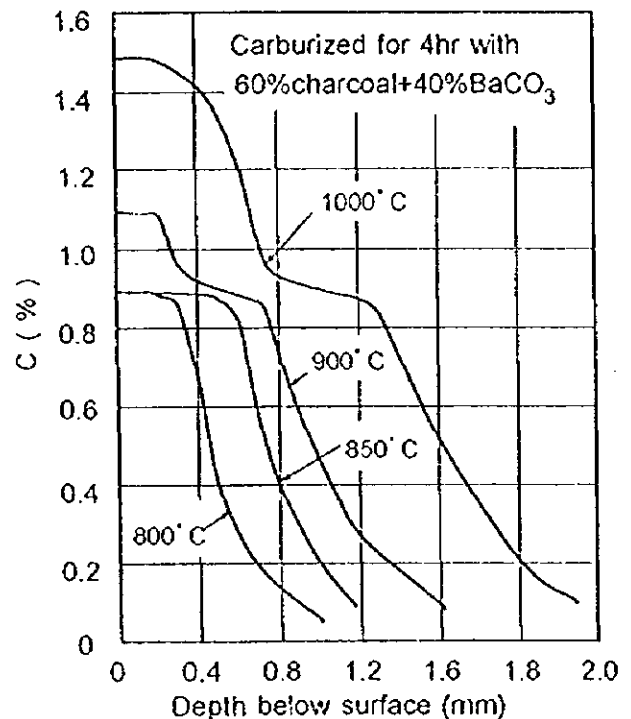


Fig.2 Effect of temperature on carbon gradient in pack carburizing.



enough to prevent air from burning the compound, yet not so tight as to prevent easy expulsion of excess gas generated within the container. Lids that fit too loosely can be sealed with clay-based cement.

#### 1.5.4 Advantages and disadvantages

##### ● Advantages

- (1) Lowest facilities and running cost.
- (2) A large variety of furnace can be used.
- (3) It is efficient and economical for carburizing of small lot of parts or of large, massive parts.
- (4) Slow-cooling from a carburizing temperature is advantageous for the parts that are to be finish machining after carburizing and before hardening.

##### ● Disadvantages

- (1) Strict controll of case depth, surface carbon content and carbon gradient are difficult.
- (2) It is not suited for direct quenching.
- (3) Large weight of packing material and of the container reduces heating and cooling rates. As the result, more time is required for processing and productivity is very low.
- (4) Because of the nature and particle size of the compound used, carburizing processes are dusty and inconvenient to work with.

## 2. Liquid Carburizing

### 2.1 Carburizing agent

Carburizing agent used in liquid carburizing is a salt mixture of NaCN and BaCl<sub>2</sub>, NaCl, KCl, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, etc.

### 2.2 Facilities

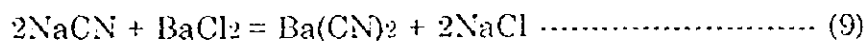
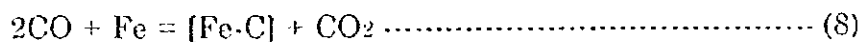
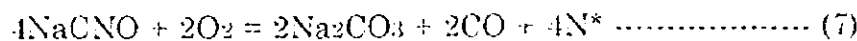
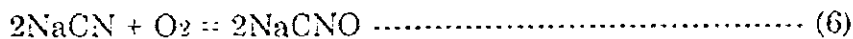
- Furnace ----- Internally or externally heated salt bath furnace
- Others ----- A pot made of mild steel or heat resisting steel is required for externally heated salt bath furnaces

### 2.3 Working procedure

- (1) Degreasing
- (2) Wiring or setting workpieces to a holding fixture
- (3) Preheating

- (4) Dipping and holding the workpiece into carburizing salt at 800~900°C
- (5) Quenching
- (6) Tempering at 100~200°C
- (7) Washing for salt removal

## 2.4 Carburizing reactions



## 2.5 Important factors

### 2.5.1 Carbon and nitrogen contents of the case

When steel is heated in a cyanide containing salt bath, both carbon and nitrogen penetrate into the surface of steel. The penetration rates of carbon and nitrogen depend on the operating temperature; nitrogen penetrates faster than carbon at a temperature below  $A_1$  and *vice versa* above  $A_1$ . Fig.3 shows the gradients of carbon and nitrogen as a function of operating temperature in liquid carburizing. At 500~650°C, the case contains more nitrogen and less carbon. Thus, the process is referred to as "liquid nitriding" or "nitrocarburizing" in contrast to "liquid carburizing" at a temperature above  $A_1$ . Nitrogen improves the hardenability and wear resistance of the case and offers an additional advantage to liquid carburizing.

### 2.5.2 Cyanide content of the bath

Cyanide content of the bath is important factor affecting the running cost and the surface carbon content obtained. From economical and metallurgical reasons, the following cyanide contents are recommended depending on the operating

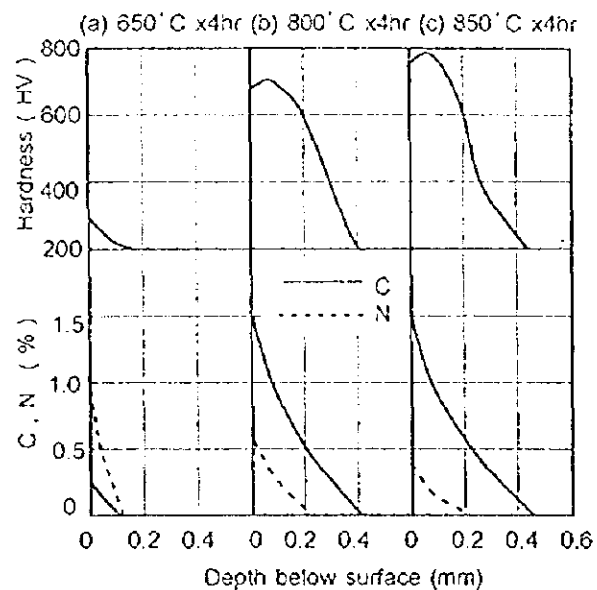


Fig.3 Effect of temperature on the gradient of C, N and hardness after liquid carburizing.

temperature.

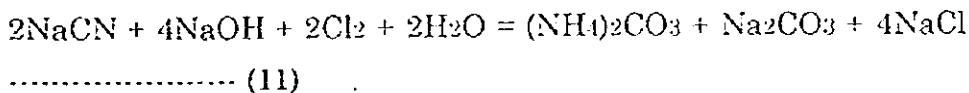
Operating temperature(°C)	NaCN(%)	Case depth
800 ~ 900	10 ~ 25	Light case
900 ~ 930	5 ~ 15	Deep case

The surface carbon content obtained in these bath will be approximately eutectoid (0.8%) to 1.2%. Fig.4 shows the typical examples of carbon gradients of a carbon steel liquid carburized in a low cyanide bath. Sodium cyanide content in the bath must be periodically checked by chemical analysis or thin foil method.

### 2.5.3 Disposal of cyanide wastes

Cyanide wastes must be chemically altered to render it nonpoisonous before they are discharged. The simplest treatment consists of oxidizing the cyanide in alkaline solution either with chlorine gas or with hypochlorite compound.

After dissolving cyanide wastes in water of pH higher than 8.5, chlorine gas or sodium hypochlorite is added under aeration. Cyanide is altered to non-poisonous carbonate and chloride due to chemical reactions below.



### 2.5.4 Advantages and disadvantages

#### ● Advantages

- (1) Very suited for thin case and small lot of various items.
- (2) Excess carburizing is hard to occur.
- (3) Direct quenching is quite easy to carry out.
- (4) Case depth can be controlled very closely by adjusting the dipping time.
- (5) Nitrogen improves hardenability and wear resistance of the case.
- (6) Low in facility cost.

#### ● Disadvantages

- (1) Facilities for waste cyanide treatment is required.

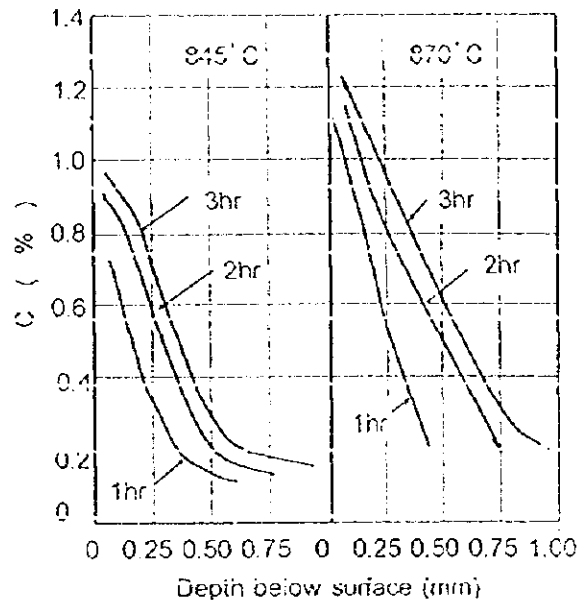


Fig.4 Effect of temperature on carbon gradient in liquid carburizing.

- (2) Special precaution should be paid in handling cyanide.
- (3) Selective carburizing is difficult to apply.
- (4) Salt removal from oil-quenched parts of complicated shape is difficult and increases the labor cost.

### 3. Gas Carburizing

#### 3.1 Carburizing agent

- Generator type gas carburizing

In generator type gas carburizing, prepared gas from saturated hydrocarbon such as natural gas (  $\text{CH}_4$  ), propane (  $\text{C}_3\text{H}_8$  ), butane (  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  ) etc. is used as a carrier gas and a small amount of enriching raw gas is added to the carrier gas.

- Drip-feed type gas carburizing

In drip-feed type gas carburizing, organic liquid such as methyl alcohol (  $\text{CH}_3\text{OH}$  ), isopropyl alcohol (  $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$  ), methyl acetate (  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$  ) etc. is directly fed into a carburizing furnace.

#### 3.2 Facilities

##### 3.2.1 Carburizing furnace

In general, furnace to be used for gas carburizing should be as gastight as possible since a positive pressure should be maintained within the furnace during entire cycle of carburizing. It must be equipped with a fan to circulate carburizing gases. Although a wide variety of furnaces are used for gas carburizing, they are classified into two groups in accordance with the type of operation, batch furnace and continuous furnace.

- Batch furnace ----- pit-type, horizontal-type, rotary-retort type etc.

- Continuous furnace ----- pusher-type, shaker-hearth type, belt-type etc.

##### 3.2.2 Gas generator

Gas carburizing used a raw hydrocarbon gas as the principal source of carbon requires some type of carrier gas to dilute the hydrocarbon gas. Endothermic gas is one of the preferred type of carrier gas for use in gas carburizing and is most widely used. Fig.5 is a schematic flow diagram of an endothermic gas generator.

In generation endothermic gas, hydrocarbon gas and air are metered in proportions that only sufficient oxygen is admitted to form carbon monoxide and hydrogen, without any excess for the formation of carbon dioxide or water vapor. After being compressed slightly, the air-gas mixture is passed through a fire check valve to the

heated catalyst, which is contained in a pressure-tight retort. The retort is externally heated to approximately 1050°C. After passage over the catalyst, the gas is quickly chilled to below 315°C in a water jacket surrounding the top of the retort, thus preventing the reaction from reversing and forming carbon and carbon dioxide from carbon monoxide,  $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$ . The prepared endothermic gas is fed to a carburizing furnace along with a small amount of enriching gas.

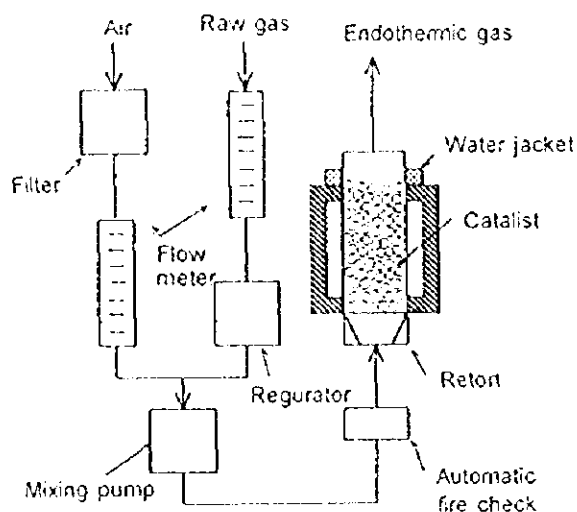


Fig.5 Schematic flow diagram of endothermic gas generator.

In contrast to generator-type gas carburizing, drip-feed type gas carburizing does not require any gas generator: organic liquid is directly fed in droplet form to a target plate in the carburizing furnace, where it volatilizes almost instantaneously. The vapors dissociate thermally to provide a carburizing atmosphere containing carbon monoxide, hydrogen, methane, carbon dioxide and water vapor.

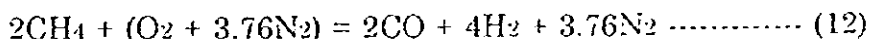
### 3.3 Working procedure

- (1) Setting the parts to jigs and fixtures
- (2) Degreasing
- (3) Carburizing
- (4) Direct quenching
- (5) Tempering

### 3.4 Chemical reactions

#### ● Preparation of endothermic gas

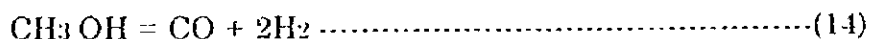
##### From methane and air



##### From propane and air



#### ● Dissociation of methyl alcohol in drip-feed type gas carburizing



The reaction (12), (13) or (14) does not take place stoichiometrically but small

amount of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O occur as the reaction products as is shown in Table 2. The amount of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O should be controlled precisely since they affect the carburizing ability (carbon potential) of a gas within a carburizing furnace significantly.

Table 2 Examples of composition of endothermic gas and dissociated gas (vol %)

Raw material	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
Natural gas (CH <sub>4</sub> )	19.8	40.4	39.0	0.1	0.2	0.5
Propane (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	24.0	33.4	41.3	0.3	n.d.	0.4
Methyl alcohol (CH <sub>3</sub> OH)	32.3	65.4	.....	0.3	1.0	0.7
Isopropyl alcohol (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH)	19.4	78.8	.....	0.1	0.7	1.0

### 3.5 Important factors

#### 3.5.1 Carbon potential of furnace atmosphere

In thermodynamic terminology, the carbon potential would be defined as the partial molal free energy of carbon. However, it is customary in heat treatment to identify carbon potential with carbon content of iron. The carbon potential of gaseous mixture at a certain temperature is then defined as the carbon content of iron in equilibrium with that atmosphere at that temperature. In gas carburizing, carbon is transferred from the furnace atmosphere surrounding the steel part to the part surface when the carbon potential of furnace atmosphere is higher than the steel carbon content. If during carburizing the atmosphere carbon potential should fall below the carbon content at the steel surface, carbon will be removed from the steel. Thus, the carbon potential of furnace atmosphere should be measured and controlled precisely during entire process of gas carburizing to provide the part being processed with a required surface carbon content and the carbon gradient below surface.

#### 3.5.2 Control of carbon potential

Traditionally, control of carbon potential of carburizing gas has been achieved, in principle, by measuring either carbon dioxide concentration, water-vapor concentration (dew point) or oxygen partial pressure.

##### (1) Carbon dioxide concentration method

The principle of carbon-potential control by this method is based on the following reaction.



The equilibrium constant for reaction (15),  $K_1$ , is given by the relationship:

$$K_1 = \frac{a_C P_{CO_2}}{(P_{CO})^2} \quad (16)$$

where  $a_C$  is activity of carbon and  $P_{CO_2}$  and  $P_{CO}$  are the partial pressures of  $CO_2$  and  $CO$ , respectively. The expression:

$$a_C = K_1 \frac{(P_{CO})^2}{P_{CO_2}} \quad (17)$$

can be derived from equation (16). The quantity  $a_C$  is related to the carbon potential by the equilibrium relationship shown in Fig.6, where  $a_C$  is plotted against weight percentage of carbon in austenite for various temperature between 815 and 1040°C. Because  $K_1$  is temperature-dependent only and  $P_{CO}$  remains essentially constant in a particular carburizing gas atmosphere, the carbon potential may be controlled by measuring and varying the  $P_{CO_2}$ .

Actually, the amount of carbon dioxide in a furnace atmosphere is analyzed and monitored by using infrared analyzers, and controlled to the required carbon potential by using the established relationship between amount of  $CO_2$  and carbon potential which is shown in Fig.7. Infrared analysis of carbon dioxide is considered to be the most accurate method for controlling carbon potential and is the most widely used.

**(2) Water-vapor concentration (dew point) method**

The principle of control of carbon potential by control of  $H_2O$  vapor pressure

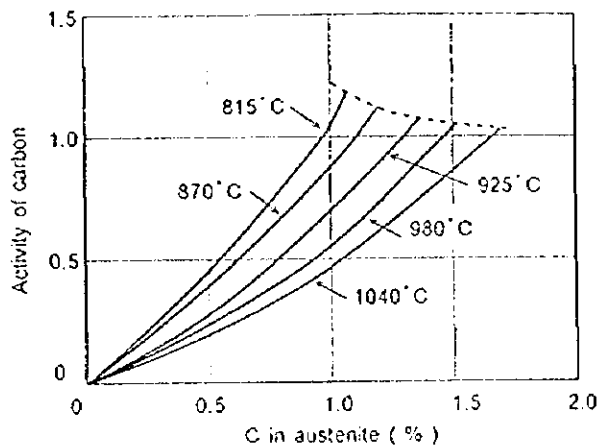


Fig.6 Relationship between activity of carbon and carbon content of austenite at various temperature.

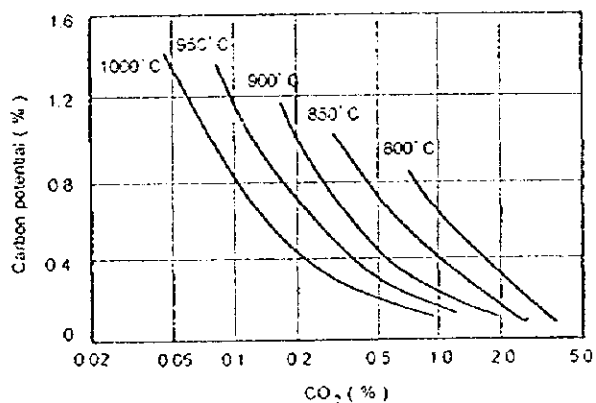
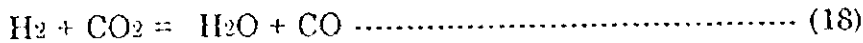


Fig.7 Relationship between amount of  $CO_2$  and carbon potential for endothermic gas from propane.

(dew point) can be demonstrated easily by consideration of the following reaction.



The equilibrium constant for equation (18),  $K_2$  is given:

$$K_2 = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{CO}}}{P_{\text{H}_2} P_{\text{CO}_2}} \dots\dots\dots (19)$$

and following expression for  $P_{\text{CO}_2}$  may be derived from equation (19)

$$P_{\text{CO}_2} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{CO}}}{K_2 P_{\text{H}_2}} \dots\dots\dots (20)$$

Substitution of the right side of equation (20) for  $P_{\text{CO}_2}$  in (17) gives

$$a_c = K_1 K_2 \frac{P_{\text{CO}} P_{\text{H}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}} \dots\dots\dots (21)$$

Because  $K_1$  and  $K_2$  are temperature dependent only and  $P_{\text{CO}}$  and  $P_{\text{H}_2}$  remain essentially constant in the carburizing atmosphere, the carbon potential can be controlled in principle by controlling the vapor pressure of  $\text{H}_2\text{O}$  (dew point). Dew point of a carburizing gas is measured by either manually operated instruments such as dew cup and fog chamber or automatic instruments.

The simplest and cheapest instrument for measurement of dew point is the dew cup, of which elements being shown schematically in Fig.8. The gas sample is drawn from the furnace or generator into the outside chamber of a polished cup made of chromium-plated copper. The cup surface is cooled progressively by dropping small pieces of dry ice in acetone or methyl alcohol inside the cup until dew point is reached, as indicated by condensation on the cup surface at a temperature indicated by a

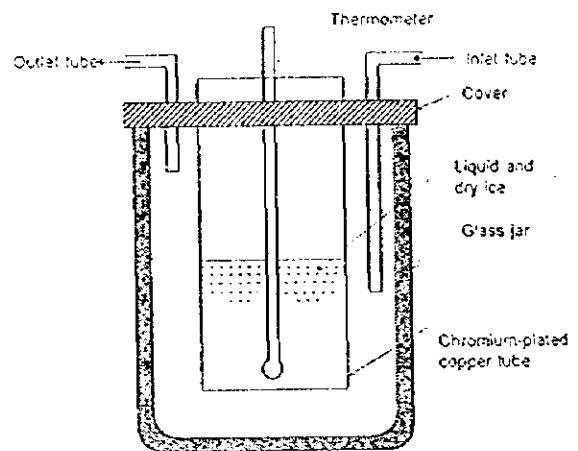


Fig.8 Elements of dew cup apparatus.

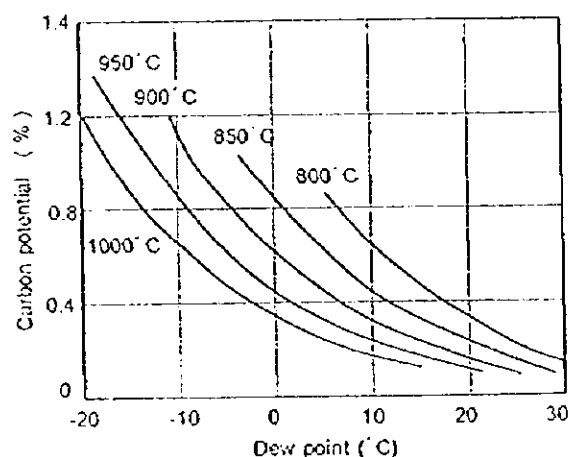


Fig.9 Relationship between dew point and carbon potential for endothermic gas from propane.



thermometer in the acetone. From the measured dew point, the carbon potential of the carburizing gas can be known by using the established relationship between dew point and carbon potential, Fig.9.

**(3) Oxygen partial pressure method**

The principle of control of carbon potential by control of oxygen partial pressure can be demonstrated easily by consideration of the following reaction.



Under the equilibrium conditions, the equilibrium constant for the equation (22),  $K_3$ , is given by the relationship:

$$K_3 = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}P_{\text{O}_2}^{1/2}} \dots\dots\dots (23)$$

and following expression for  $P_{\text{CO}_2}$  may be derived from equation (23):

$$P_{\text{CO}_2} = K_3 P_{\text{CO}}P_{\text{O}_2}^{1/2} \dots\dots\dots (24)$$

Substitution of the right side of equation (24) for  $P_{\text{CO}_2}$  in equation (17) gives:

$$a_C = \frac{K_1 P_{\text{CO}}}{K_3 P_{\text{O}_2}^{1/2}} \dots\dots\dots (25)$$

Because  $K_1$  and  $K_3$  are temperature-dependent only, and  $P_{\text{CO}}$  remains essentially constant in the carburizing gas, the carbon potential can be controlled, in principle, by controlling the partial pressure of oxygen.

The partial pressure of oxygen can be determined by using the oxygen probe, of which elements are shown schematically in Fig.10. An oxygen probe usually consists of two platinum electrodes

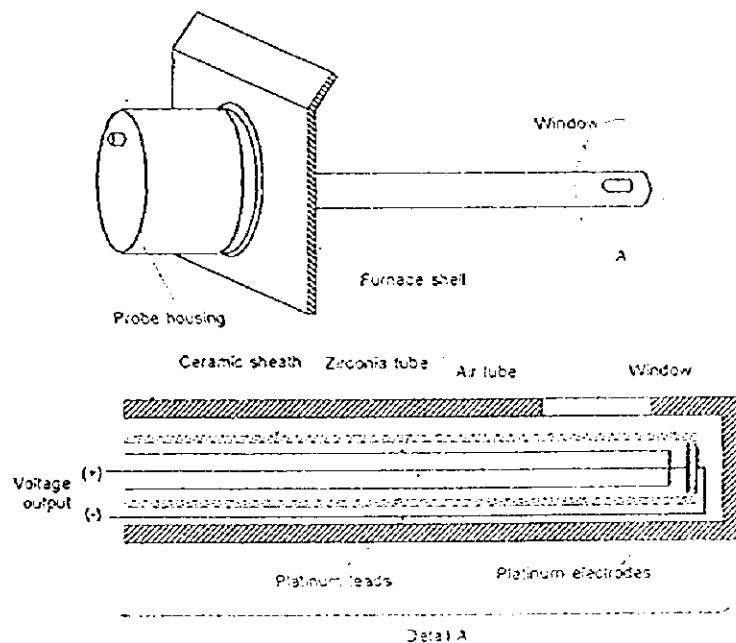


Fig.10 Elements of a typical oxygen probe for measuring oxygen partial pressure.

separated by a solid electrolyte in the form of a gas-tight zirconia tube closed at one end. The probe, which usually is enclosed in a ceramic sheath, is inserted into the furnace. The furnace atmosphere enters the probe through a window in the sheath and contact the outer electrode. The other electrode, inside the zirconia tube, is in contact with air, which serves as a reference gas of constant oxygen content. The difference between the partial pressure of oxygen in the furnace atmosphere and that in air induces an electromotive force (voltage), or emf, across the electrodes. The partial pressure of oxygen in the furnace atmosphere is determined by the voltage output (emf) of the sensor. Thus, carbon potential can be controlled by controlling the temperature in the furnace and the voltage output of the sensor, because, as shown in Fig.11, an isothermal relationship exists between carbon potential and the emf of the sensor.

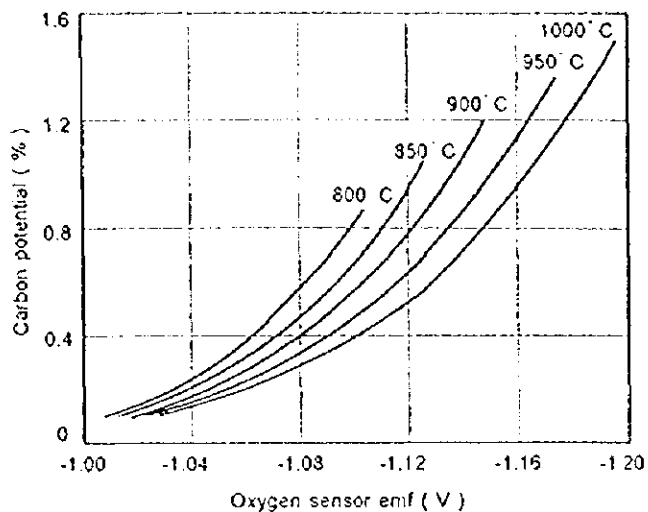
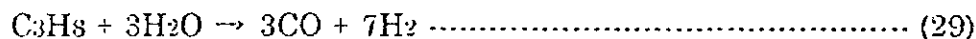
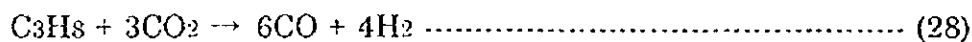
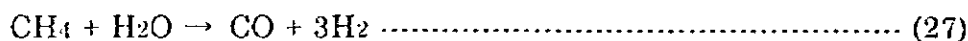
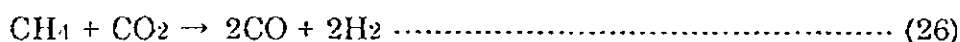


Fig.11 Relationship between emf of oxygen sensor and carbon potential for endothermic gas from propane

#### (4) Control of carbon potential

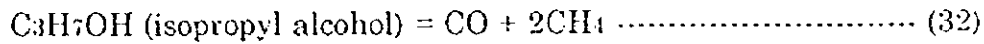
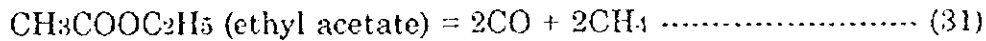
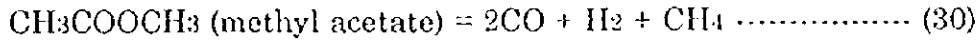
The actual carbon-potential control in generator type gas carburizing is usually carried out by varying the flow rate of the hydrocarbon enrichment gas and maintaining a steady flow of endothermic carrier gas. For example, methane or propane enrichment to an endothermic carrier gas increases the concentration of CO in the furnace atmosphere by reactions such as:



which reduce the concentrations of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O, respectively. These reactions regenerate CO, thereby directing the reaction 2CO = C (in Fe) + CO<sub>2</sub> to the right.

On the other hand, carbon-potential control in drip-feed type gas carburizing is achieved by varying the flow rate of enrichment gas or liquid. An enrichment liquid such as methyl acetate, ethyl acetate, or isopropyl alcohol fed into

carburizing furnace dissociates thermally to provide methane by the reactions:



which increases carbon potential of the furnace atmosphere.

### 3.5.3 Advantages and disadvantages

#### ● Advantages

- (1) Surface carbon content and carbon gradient in carburized layer can be controlled easily and strictly.
- (2) It is the most efficient and economical for carburizing of large lot of small to medium size parts.
- (3) Automated processing is easy to perform.

#### ● Disadvantages

- (1) Highest in facility cost.
- (2) It is not economical for carburizing of small lot of parts.
- (3) It requires extensively trained or experienced personnel for successful operation.





