解 説

UDC 669.14.018.23:621.9.011

切削加工用材料並びに切削加工技術の将来

岩 田 一 明*

Future of Materials and Technique for Machining

Kazuaki Iwata

1. ま え が き

「西暦2000年までに切削加工用材料並びに切削加工技術がどのように変遷するかをCIRP（国際生産加工研究者会議）の技術予測をもとに解説してほしい」というご依頼を編集にたずさわられた方々からうけたまわった。CIRPの技術予測については小生も関心を寄せていたところであるし、著名な方々による解説もすでに2、3発表されているところでもあるので、さほど苦にならず書けるのではないかと比較的簡単にお引き受けしてしまった。ところがである。いざ書き始めようと想を練り出したところ、これは何と大変な仕事で、小生のような浅学の者では任に耐えられそうにもないことに気がついた。それは、一口に切削加工技術といっても思考の背景には第1図に示すように対象となる材料予測、産業形態の変遷と発展、またそれ以前の問題として人間の欲望の変化、人間の心理構造、社会構造の変遷、さらには、自然環境の変化と人間の調和と多種多様かつ複雑な問題が幾多横たわっており、予測あるいは推測を行なうには、いわゆる未来学を丹念に認識、は握のうえ、さらに創造的思考を基礎にした判断が必要であることに思い至ったからである。

このような大それたことが狭い分野の一研究者である小生の手には負えるはずはない。したがってこの小文で責を果させていただく

とするのは切削工学にたずさわる一研究者が、その関連分野の変遷を、あたかも土壌にいた小さな穴を通して樹木に覆われた山の深さを想像するような観点から見たものであることをお断わりしておかねばならない。

昭和47年10月24日受付

*神戸大学工学部教授、工博

第1図 製品製造過程における加工用材料の位置

2. 技術予測の困難さ

技術予測のための手法はこれまで多く開発されてきている。たとえば、ヤンツによると、(1)探究的・客観的手法（いわゆる外挿法）、(2)規範的・客観的手法（ORの線形、非線形計画など）、(3)探究的・主観的手法（ゲーム理論、ヒューリスティック計画など）、(4)規範的・主観的手法（関連樹木法、サイコ・ヒューリスティック計画（ソ連）など）、(5)探究的・システムの手法（関連見取図法、筋書きづくりなど）、(6)規範的・システムの手法（ネットワーク手法など）、があげられている。CIRPで行なわれた技術予測は主として(3)に関連するデルファイ法(Delphi method)で、100人の生産技術の専門家に対してアンケートを行ない、その結果を回答者に知らせ、修正、意見を求め再び、結果（平均値、分散等）を求める方法である。

しかし、ここで注意したいのは、いずれの技術予測の手法をとるにしても、技術レベルの変化が、連続的な場合と不連続的な場合のあることである。たとえば、工作機械の発展は原則的に連続性を保っていると考えられるのに対し、材料の発展は典型的な不連続である。このような不連続の場合には過去から現在への延長として未来を推測できない突然変異的な開発、発明が期待される。もし、このような事態が生じると技術予測はあてはずれなものとなる。ここに材料に関する技術予測の困難さが横たわっている。

3. 主要材料の発展

ここでは切削加工用材料の将来を推測する最も重要な背景である材料について概観してみよう。材料の発展を見る場合、材料の諸特性がどの程度の限界まで達するか、あるいはそれともなう新材料の開発はどうなるかという技術限界を対象とする立場と、汎用材料

がどのように発展し、競合していくかをは握する立場と、少なくとも2つの立場があるものと考えられる。

まず、前者に関しては材料を使用する環境の変化があげられよう。20世紀後半に始まった宇宙への旅、深海の探索、新しいエネルギーへの欲求は、極あるいは超への動きとなってあらわれている。すなわち、第1表に示す超高圧、超高温、極低温、超高真空、海水・大気汚染である。これら環境の変化は多くの新しい現象を生み、さらにそれにもなった新材料の開発並びに新しい方向が生じる。中でも、超高圧と高温による人造ダイヤモンドは切削加工材料としても重要なものであり、またボラゾンも鋼研削用材料として注目されるものといえる。さらに、極低温における超電導現象は低抵抗率材料への開発へつながり、また、耐食用材料としては、今後金属・有機ポリマーあるいは金属・無機ポリマーなどの複合材料が脚光をあびてくるものと思われる。

つぎに、汎用材料は21世紀にかけて、鉄鋼、アルミニウム、プラスチックの激しい競合時代に入るのであるといわれ、それぞれの材料のもつ強さ、熱的、電気的、磁氣的諸性質も著しく発展するものと予測されている。たとえば、一例として材料の強さについてみれば、第2図にみるように鉄鋼では高張力鋼の発達が顕著で、2000年には最高1000kg/mm²に達し、一般特殊鋼の常用範囲も150~300kg/mm²のレベルになるであろうと推測されている。このような強度レベルの材料の加工はどのようになるであろうか。この点に関しCIRPの予測はいう。「材料の平均強さは切削加工が困難となるようなレベルまでは増加しない。」果してそうであろうか。

この他、高弾性をもつ粉末複合鋼、Mo、Nb、Wをベースとした耐熱合金、硬質化合物のみで構成される耐熱材料、耐候・耐食鋼、析出硬化型高強度鋼の発

第1表 材料使用の環境の変化

環 境	大きさ(目安)	主 なる 現 象	新 しい 方 向, 材 料
超 高 圧	10万 気 圧	稠密な結晶構造への変化	ダイヤモンド, ボラゾン, 酸化シリコン(コーサイト)等
超 高 温	10,000°C以上	プ ラ ズ マ	プラズマ・エンジン, 核融合反応への期待→耐熱材料
極 低 温	18.5°K 以下	超電導現象, 超流動現象, 完全反磁現象	ニオブスズ合金(4.2°K)等
超 高 真 空	10 ⁻¹⁰ mmHg	常 温 圧 接	高真空中での加工, 凝着防止用材料
大気, 海水汚染	—	腐食, 応力腐食割れ	耐応力腐食Al合金 複合材料(金属・有機ポリマー) (金属・無機ポリマー)

第2図 材料の強さの変遷と予測

第2表 2000年前後における材料技術の予測(アメリカ金属学会未来委員会牧野昇氏の文献による)

年次	材 料	加 工
1990~2000 年	電子計算機による合金の創作 良質伝導耐熱材料 室温での超伝導材料	電解法, 電気泳動法などの成形 宇宙真空の建設 金属くずの回収強化
2000~2100 年	無摩擦ベアリング材 複合材料の優位確立 鋼の材質の分極化 (低炭素鋼と合金鋼)	バクテリア法 原子力エネルギーの活用 宇宙探鉱の実施

し, 特殊な場合を除き大部分の材料の加工は切削によるであろう。すなわち, 今世紀における加工の主体はやはり切削にあるというCIRPの見解もあわせ考えることが必要ではなかろうか。

4. 切削加工技術の進歩

西暦2000年までに切削加工技術への要求がどのように厳密化し, どの程度まで進歩するであろうか。ここでは切削加工用工具に関連をもつ切削加工の精度並びに被削性の予測とばらつきの2面についてみてみたい。

4.1. 切削加工における限界精度

CIRPの技術予測は切削加工における限界精度が1980年には一桁上昇するであろうとのべている。限界精度は第3図にまとめられているように1775年ウィルキンソンの中ぐり盤の開発以来, 年とともに顕著な向上を見せ, 現状ではフィリップスの精密旋盤による 0.1μ のレベルまで到達している。その間にあって精度曲線は一つの折点をもっているように考えられる。最高到達精度は人間が作業に関与しない自動化機械の場合には, 図中●印のように約一桁以上低い。しかし, 精度適応制御さらには学習制御へと進むにつれて

達が注目されよう。

ところで, 鉄鋼の使用量は他材料に対し首位を維持できそうというのが大方の見方であるが, アルミニウムを中心とする軽合金, プラスチック, チタン合金の使用割合は増大し, アルミ合金の引張強さは 100kg/mm^2 のレベルに, また, チタン合金は $150\sim 175\text{kg/mm}^2$ 程度が実用の範ちゅうに入るものと推測されている。

このような予測に関連してアメリカ金属学会未来委員会における材料進歩の予測を参考のために第2表にあげておきたい。それによると今世紀末には, 複合材料の発達と鋼の材質の分極化が進み, 加工は機械的エネルギーによる切削によらず新しい他のエネルギーによって行なわれることを示唆している。しか

第3図 切削加工精度(京大星鐵太郎氏の整理されたものを一部加筆修正している)

この差は縮まっていくこととなる。一方、測定精度はタリステップやレーザ干渉計の開発により 0.01μ のレベルに達し、原子、分子の極限に向っている。

図中の直線を外挿すれば1980年における切削加工の精度はCIRPの予測のように確かに一桁向上しそうである。また、2000年にはさらに一桁の向上が期待されることとなる。このことは可能ではなかろうか。最近の超精密加工の分野の進歩を聞くにつけ、より進んだ原子あるいは分子の極限での加工が可能になるのではないかと想像される。

4. 2. 被削性の予測とばらつき

切削加工に影響する因子は100万を越えるとも称されるほど多い。したがって、出力パラメータである被削性すなわち、工具寿命、精度、仕上面品位、生産性などを予測することは極めて困難な問題である。ところが、1990年になるといかなる工具材料、被削材および工作機械の組合せに対しても科学的に正確な予測の方法が確立されるようになるとCIRPという。しかし、このためには、工具材料と被削材料それぞれの諸特性が充分には握されるとともに、工具材料と被削材料との親和性も予測しうようにならねばならない。この段階になると被削材と加工法に適した新しい工具材料の決定が、蓄積されたデータを用いてコンピュータ処理を行なうことにより可能となるかも知れない。

同様にアブレーション加工も1990年には生産性、研削比、精度、仕上面品位などの出力パラメータを科学的に予測する方法が確立されるであろうとCIRPはのべている。

ところで、切削、アブレーション加工とも出力パラメータは現状では非常に大きなばらつきをもっている。同一の工作機械、同一ロットの被削材および工具材を用い、同一の作業者が実験を行なっても繰返し実験にともなう切削工具寿命のばらつきは2～3倍、場合によっては10倍にもおよぶという一例からも明らかである。このようなばらつきの縮小は上述の予測のためにも望まれるところであるが、1995年頃には5%程度にまで減少しているであろうという。このためには、工具材料の化学成分、不純物などのばらつきはどの程度にしなければならないか。今のところこの関係を定量的に予測する方法はない。ただ、現在進行中の国家的データ・バンク用標準工具は従来の工具より不純物が約一桁低いことから、これらの実験結果から一つの目安が与えられるのではないと思われる。

5. 切削工具材料

5. 1. 現状と開発の方向

一般に切削工具は所望の寸法、精度を能率的かつ経済的に加工するため、被削材との相対位置を長時間にわたり正確に維持しなければならないが、切削過程は工具刃先部において特異な応力、温度条件にあることを念頭においておく必要がある。すなわち、被削材と工具の接触面積は単刃旋削でたかだか 1mm^2 のオーダーであり、工具すくい面垂直応力は鋼切削で 100kg/mm^2 のオーダーである。また、工具すくい面、逃げ面の温度は超合金工具による常用切削速度の条件で $600\sim 1000^\circ\text{C}$ 程度となる。いいかえれば、工具切削のごく近傍が高压、高温の状態となっているのである。

このような状態下にある工具材料の良否は、従来から、高温かたさ、靱性、耐摩耗性の3要因によって支配されることが明らかにされてきている。このうち、高温かたさと耐摩耗性の間には対応が認められるが、高温かたさと靱性は相反する傾向を示す。したがって、高温かたさ、耐摩耗性が高く、かつ靱性もすぐれた理想的な工具材料を現実に見出すことは困難と考えられ、実用に供しうる工具材料は、被削材、工具のもつ幾何学的条件、使用目的などに応じた適当な組合せによらねばならない点に留意する必要がある。

第4図は、既存並びに開発中の工具材料を高温かたさ並びに靱性をパラメータとして整理したものである。この図を参照しながら開発の方向をみてみると、つぎの各項目があげられよう。

- (1)超耐熱、高硬度材料の切削を可能にする工具材料へのアプローチ。
- (2)セラミック工具、サーメット工具、超合金工

第4図 既存並びに開発中の工具材料

具、高速度鋼工具の欠点となっている性質の改善。

(3) 表面処理技術による切削性能の改善。

(a) 超硬工具の表面処理

(b) 高速度鋼工具の表面処理

(4) 超硬工具と高速度鋼工具の性能上のギャップをうめる工具の開発。

(a) 超硬工具側からのアプローチ

(b) 高速度鋼工具側からのアプローチ

まず、(1)の耐熱高硬度工具は耐熱材料の発達に対応するものである。耐熱材料は航空機、ロケットなどの発展にともない著しく進歩してきているが、比強度(強度/重量比)が高く、耐熱性に富み、極低温においても靱性を失わないことが要件である。これらの要件を満たす、現在および近い将来における代表的材料としては、チタン合金、アルミニウム合金、オーステナイト系ステンレス鋼があげられる。衆知のようにチタン合金などの切削はきわめて困難であるので、生産性をあげるにはぜひとも高温かたさの高い工具材料を開発することが必要である。その一つの方向が、アメリカ空軍によって開発された熱間プレスによるジルコン・ボラロイド(TaN-ZrB_2) サーマット工具である。 TaN-ZrB_2 工具でチタン合金を切削すると工具寿命が著しく改善されるのが認められるが、小生が試作の工具により切削したところ靱性がきわめて低く、この点の改良が必要であると感じられた。また、 HfN-Ta 系サーマット工具も有力であるとの報告がある。このように、窒化物、酸化物、炭化物系のサーマットを調査、研究することによって新しい超耐熱、高硬度材料が生れてくるのではないと思われる。

(2)は、セラミック工具の靱性の向上、サーマット工具や超硬合金工具の強度や耐摩耗性の向上、高速度鋼工具の高温かたさ、耐摩耗性の向上とそれぞれの工具材料の短所をカバーして品質の改善を図るとともに、工具内の不純物の含有量を減少させ品質のばらつきに対する信頼性を向上させる方向である。

セラミック工具の曲げ強さは 70kg/mm^2 程度まで改善されてきており、耐衝撃性がさらに向上すると再び有力な工具として見直されるものと思われる。このための一つの方向は超高圧の応用による製品の欠陥の縮小であろう。また、サーマット工具の改善の一例は、 TiC-Ni-Mo 工具である。高速度鋼工具の改善の顕著な方向は粉末高速度工具鋼で、炭化物組織の微細化により抗折力、高温かたさが上昇し耐摩耗性の向上が期待される。このように炭化物の分布が微細かつ均一となることはばらつきを減少させ信頼性を増大させる

ことともつながる。

(3)の表面被覆は、超硬合金の表面へ数 μ 程度の TiC 、 TiN などを被覆し、工具の耐摩耗性の向上を図ったもので、工具寿命がかなり顕著に改善される。また、高速度鋼工具の表面への被覆も種々試みられ、高速度鋼工具の靱性とコーティングによる高温かたさの改善が目指されている。これに関連して、カルシウム脱炭素鋼切削時に工具表面に生成される Belag ($\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-MnO}$) に相当する成分を被覆することも試みられたが今のところ効果は少ない。また、フライス加工のような不連続切削において、非切削時プラズマ溶射で被覆膜を作ることアイディアとして出されているが成果はもう一步という感じがする。

(4)については古くから取り上げられてきていたが、最近においては超微粒超硬工具の発達がとりわけ目立っている。その代表例は“Baxtron”という商品名で登場したものであるが、工具性能はとくに切削速度 50m/min 以下で顕著な改善を示し、たとえば工具寿命は従来の超硬工具の数倍にも達する。工具の特性からみて高速度鋼工具と競合する形となる。

上述した種々の改善方向の中でも超耐熱高硬度用の新工具材料、既存の工具材料の高温かたさ、耐摩耗性、靱性の向上といった方向は、今後かなり急ピッチに進むものと予想される。

5. 2. 生産性

新しく開発されあるいは改善されていく工具材料を生産性の立場からながめてみよう。第5図は約 88kg/mm^2 の引張強さをもつ鋼を切削した場合に得られ

第5図 最高切削速度の変遷と予測

る最高切削速度を工具の実用化された年を基準にしてまとめたものである。現在までの発達をそのまま延長させた線を引くと、1990年には約1800m/min、2000年には約2500m/minとなり、現在の高速研削の速度に近づく。1990年におけるCIRPの予測は1800m/minで、この図とよく対応する。このような速度で実用的な切削の可能な工具は何であろうか。やはりサーメット系工具のように想像するのであるがどうか。

第6図 工具材料の進歩

また、第6図は切削速度30m/minで切削する場合、切削可能な材料の最高引張強さである。2000年には約500kg/mm²まで切削可能となる。前出第2図を参照すると、常用材料の引張強さは大部分が500kg/mm²以内にあるから、これら材料はいずれも切削可能範囲にあると考えてよい。

このように材料、工具が進歩すると当然ながら工作機械も発達する。現段階でも回転数10,000rpmは技術的に可能であるからこの面からの問題は少なそうである。しかし、製品精度に関連して工作機械の動剛性、熱剛性などの問題を解決しなければならないことはいうまでもない。

6. あとがき

冒頭にも述べたように非常にむずかしい標題にちゅうちょしたが、書き終るとますます舌足らずの点が多く、突っ込みの足りないことに赤面の思いである。長期的展望に立って物事を観測し判断し処理していく重要さは十分に理解しうるのであるが、この小文が長期的判断へのごくわずかでも参考となりうるかどうか心もとない。足りない点はどうか読者諸賢においておぎなっていたいただきたく願う次第である。

最後に、CIRPの技術予測の要約を参考のためつけ加えたいと思う。なお、この要約は京都大学奥島教授によって行なわれたものであることを記しておきたい。

要 約

DELPHI-TYPE FORECAST OF THE FUTURE OF PRODUCTION ENGINEERING

August, 1971

Reported by M. E. Merchant
on XXI General Assembly of CIRP

(京都大学 奥島啓式教授のまとめによる)

1. Cutting Process

年 度	予 測
1980	(a) 切削における精度と仕上は、現在のレベルより一桁あがる。 (b) 主として被削性が良好であるという理由から、軽金属が機械部品の材料として大幅に採用され

る。

- 1985 (a) 切削加工と他の物理・化学的加工(P & C加工)の複合加工法が開発され、切削加工の20%程度がそれによって置換えられる。
- (b) 各種切削加工における適切な被削性試験法が開発され、工業的に広く利用されるようになる。
- 1990 (a) 切削加工におけるパラメータ、すなわち工具寿命、精度、仕上面品位、生産性などを、いかなる工具材種、被削材、および工作機械の組合せに対しても予測できるような科学的に正確な方法が見いだされる。
- (b) 以上のような科学的アプローチの結果、現在の切削速度の5倍もの切削速度に耐え得るような新しい工具材、また高力材料の切削に適した工具材が開発されて実用になり、通常作業での切削速度も30m/secの線に達する。

- 1995 (a) 被削材の被削性のばらつきが5%以内に縮小される。

* 以上のような進歩発達の結果、被削材の平均強度が増加するからといって、切削加工が部品製造の加工法としての王座を、乗っ取られるということは決してあり得ない。とはいっても切削加工が、たとえば微少切削多刃工具のようなもので、アブレーション加工にとってかわることもない。

2. Physical and Chemical Machining

- 1975 (a) プラズマアークとレーザビームが、仕上げられた面にうすく減摩削をコーティングするのに使用される。
- 1980 (a) レーザ加工は電子ビーム加工より重要な加工法となり、セラミックと金属の溶接にも使われる。
- (b) P & C加工は特別な加工物(大形の深しぼり工具や航空機エンジン鋳物等)の加工に重要な役割を演ずる。
- (c) P & C加工の精度・生産性について、正確かつ科学的な予測が可能となる。
- 1985 (a) ECM や EDM tooling のコンピュータによる設計や、N/C tooling が可能になる。
- (b) 工具と加工物の相対運動により、ちょうど現在の切削のように、任意の形状をN/Cにより創成することができる。
- 1990 (a) ECMの平均加工精度が約0.01mmまで向上する。
- (b) 非金属を切削や研削より、能率よく加工できるP & C加工が開発される。一例として、アブレーションプラスチックやアスベストのような材料は、高速液体ジェットのような方法で切断できるようになる。
- (c) しかしP & C加工が、総体的にいて生産性、精度および仕上面品位の面で切削をりようがすることは決してない。

3. Forming

- 1980 (a) 鋳造と成形法を組合わした加工法が、強力精密部品の製作に重要なものとなる。
- (b) Hydrostatic extrusion が、通常の冷間および熱間の Extrusion と競合しうるほど進歩する。
- (c) 強い磁場内における、塑性変形による金属部品の製作が実現する。
- (d) 成形作業に適した材料および工具材料が現われる。すなわち成形中は軟くねばくて、成形がすめば強靱になるような材料である。工具材料としては、現在よりももっと強靱で耐熱性が高く、かつ Self-Lubricating で、したがって温間加工が熱間や冷間加工と同様に重要な加工となる。
- (e) 難成形材料の成形加工において、電子ビーム、プラズマビームや、その他の Energy beam による局部的加熱が行なわれる。
- 1985 (a) Sinter forging が広く行なわれる。
- (b) "Die-less" drawing が、鋳造や引抜きと同様に有用な加工法となる。
- (c) 塑性加工機の50%以上が自動化される。
- (d) 一貫塑性加工装置が開発されて、微小繊維や粉体その他の物質から機械部品が多量生産され

る。

- 1990 (a) あらゆる金属の被成形性を推定できる、正確かつ科学的な方法が見つけ出される。
 (b) 現在の熱間成形の50%が、引抜きのような冷間加工にとってかわられる。
- 2000 (a) Single crystal fiber による部品の生産が実現する。

4. Abrasive Processes

- 1980 (a) 現在の周速の3倍に耐える、新しい砥石構造のものが開発され実用される。
 (b) Al_2O_3 , SiC, ZrO_2 , ダイヤモンド以外の砥材が使用される。
 (c) アブレーション切断が生産性・精度・仕上面品位において、従来の方法をはるかにりょうがする。
- 1985 (a) 現在、切削作業に依存しているものの25%が、研削作業にかわる。
 (b) 砥粒形状・チップスペースなど、砥石全体が均一性状になる。
 (c) ダイヤモンドおよびそれに類似のアブレーションが、仕上研削におけるすべてのアブレーションの30%を占めるようになる。
- 1990 (a) 研削のパラメータ、すなわち生産性・研削比・精度・仕上面品位を、いかなる砥石、加工物および機械の組合せにおいても予測できる、正確な科学的方法が開発され実用される。
- 1995 (a) Whisker や他の複合材料に似た、人造結晶のような全く新しい砥石構造が実用されるようになる。

他の加工法がいかに発達しても、研削加工がめったに使われなくなるということは決してないし、電解研削が従来の研削にとって代ることもあり得ない。

5. Machine Tools

- 1980 (a) N/Cについてはコストが著しく低減され、オープンループ方式が広く採用されかつ簡単化が起る。
 (b) ECMやEDMの適応制御が広く使われる。
 (c) 精度の制御、すなわち環境・機械本体・切削油剤および作動油の温度制御、レーザによるインプロセス精度制御などが実現する。
 (d) 工作機械のノイズレベルが50%低減される。
- 1985 (a) 工作機械は金属と非金属のマトリックス、または接着による複合構造が実現する。これにより適切な熱平衡を保ち、静・動剛性も改善される。摩耗やノイズも低減する。
 (b) 中および重工作機械の75%は、静圧または高剛性のローラベアリングすべり面となる。
 (c) 工作機械の特性試験機が開発され実用される。
 (d) 切削、塑性加工およびP & C加工が最適条件に制御されて、同一工作機械でなされるような複合作業機械が実現する。
 (e) 破損または摩耗した工具を、自動的にとりかえる技術的問題が解決される。
- 1990 (a) 工作機械の75%が、コンピュータ・グラフィックスと会話型プログラムを使うように設計される。
 (b) 工作機械の50%以上が、独立使用のものではなく、自動搬送機を伴い、中央計算機により制御される万能の生産システムの一ユニットとして使用される。
 (c) このためN/C工作機械の生産は、金額的に全工作機械の50%になる。
 (d) 種々の切削加工における切削条件の適応制御を行なうため、信頼性のあるしかも実際的のセンサが開発される。
 (e) 研削においては、すべての研削盤の20%が、生産性・仕上面品位および精度について適応制御が行なわれる。

6. Metrology-Interchangeability

- 1975 (a) 測定器や工作機械で、光源からの熱影響をさけるために、Fiber optics が使用される。
- 1980 (a) 切削工具や砥石車で仕上げられた部品の、正確な位置・寸法や仕上面特性を、連続的かつ瞬間的に測定し管理することのできるセンサや器具が開発されて、これによって部品加工中の完全

なインプロセス検査が実現する。

- (b) このためには、機械構造の熱変形を修正するフィードバック制御が広く使われる。
- (c) レーザ干渉計と回析格子が、1ミクロン以下の精度で工具と品物の位置ぎめをするのに利用される。
- 1985 (a) 装置条件とか、あるいは操作条件を変更することを指示するためのパラメータの完全なインプロセス検査法が、くり返し生産作業に一般的に用いられる。
- (b) その結果、機械の熱変形やその他の変形を、インプロセス計測にあまりたよらずに制御する方法が開発される。
- (c) 機械加工終了時の部品の平均温度を予測し、それによって加工後の熱収縮を知るために、部品の受ける熱量やその割合を考慮するための方法が実用される。
- (d) ホログラフィが生産管理に使われる。
- (e) 互換性の問題を軽減するために、にかわ(glues)あるいはプラスチックなどによって、部品を嵌合する新しい方法が広く用いられる。
- (f) 測定、分類、自己選択のテクニックの発展によって、多量生産において自動組立が非常に広く使われる。
- (g) あらゆる部品を保持する、標準パレットが一般に使われる。
- 1990 (a) インプロセス計測による品質管理のオートメーション化が、巨大生産システムにおける部品製作のプロセス・コンピュータとオンラインにつないで、実現する。
- 1995 (a) 切削工程における製品精度のインプロセス・フィードバック制御が、すべての機械作業の50%以上に採用される。

7. Optimization

- 1980 (a) 製造における完全自動化と、最適化のためのコンピュータソフトウェアのシステム(加工工程の最適化、使用機械の選定、クランピングの自動決定、作業手順の決定、工具選択、切削条件の最適化、工具径路に関する幾何学的処理)が開発され活用される。
- (b) 設計の最適化のために、製品、工具および工程の設計をからませたソフトウェアが、ある部分では開発される。
- (c) コンピュータが工具寿命、生産性および仕上面品位を最適化するために広く使用される。
- 1985 (a) 完全な適応制御工作機械が開発され活用される。この場合、オンラインでのプロセス同定を行ない、目的関数にて加工条件を速かに適応させるような制御がなされる。
- (b) またローディンやスケジューリングのような生産管理機能も、工場の50%以上において、またそれらの80%以上の部分において、コンピュータによって果される。
- (c) この結果、コンピュータによる生産工場の完全な自動化および最適化が実現する。
- 1990 (a) コンピュータソフトウェアの標準化がなされ、汎用性のあるものがどこのメーカからでも入手できる。
- (b) 75%の工場がG.T.を実施する。

8. Surface Roughness

- 1980 (a) 工具摩耗による仕上面あらさの劣化が、コンピュータによって予測され、これによって工具交換や砥石目直しの時間が決定される。
- (b) 切削工具や砥石車で仕上られている面のあらさを、インプロセスで瞬間的かつ連続的に計測できるセンサが開発され、実用される。
- (c) あらさ測定の概念が、うねりおよび形状誤差まで拡大し、これらが数字で表現されるようになる。すなわち周波数バンドを基にして、それぞれのバンドの測定がうねりとあらさについて共通的になされる。
- (d) 仕上面のあらさ特性を完全に表現できる科学的方法が開発され、そして国際的に受け入れられる器具校正見本のシステムができる。

- 1985 (a) 切削および研削における、表面あらさのインプロセス適応制御が開発され広く用いられる。
 (b) 二つの部品の相対する面の接触状態については、形状誤差、うねり、あらさなどのような形のくずれが、三次元的に定義されたパラメータによって特性づけられるようになる。
- 1990 (a) 仕上面の測定において、全表面をカバーする汎用的な、直接かつ High-speed-scanning の方法が開発される。
 (b) 以上のような進歩の結果、表面性状（硬さ・応力・変形など）表面トポロジおよび部品としての性能（たとえば耐摩耗性・潤滑性能・ノッチ効果など）の関係が完全に解明される。
 (c) 摩耗および寿命を考慮したときに、互いに相対運動し、かつ荷重のかかっている面のあらさはいかにあるべきかということを、予測する科学的方法が開発される。

TS型・CF型 CFO型

DAI-OXIL-BURNER

ダイオキシルバーナーは、
 画期的な燃焼方式を採用したOXY-OILバーナーであります。製鋼用高炉、アーク炉をはじめ、あらゆる工業炉に於いて生産性の向上によるコストダウン、新製品の開発等に大きく貢献しております。

* TS 型——低酸素方式 * 燃油量：
 CF 型——中酸素方式 3L/H～5,000L/H
 CFO 型——全酸素方式

ガスバーナーの製作もいたしております。

大同酸素株式会社

大阪市南区鯉谷中之町72番地の1 TEL 06-252-1381(大代表)
 東京・横浜・名古屋・大阪・堺・和歌山・坂出・
 高砂・広島・北九州・岡山・富山・千葉

CF型バーナーの炉内の火焔