

オーステンパ処理球状黒鉛鑄鉄の 切削加工に関する研究

岡山職業能力開発短期大学校 天野 隆
野村 龍司

Research on the Cutting Work of Austempered Ductile Iron

Takashi AMANO, Ryuji NOMURA

要約 オーステンパ処理球状黒鉛鑄鉄（ADI）は、優れた機械的性質を有するため、各種構造部材に使われてきている。しかし、その反面被削性が悪いといわれる。したがって、被削性を改善するために、切削加工においてさまざまな研究がなされている。本研究においては、切削加工条件を広範囲に設定し、切削抵抗、比切削抵抗、表面粗さの計測データを基に、切削加工条件の評価を行った。その結果、荒切削加工では、切削速度が100 [m/min] 程度で、理論上の切削断面積内において、切込み量を大きく設定した条件が、切削効率が良いことがわかった。

また、仕上げ切削加工では、切削速度が280~290 [m/min] 程度で、切込み量は0.2 [mm] 以上が適当であることがわかった。

I はじめに

近年、オーステンパ処理球状黒鉛鑄鉄（ADI）は、自動車や農機具などの各種構造部材として用いられてきている。ADIは、従来の球状黒鉛鑄鉄に比べ、高硬度で、韌性も有する。これにより、部材を薄肉にし、軽量化を図ることが可能となった。しかし、その反面被削性が悪いといわれている。したがって、生産現場においては、ねじ部やはめあい部などを除き、切削加工が行われないことが多い。

ADIの切削加工に関しては、種々の研究⁽¹⁾⁽²⁾がおこなわれている。研究の多くは、高切削速度、低送り、小切込み量の条件で、工具寿命に着眼点を置き、切削加工条件を評価している。工具寿命による切削加工条件の評価は、それに関わる実験に多くの経費や労力、時間を必要とする。

そこで、本研究では、これらの負担を軽減するため

に、簡便な方法を検討した。その結果、着眼点として切削抵抗、比切削抵抗、および表面粗さをあげた。実験に関しては、荒切削と仕上げ切削に区別し、切削速度、送り量、切込み量を広範囲に設定した。

以上により、簡便にかつ、広範囲にわたるADIの切削加工条件を評価することを目的としている。

II 被削材の諸元

図1に、ADIの顕微鏡写真を示す。図内の黒い円形のように見えるものが、球状化された黒鉛である。素地はベイナイトと呼ばれ、フェライト地やパーライト地の球状黒鉛鑄鉄に比べ、高硬度で強靱である。また、表1に被削材の諸元を示す。

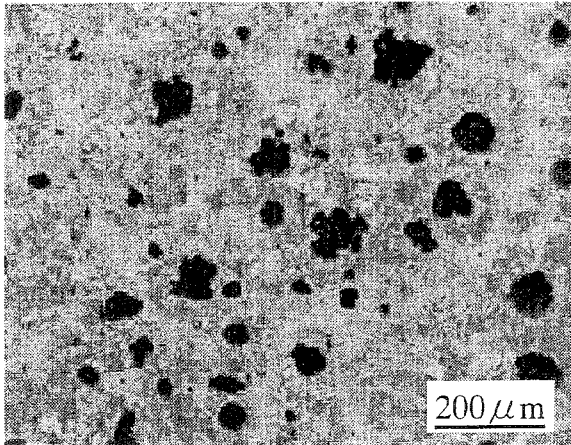


図1 ADI顕微鏡写真

表1 被削材の諸元

熱処理	オーステナイト化 920 [°C] ×90 [min] 恒温変態 350 [°C] ×110 [min]				
形状	φ60×160				
引張強さ	1326.0 [MPa]				
伸び	4.0 [%]				
硬度	363 [HBS]				
化学組成 [%]	C	Si	Mn	P	S
	3.65	2.65	0.21	0.036	0.008
	Cu	Cr	Mg	Mo	
	0.504	0.04	0.035	0.342	

III 工具の諸元

表2に工具の諸元を示す。荒切削には、一般に高硬度の鋳鉄に適応するといわれる⁽³⁾超硬コーティングチップを用いた。また、仕上げ切削には、高速切削に有利といわれる⁽⁴⁾cBNチップを用いた。なお、チップ、バイトは、ともに三菱マテリアル社製のものを使用した。

表2 工具の諸元

材種	荒切削：超硬コーティング (TiN+Al ₂ O ₃ 系) 仕上げ切削：cBN (鋳鉄切削用)
形状	-6, -6, 6, 6, 1, -9, 0.8

IV 実験方法

実験構成を図2に示す。実験には、瀧澤製の無段変速旋盤（出力11 [kW]）を使用した。旋盤には、被削材のADI、ひずみゲージ式の工具動力計が取り付けられている。まず、工具動力計から出力された主分力、送り分力、背分力（3分力）を、動ひずみ測定器に入力する。次に、動ひずみ測定器により増幅およびノイズ除去されたデータをA/D変換し、パーソナルコンピュータに取り込む。さらに、データに諸計算を施し、切削抵抗、比切削抵抗を算出した。なお、A/D変換におけるサンプリング周波数は1 [kHz]とし、各分力の定常期を1秒間計測した。表面粗さは、ミットヨ製の表面粗さ計を用いて、切削加工後に計測した。

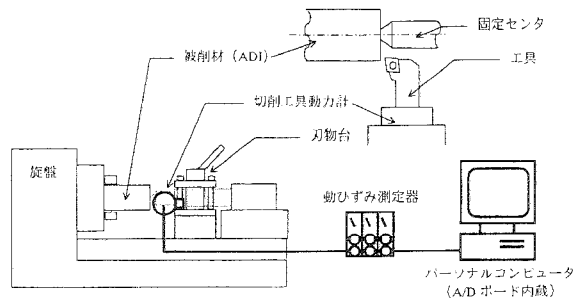


図2 実験構成

V 荒切削加工実験

本項では、計測した3分力から、切削抵抗、比切削抵抗を算出し、荒切削の加工条件を評価した。

1 実験条件

切削動力を旋盤の主軸動力以内であることを前提とし、切削速度・送り量・切込み量の範囲を決定した。切削動力の式を式(1)に示す。

$$Ne = \frac{a \cdot f \cdot V \cdot Ks}{60 \cdot 1000 \cdot \eta} \quad (1)$$

Ne [kW] : 切削動力、V [mm/min] : 切削速度
f [mm/rev] : 送り量、a [mm] : 切込み量 (半径)
Ks [N/mm²] : 比切削抵抗、η : 機械効率

比切削抵抗は未知のため、ADI以外の高硬度鋳鉄のデータよりKs=1568 [N/mm²]、機械効率ηは0.7とした。出力Neは11 [kW]より、

$$a \cdot f \cdot V = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 11 \cdot 0.7}{1568} \approx 294.643 \quad (2)$$

本実験では、切削速度を段階的にとり、それぞれの送り量・切込み量の条件を変化させる方法を選択した。切削速度は3段階とし、 $V=50, 100, 150$ [m/min] とした。 $V=150$ [m/min] とし、式(2)に代入すると次式のようなになる。

$$a \cdot f = \frac{294.643}{150} \approx 1.9643 \approx 2 \quad (3)$$

送り量、切込み量の積が2であり、旋盤の送り設定値、工具形状等より、送り量0.1~0.5 [mm/rev]、切込み量1~4 [mm] とした。表3に実験条件を示す。

表3 実験条件

切削速度 [m/min]	50, 100, 150
送り量 [mm/rev]	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5
切込み量 [mm]	1, 2, 3, 4

2 実験結果

図3、4に、送り量における切削抵抗、比切削抵抗の変化を示す。これら二つの図から、送り量の増加とともに切削抵抗は増加し、比切削抵抗は減少していることがわかる。

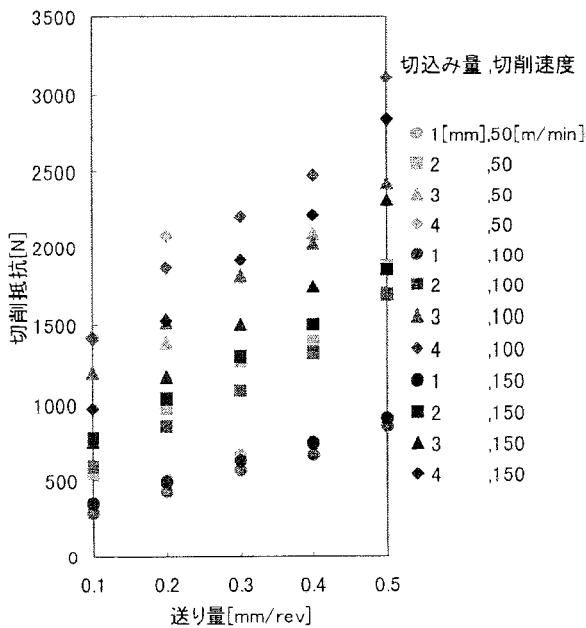


図3 送り量と切削抵抗の関係

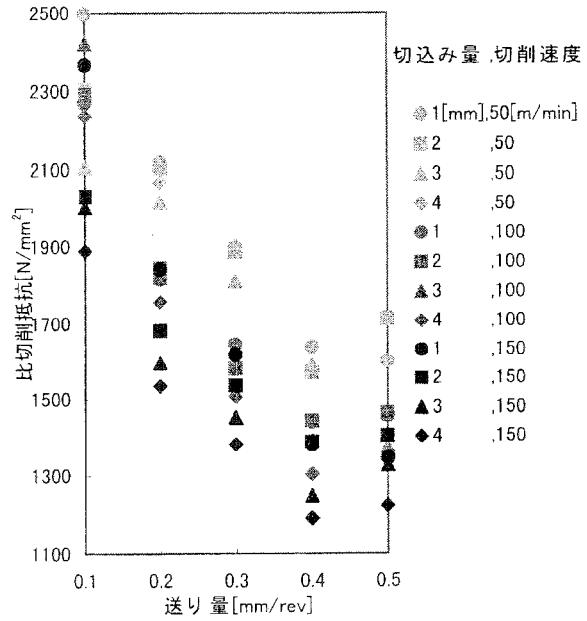


図4 送り量と比切削抵抗の関係

3 考察

図3より、切込み量が1、2 [mm] においては、切削速度が100 [m/min] のときに、切削抵抗が最も低く見られた。一方、3、4 [mm] においては、150 [m/min] のときに最も低く見られた。また、50 [m/min] のときには、送り量、切込み量によって、工具欠損も見られた。

切削抵抗が低いほど、被削性は良い。したがって、切込み量が1、2 [mm] では切削速度は100 [m/min] 程度、3、4 [mm] では150 [m/min] 程度が適切な切削速度だと考えられる。また、切削速度が速いほど、迅速に加工することができる。しかし、工具摩耗は切削速度に比例する⁽⁴⁾。例えば、100、150 [m/min] 程度の切削速度は、50 [m/min] 時に比べ素速加工はできるが、工具摩耗も早い。本実験において、工具摩耗を抑えるには、50 [m/min] 以下の切削速度が適切である。しかし、この切削速度では、送り量、切込み量を大きくすると、高い切削抵抗のため工具欠損してしまう。したがって、送り量、切込み量を大きくすることができず、迅速な加工は困難である。以上を踏まえると、切削抵抗で評価した場合、工具が欠損することなく、切削速度をできる限り低く、かつ送り量、切込み量を大きく設定できる条件が、最も適切な条件だと考えられる。

一方、図4により、切削速度が50 [m/min] のときにおいては、切削速度100、150 [m/min] のときに比べて、高い比切削抵抗が見られた。比切削抵抗は、単位切削面積あたりの消費エネルギーに換算できること

から、切削速度が100 [m/min] 以下では、比較的効率が悪いと考えられる。また、送り量に比べ、切込み量による比切削抵抗への影響は、あまりみられなかった。

切削抵抗、比切削抵抗の両側面から、切削速度が100 [m/min] 程度で、かつ切込み量を大きく設定する条件が、加工時間的にも、工具コスト的にもそれぞれ満足できると、定性的に判断できる。

VI 仕上げ切削加工実験

本項では、表面粗さ計を用い、表面粗さ (Ra) を計測した。

1 実験条件

仕上げ切削では、一般的にいわれる高切削速度、低送り量、小切込み量の条件とした。実験条件の一覧を表4に示す。主軸動力を考慮し、切削速度は250~300 [m/min] の間で6段階に設定した。また、送り量、切込み量に関しては、工具メーカーの推奨値および旋盤の標準設定値を考慮し設定した。

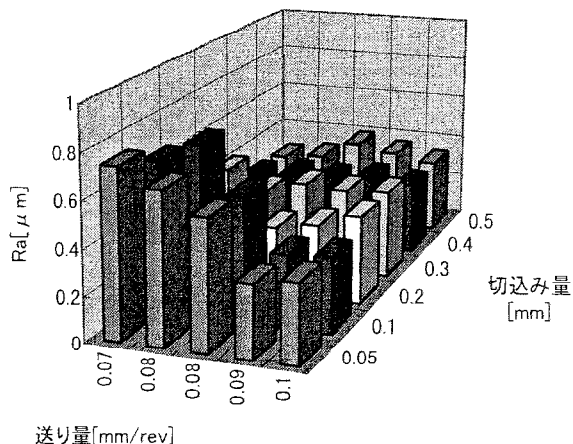
表4 実験条件

切削速度 [m/min]	250, 260, 270, 280, 290, 300
送り量 [mm/rev]	0.071, 0.08, 0.084, 0.089, 0.097
切込み量 [mm]	0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5

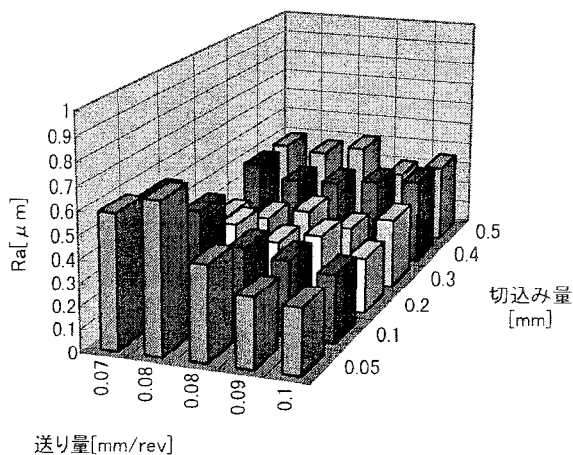
2 実験結果および考察

図5に送りおよび切込み量におけるRaの変化を示す。図中の(a)~(f)は、切削速度によってそれぞれ区別している。

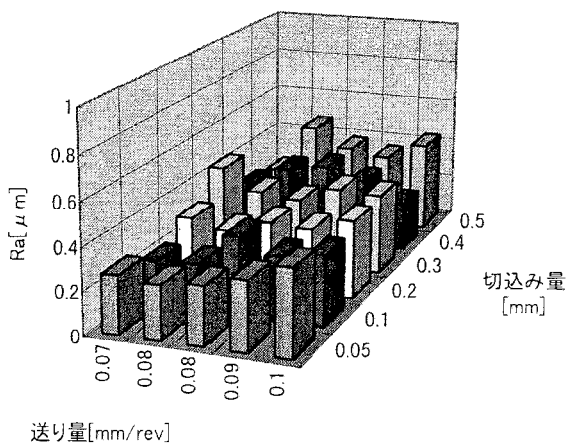
切削速度が260 [m/min] 以下で、切込み量が0.1 [mm] 以下におけるRaは、他の条件に比べ大きくあらわれた。これは、微小切込みによる刃先の上滑りや、刃先温度の影響による構成刃先の生成により、表面をこすっていると考えられる。一方、270 [m/min] 以上では顕著な差がなく、送り量、切込み量には大きく影響は受けないことがわかった。これは、刃先温度が構成刃先の生成される再結晶温度以上になり、構成刃先が生成されず、表面粗さが小さくなったと考えられる。



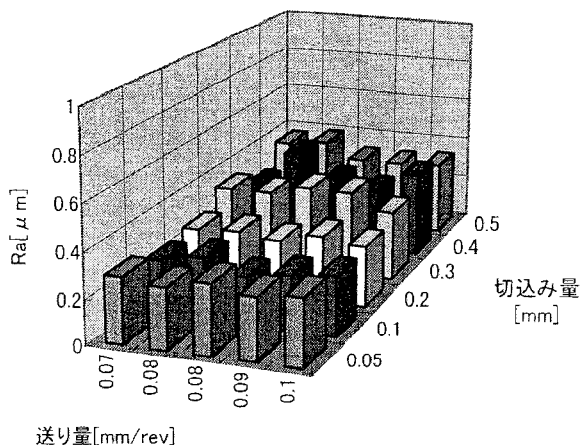
(a) 250[m/min]



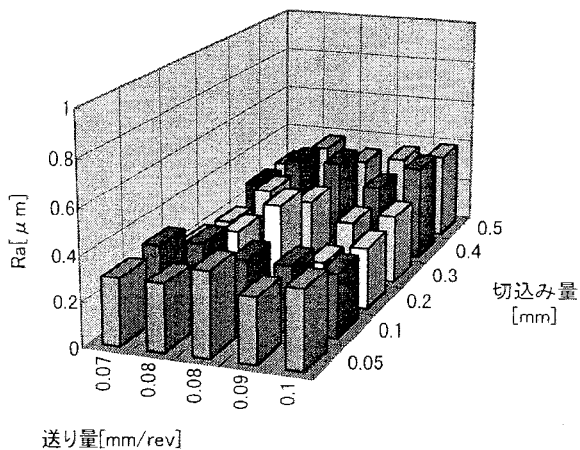
(b) 260[m/min]



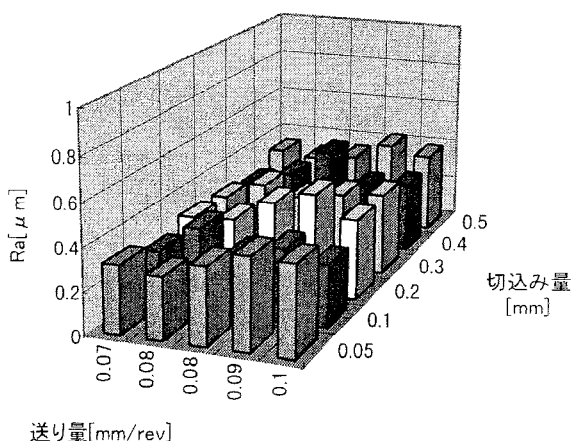
(c) 270[m/min]



(d) 280[m/min]



(e) 290[m/min]



(f) 300[m/min]

図5 送りおよび切込み量におけるRaの変化

さらに、図6に各切削速度におけるRaヒストグラムを示す。送り量、切込み量は、表4に示す中間値を用いて、それぞれ0.084 [mm/rev]、0.3 [mm]とした。各切削速度とも、およそ正規分布に近い結果となった。また、切削速度が上がると、頻度のピークもRaが小さい範囲に推移している。したがって、高切削速度で切削するほど表面粗さは低くなるといえる。

しかし、切削速度が300 [m/min]では、頻度のピークが0.4~0.5 [μm]の範囲に存在し、切削速度が280、290 [m/min]の場合と比較すると、Raが大きく現れた。さらに、290 [m/min]では、頻度は少ないが0.2~0.3 [μm]の最も低い範囲のRaが見られた。これより、Raは切削速度が280、290 [m/min]の時点で飽和状態にあると考えられる。以上を踏まえると、仕上げ切削における切削速度は280~290 [m/min]程度が適当であると考えられる。

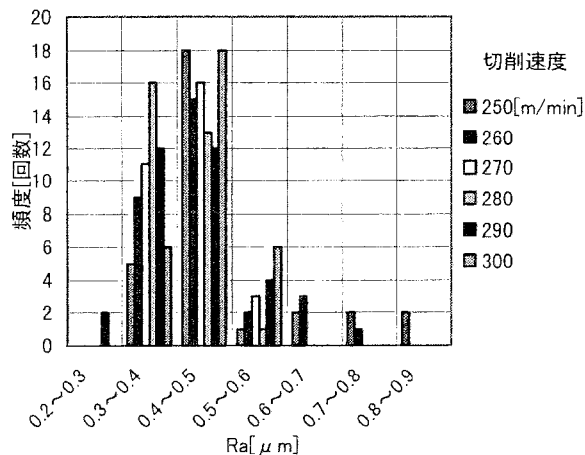


図6 各切削速度におけるRaヒストグラム

Ⅶ まとめ

1 荒切削加工

- (1) 加工時間および工具コストを考えた場合、切削速度は100 [m/min]程度が適当である。
- (2) 理論上の切削断面積内において、切込み量を大きく設定した場合、切削効率が良い。

2 仕上げ切削加工

- (1) 表面粗さ、加工時間を考慮すると、280~290 [m/min]程度が適当である。
- (2) 理論上の切削断面積内において、切込み量は0.2 [mm]以上が適当である。
- (3) 表面粗さは、切削速度が280~290 [m/min]程

度で飽和状態になる。

械技術、43巻、5号、1995年、P18-24

- (4) 賀勢晋：実用切削技術教本、日刊工業新聞社、1987年、P98-104

VIII おわりに

本研究において、簡便にかつ、広範囲にわたるADIの切削加工条件を評価することができた。今後は、以下の事項も検討し、最適な切削加工条件を導出することを考えている。

IX 今後の検討課題

1 工具摩耗

本研究では、工具コストを切削速度から定性的に評価した。しかし、正確に工具コストを評価するには、工具摩耗を直接計測し、定量的に評価しなければならない。前述したように、工具摩耗を計測することは、多くの時間や労力などを必要とする。したがって、今後は計測システムの自動化や、実験アルゴリズムの最適化を図る、などについて検討する。

2 工具材種、形状

cBNやコーティング以外の材種との違い、すくい角やコーナ半径等、幾何学的な形状などの切削条件の違いが被削性に及ぼす影響を検討する。

3 切削油剤

乾式と湿式の違い、種々の切削油剤の違い、切削油の供給方法などについて検討する。

謝 辞

材料を提供して下さった、ダイハツ金属(株)横尾課長をはじめ、皆様に心から御礼申し上げます。また、実験等に関しさまざまなご助言をくださった、機械システム系の皆様に感謝いたします。

[参考文献]

- (1) 陳平、慶島敏弘：オーステンパ球状黒鉛鑄鉄（ADI）の高効率切削加工、精密工学会誌、61巻、4号、1995年、P542-546
- (2) 升田雅博、郡寿也：オーステンパー処理球状黒鉛鑄鉄切削時のアルミナ系セラミック工具の摩耗、精密工学会誌、60巻、12号、1994年、P1781-1785
- (3) 岸本潔：難削材加工のための最適工具の選定、機