

黒鉛粒数の異なるADIの被研削性の研究

機械金属室 國吉 和男・羽地 龍志
白川 勝久*・糸村 昌祐**

1. 緒言

オーステンパー球状黒鉛鑄鉄 (Austempered Ductile Iron = ADIと呼ぶ) は球状黒鉛鑄鉄を約1170Kでオーステナイト (以下 γ という) 化し、523Kから723K付近でオーステンパー処理することで、従来のフェライトとパーライトを主体とした基地組織を高強度なベイナイトと延性に富む γ の混合組織に改善したものである。

ADIは1960年代半ばに米国GM社が自動車部品として実用化したことから各分野で使用されだし、鑄鋼や鍛鋼のような強度部材の有望な代替材として期待されるようになった。^{1)~4)}

しかし強度特性が高い反面、精度を要求される部品に適用しようとした場合に、被削性が極めて悪いため工具寿命が短くなり、精度が保てない等ADIの被削性に関する研究は早くから数多く見られるものの^{5)~9)}、より加工精度が要求される研削加工に関する研究は少ない¹⁰⁾。

本研究は切削加工を熱処理前に行い、オーステンパー熱処理によって生じる寸法変化や仕上げしを研削加工することを想定して、前年度から引き続きADIの研削特性の実験を進めているものである。今年度は黒鉛粒数の異なる2種類の球状黒鉛鑄鉄をオーステンパー処理し、熱処理による寸法変化を調べ、粒度を揃えた4種類の砥石を使って実験を行い、研削特性を明らかにした。

2. 実験方法

2. 1 熱処理による寸法変化量の測定

図1に示すように肉厚を12mmと52mmの2段階に変化させて、肉厚12mm部には厚さ5mmのチル板を置き、フラン樹脂自硬性鑄型に鑄込み、黒鉛粒数の異なる供試材を作製した。肉厚12mm部はチル化が著しかったため、1103K-3時間の黒鉛化焼きなまし処理を施した後、オーステンパー処理をした。

このようにして得られた、黒鉛粒数が650および80個/mm³の2種類の供試材から、研削試験片と寸法変化量測定のためのTTT試験片を切り出した。

図2に供試材の組織写真と球化率、黒鉛粒径等の特徴量、表1に化学組成、図3に試験片寸法をそれぞれ示す。

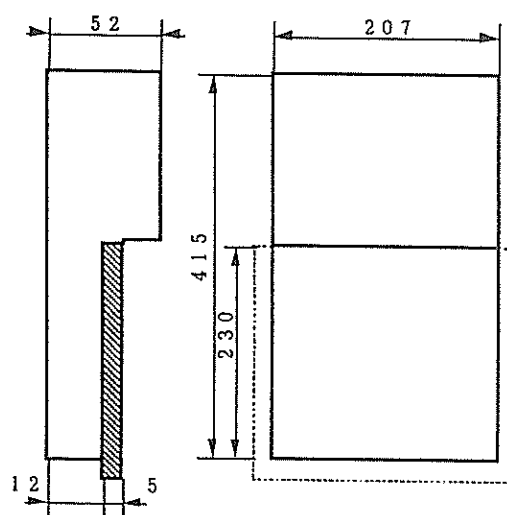


図1 階段状の鑄物試験片寸法

* 琉球大学工学部エネルギー機械工学科 (現:四国リコー(株)) ** 琉球大学機械システム工学科

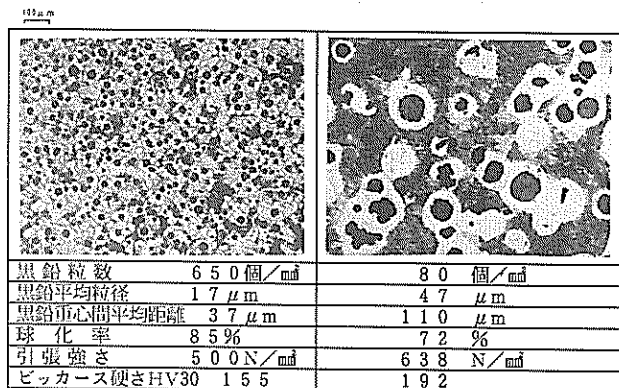


図2 供試材の組織写真

オーステンパ処理中の寸法変化量はTTT試験用の試験片を用い、富士電波工機製の全自動変態記録測定装置を使用して、以下に述べる方法で測定した。

すなわち、高真空 (9.33×10^{-3} Pa) 中で試験片を1173Kで30分間保持して均一 γ 化を行い、つづいてアルゴンガスを吹き付けて5通りのベイナイト化保持温度 (523、573、623、673及び723K) まで急冷した後、所定時間保持して変態させ再びアルゴンガスによって室温まで急冷する。ここで得られた結果をオーステンパ中の試験片の寸法変化と保持時間、保持温度の関係として検討した。

2. 2 研削試験片及び熱処理方法

研削試験片のオーステンパー処理に使用した装置はポット式塩浴熱処理炉 (高温部: MSE20-30 低温部: LSE 20-30 (株)サーマル製) で、塩浴剤は高温側 (BaCl_2 : KCl : NaCl = 4:3:3)、低温側 (KNO_3 : NaNO_3 = 1:1) を使用した。

熱処理条件は図4に示すとおり、保持温度5水準、保持時間5水準で計25種とした。一つの熱処理条件につき黒鉛粒数の異なる研削試験片を各2本とし、計100本の試験片を作製した。

平面研削盤 (岡本工作製 PSG63JA) と4成分動力計 (日本キスラー社製 Type9272-5019A) を用い、4種類の砥石 (WA180L7V75R、GC180H8V81R、CBN 170N75BD4、CBN170N75BW4) を用いて研削試験を行った。

図5に4成分動力計に治具を取り付けた様子を示す。研削条件は表2のとおりである。

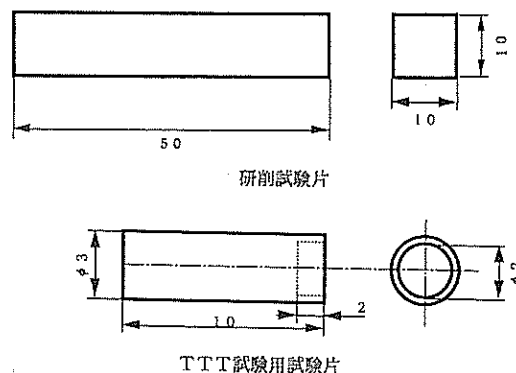


図3 試験用試験片

表1 供試材の化学組成 (mass %)

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.74	2.32	0.73	0.03	0.01	0.04

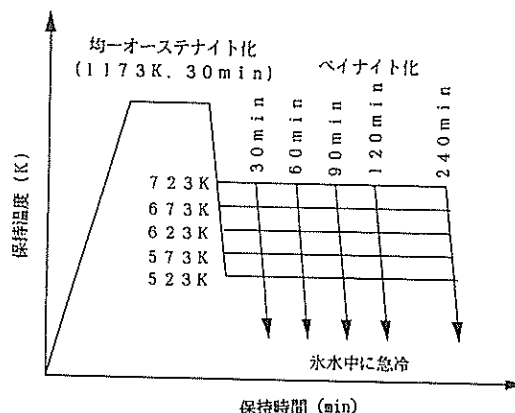


図4 オーステンパ処理条件



図5 4成分動力計及び治具

3. 結果と考察

3.1 黒鉛粒数と熱処理による寸法変化量

図6と図7は黒鉛粒数の違う試料の、保持温度の違いによるベイナイト化時の寸法の経時変化を示す。

図6は黒鉛粒数80個の場合で、保持温度が523Kで最終的に試験片は45 μm 、573Kで36 μm 、623Kで28 μm 、673Kで17 μm 、723Kで12 μm の伸びを示している。これはベイナイト化保持温度が高くなるほど、すなわち上部ベイナイト組織の方が下部ベイナイトよりも膨張量が小さいことを示している。

また図7は黒鉛粒数650個/ mm^2 の場合で保持温度が523Kで最終的に試験片は44 μm 、573Kで38 μm 、623Kで28 μm 、673Kで23 μm 、723Kで21 μm の伸びを示し、黒鉛粒数が80個/ mm^2 の場合と同様に保持温度が高くなると膨張量は小さくなる傾向を示している。

黒鉛粒数の違いでは、保持温度が523~623Kの間ではほとんど寸法変化に差は見られないが、673~723Kの上部ベイナイト域では黒鉛粒数の多い方が膨張量が大きくなっていることがわかる。

すなわち黒鉛粒数が多い650個/ mm^2 の場合に673Kで約6 μm 、723Kで約9 μm 程度膨張量が大きくなっている。

これは黒鉛粒数が多い場合に、残留 γ が若干多くなっている前報⁽¹⁾の結果から考えると、黒鉛間平均距離の短い(黒鉛粒数が多い)方が炭素濃度が高くなっている安定 γ の部分が多く、これが特に高温域でのベイナイト化時の全体としての膨張量に影響しているのではないかと考えられる。

表2 研削条件

項目	条件
試験片寸法	10×10×50mm
砥石回転速度	1650m/min
テーブル送り速度	6m/min
切込み深さ	20 μm
砥石	WA180L7V75R GC180H8V81R CBN170N75BD4 CBN170N75BW4
ドレッシングWA CBN	10 μm ×8、0.6m/min ホワイトストーン
研削方法	プランジ研削 乾式 湿式(ノリタケールAF-S)
砥石寸法 研削盤	305 ϕ ×127 ϕ ×38mm Okamoto PSG-63JA

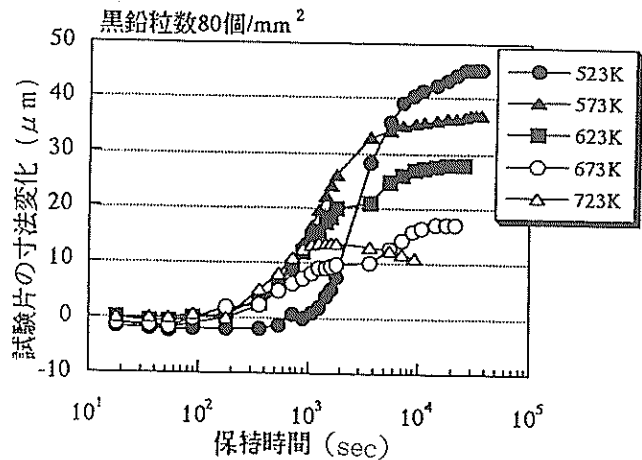


図6 黒鉛粒数80個/ mm^2 の試料のベイナイト化時における寸法の経時変化

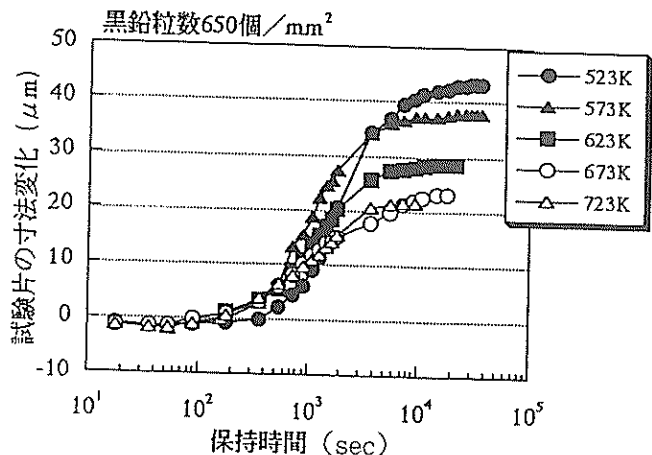


図7 黒鉛粒数650個/ mm^2 の試料のベイナイト化時における寸法の経時変化

3. 2 黒鉛粒数と被研削性

前報の実験では砥石WA60とCBN170の比較を中心に検討を行ったが砥粒サイズが異なっており、また高硬度脆性鋼材や鋳鉄用といわれる¹²⁾GC砥石を含めた比較実験が出来なかったために、ADIの研削特性やCBN砥石の評価が充分行えなかった。

今回は黒鉛粒数の異なるADI試料を、砥粒を180[#]前後の約65 μ mに揃えたWA180、GC180及びCBN170の砥石を用いて、乾式及び湿式で研削実験を行った。その結果を図8～13に示す。

各図は研削抵抗を縦軸にとり、左側の図は横軸を保持温度で整理し、右側の図は横軸を保持時間で整理したものである。

図8～9はWA砥石の研削抵抗を示したもので、4種類の砥石の中で最もばらつきが大きく、研削抵抗がほぼ10～15N/mmの範囲でばらつき（不偏分散値）は1.1N/mmであった。

保持時間を横軸に整理した図と保持温度で整理した図を比較すると左側の保持温度の図がばらつきは大きい。

すなわち保持温度が同じでも、保持時間の違いによる研削抵抗の差が大きいことを示している。また黒鉛粒数の多い650個/mm²の方が研削抵抗は高く、湿式より乾式の方が研削抵抗は高い傾向を示している。

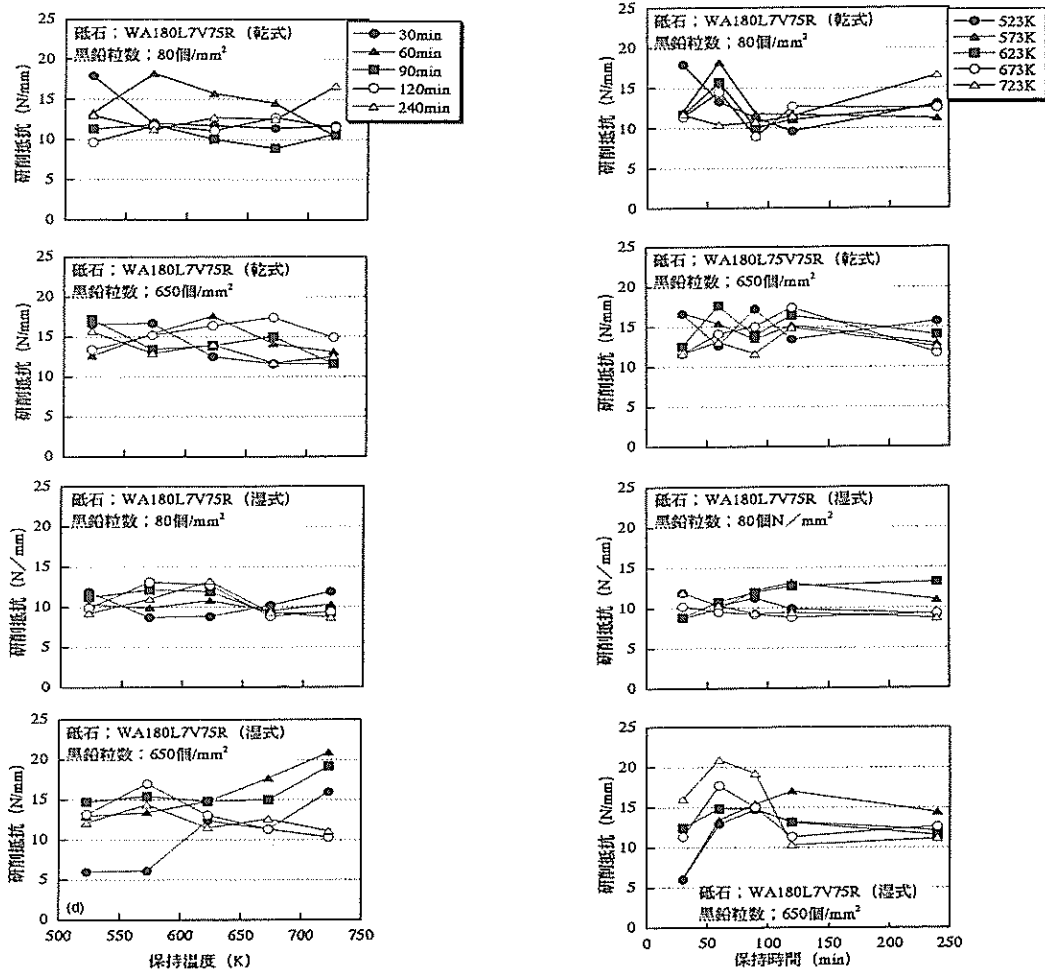


図8 WA砥石の場合の保持温度と研削抵抗の関係

図9 WA砥石の場合の保持時間と研削抵抗の関係

図10～11はGC砥石の研削抵抗を示したもので、WA砥石に比べてばらつきが（不偏分散値） 0.8N/mm と小さくなっている。

保持温度が高いとやや右下がりに研削抵抗が低下し、保持時間が長くなるとWA砥石に比べ研削抵抗値は収束気味に安定した値になる。これはWA砥石に比べてGC砥石の方が硬く、崩壊性が低いためと考えられる。

また黒鉛粒数の違いでは研削抵抗にほとんど差はなく、乾式、湿式の違いによってやや湿式の方が研削抵抗が大きい傾向になっている。

図12～13はCBN砥石の研削抵抗を整理した図である。前述の2種類の砥石に比べ研削抵抗が $5\sim 10\text{N/mm}$ も低く、しかも保持温度や保持時間の違いによらず研削抵抗のばらつきが（不偏分散値） 0.1N/mm とほとんどなかった。

すなわち熱処理条件によるADI組織の違いに関係なく安定した低い研削抵抗を示し、切れ味がいいことが分かる。

またわずかではあるが黒鉛粒数の違いによって粒数の多い 650個/mm^2 の方が研削抵抗は高く、乾式より湿式の方が研削抵抗は高い傾向を示していた。しかしこれらの差は 5N/mm を中心にわずか $1\sim 2\text{N/mm}$ 程度であった。

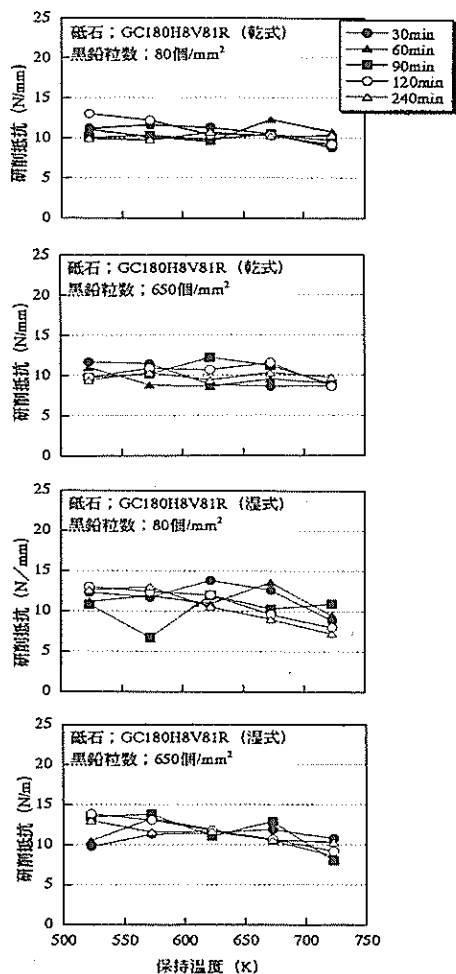


図10 CG砥石の場合の保持温度と研削抵抗の関係

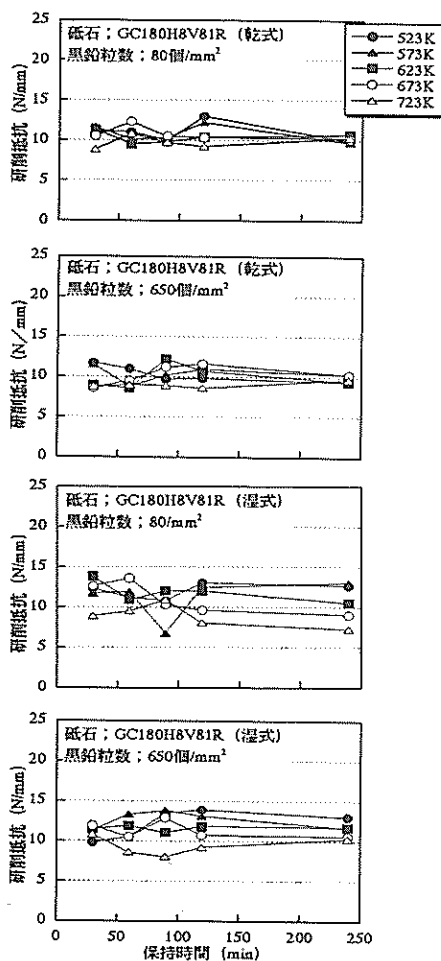


図11 CG砥石の場合の保持時間と研削抵抗の関係

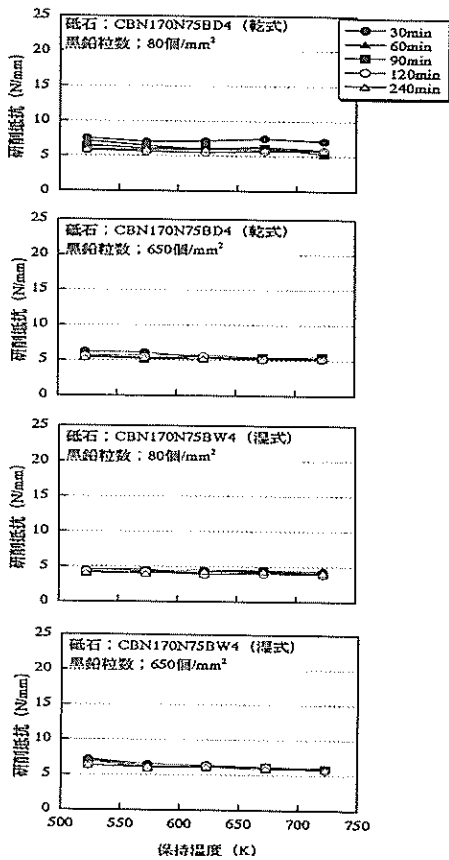


図12 CBN砥石の場合の保持温度と研削抵抗の関係

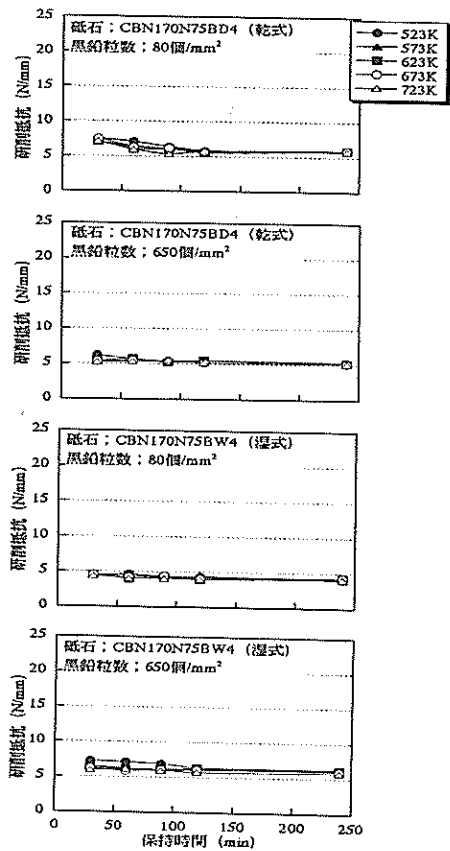


図13 CBN砥石の場合の保持時間と研削抵抗の関係

3. 3 砥石と研削抵抗

砥石の種類によって研削抵抗に大きな差が見られたので、研削状態と保持時間別に砥石間の研削抵抗を比較した。横軸を保持温度で整理したのが図14である。

これは黒鉛粒数の違い、乾湿の研削条件の違いを無視して保持温度毎に平均した値を砥石別に整理したものである。

図から明らかなように、いずれの砥石も下部ベイナイト域で研削抵抗はやや高く、上部ベイナイト域で低くなる傾向が見られる。またどの保持時間でもWA砥石>GC砥石>CBN砥石の順に研削抵抗は低く、ばらつきも小さくなっていることがわかる。

これはWA砥石、GC砥石、CBN砥石の順に崩壊性が低く、硬度が高くなって¹²⁾、切れ味が良くなっているためと考えられる。

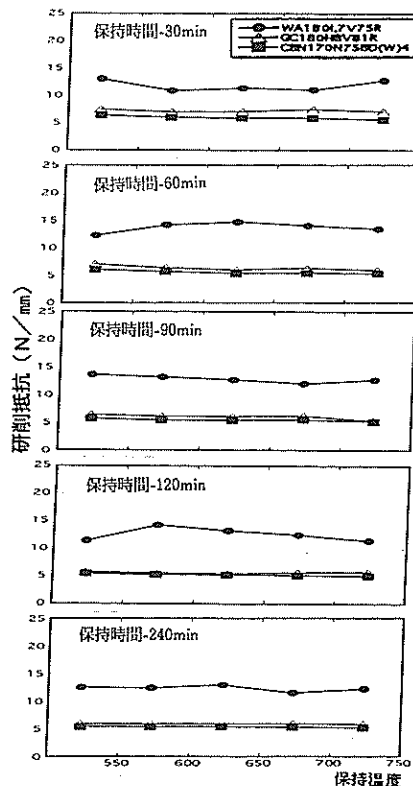


図14 砥石毎のオーステンパ条件と研削抵抗の関係

4. 結 言 オーステンパー球状黒鉛鑄鉄の熱処理による寸法変化及び被研削性について検討を行った。得られた結果は以下のとおりである

- 1) ベイナイト化時の寸法変化は、保持温度が高い程小さくなる傾向を示す。
- 2) 黒鉛粒数の違いでベイナイト化処理中の寸法変化に差がみられ、ベイナイト化保持温度673K及び723Kの上部ベイナイト域で黒鉛粒数80個/mm²の方が650個/mm²より膨張量が少ない。
- 3) 砥石の種類による研削抵抗の値は、砥粒硬度が高いほど研削抵抗値は低くなり、ばらつきも小さい。
- 4) 乾式と湿式の違いによる研削抵抗の値は、砥石により異なる傾向を示す。
- 5) 黒鉛粒数の違いによる研削抵抗の値は、ほぼ等しいか粒数の多い方がやや高い傾向を示した。

参考文献

- 1) 三井ミ-ハーナイト・メタル(株)技術開発部：素形材,92,1,P3
- 2) 塩川忠：鑄物,Vol.56-6(1984),PP362-369
- 3) 龍華文隆、鳥居良久、上田倣完、滝田光晴：鑄物,Vol.60-10(1988),PP615-618
- 4) 張 博：「ADI (オーステンパー球状黒鉛鑄鉄黒鉛) 製造技術の動向」素形材技術講習会テキスト,平成元年
- 5) 石原安興：鑄物,Vol.58-12(1986),PP823-830
- 6) 新谷一博、加藤秀治、塩谷外司、藤村善雄：鑄物,Vol.63-6(1991),PP523-527
- 7) 木曾弘隆、小山満晴、田口富雄：鑄物,Vol.61-9(1989),PP615-619
- 8) 田中雄一、清水章裕、横内弘宇：鑄物,Vol.65-2(1993),PP93-98
- 9) 藤田武男、関口克彦、北川亮三、小池範法、大城桂作：
「ADIのドリル被削性 (第1報~2報)」1993,精密工学会秋季大会学術講演会論文集,PP361-364
- 10) 中満清博、清水一道：日本機械学会北海道支部第34回講演会講演論文集, No932-1('93-8-20, 21. 札幌),PP85-87
- 11) 國吉和男、羽地龍志、玉城努、當間竜次：沖工試研究報告第21号(1993),PP75-83
- 12) 中島利勝、鳴瀧則：「機械加工」コロナ社

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。