



単粒研削における切りくずの生成機構について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-11-08 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 辻, 宜秀 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00008088

単粒研削における切りくずの生成機構について

Mechanism of Chip Formation in Single Grain Grinding

辻 宜 秀*

Yoshihide TSUJI**

(昭和53年9月1日受理)

Summary

A single grain grinding test had been doing using a plain carbon steel of heat treatment condition such as quenching, normalizing and annealing.

The purpose of this paper is investigation on chip formation and machinability of work-piece material during single grain grinding.

Cutting action was arrested by a quick-stop device.

Behavior of material ahead of the tool face during cutting was observed minutely on the cross-section along the cutting direction of a groove using a metallurgical microscope, a scanning electronmicroscope and replica method.

Following properties became evident after examining the experimental results that chip formation of normalized steel was easier than it of quenched one, but it of annealed one was the easiest of the three.

Increasing in cutting velocity was made absorb the heat of friction into work materials.

Particularly, the normalized and the quenched steel were influenced considerably by frictional heat.

It appears to machinability of annealed steel from metarographical point of view in the grinding is most excellent, but it of quenched one is inferior to the three.

1. 緒 言

研削加工によって材料表面の加工精度をより高精度に維持したり、また材料の被削性を向上することが要求されている。しかしながら同一材料であっても内部の材料の組織の違いや材料強度の相違などによって、容易にはその目的を達成出来ないのが現状である。そして加工精度および被削性の向上に技術的な努力が行なわれる一方において基本的な研削加工による切りくず生成機構を究明することが必要となる。近年この機構を解明するためにいくらかの論文が発表されている。Doyle¹⁾は砥粒による切削モデルを提案し、切れ刃すくい角によってchip formation, prow removal, rubbingに分かれることを示した。同じくDoyle²⁾は単粒研削で不連続型切りくずの排出されることを電子顕微鏡観察により報告しているが、それらの研究は切れ刃前方の被削材内部にまで言及したのではない。被削材内部の挙動について研究したのものには田中³⁾、岡本⁴⁾の報告がある。それ

脚注 精機学会昭和53年度関西地方定期学術講演会（昭和53年7月21日）にて発表

* 機械工学科

** Department of Mechanical Engineering

らは興味ある結果を示しているが、非常におそい切削速度のものであり切削速度が増加すると切りくずの除去機構も違ってくるのが考えられる。とりわけ本研究に関係する喜田ら⁵⁾の論文はきわめて独創的であり興味がある。それらの研究は単粒研削モデルによって焼なましした鋼における切りくず生成機構を究明したものである。しかしながら同一鋼種でも熱処理方法の違いによって切りくず生成機構がどのような影響を受けるのか明らかではない。

そこで本報は、焼入れ、焼ならしおよび焼なましなどの熱処理を行なった鋼を被削材として、形状が四角すい形の超硬製切れ刃による単粒研削を行ないまた切削速度についても実用の切削速度域で種々に変化させ、生成した切りくずの形状やすくい面前方部分の被削材の変形破壊状態からみた切りくず生成過程を光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡およびレプリカ法を用いて観察し比較検討をおこなった。さらに熱処理の異なる鋼の被削性についても金属組織学的な方向から考察をおこなったので報告する。

2. 実験装置および実験方法

図-1は試作した単粒研削装置を示す。正面の回転円盤は直径400mmのアルミニウム製でその外周には急停止装置の一部として作用する治具があり、この治具の先端に切れ刃が固定されている。一方円盤下部の試料取付台は、円盤が所定の周速度で回転しているとき円盤正面手前側から円盤に向かって挿入され、円周上の切れ刃が真下に挿入されて来た試料を切削して切りくずと条こんとを生成する。同時に急停止装置が作用して切削現象が凍結される。またこの急停止装置の作用の目的は、切削途中の切りくずと条こんの挙動すなわち切りくずの生成機構を捕捉することと一回切削の切りくずと条こんとを得るためである。実験装置の駆動

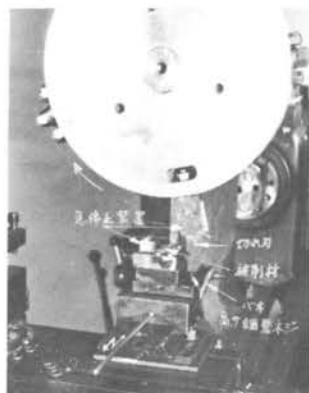


図-1

と速度変換は直流電動機を用いスライダックでおこなった。

次に実験方法としては、表-2の熱処理条件に従って試料を作成しその表面はエメリーペーパーで仕上げた。それを表-1の実験条件に従って乾式の単粒研削をおこなった。生成した条こんのすくい面前方部分や側面の変形状態を観察するため、条こんの自由表面を研磨し塩化第二銅を溶かし

表-1 実験条件

被削材	S 55 C
大きさ	25×18×10
切れ刃	超硬 G 2 種 角すい形 切れ刃頂角 140°
切削条件	乾式切削 切込み深さ 約40μ 490m/min 切削速度 1320m/min 1650m/min

表-2 被削材の熱処理条件

熱処理方法		マイクロ ピツカー 硬度
焼入れ	830℃, 20min保持後 水焼入れ	820
焼ならし	830℃, 20min保持後 空冷	240
焼なまし	830℃, 60min保持後 炉冷 (真空焼鈍)	165

た塩酸溶液中で腐食した後光学顕微鏡で観察した。また生成した切りくずの形状や変形の状態を観察するために走査型電子顕微鏡 JEM50A を用い加速電圧25KVで観察した。さらに条こんと切りくずの表面直下の変形した金属組織を観察するため、条こんの谷の部分に沿って切断した縦断面や条こんを直角方向に切断した横断面とを研磨してエッチングを行ない、さらにアセチルセルローズフィルムを使うフィルムレプリカ法に従ってレプリカを作成し透過型電子顕微鏡HS-9で加速電圧50KVによって検鏡した。

3. 実験結果および考察

条こんのすくい面前方部分や側面の変形状態を自由表面から光学顕微鏡で観察した結果を図-2～図-3に示す。図-2は焼入れ処理をしたS55Cの条こんであり、図-2(a)は切削速度が490 m/min、図-2(b)は切削速度1320m/minの場合で条こんのすくい面前方部分と側面に白色変質層がみられる。マトリックスはいずれもマルテンサイトとフェライトの二相であるが白色変質層の外側は狭い範囲で焼もどしされている。この焼もどしマルテンサイト組織は後述するレプリカの中で明らかに認められる。図-3(a)、(b)は焼ならし処理した被削材で生成した条こんであり図-2と同様に条こんの周囲には白色変質層が形成されている。切削速度の増加によってすくい面前方部分や側面の塑性変形域は拡大しており、切削速度1650m/minの場合白色変質層が切削方向に対して斜め後方に流れているのが観察される。マトリックスはパーライトとフェライトの二相からなっているが、白色変質層の外側では単粒研削によってマトリックスが塑性変形を受けて歪のある領域を

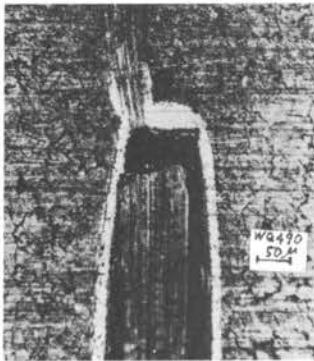


図-2(a) 焼入れ処理材切削速度490m/min

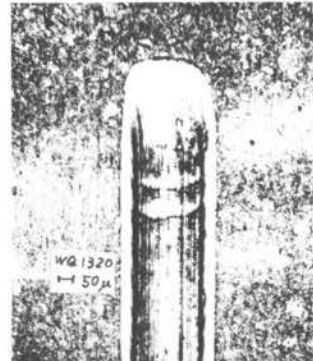


図-2(b) 焼入れ処理材切削速度1320m/min

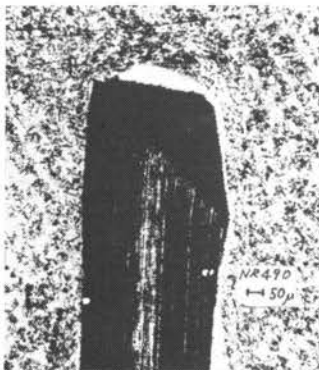


図-3(a) 焼ならし処理材切削速度490m/min

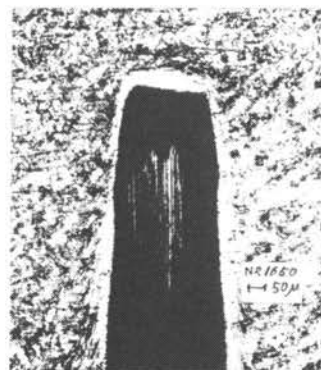


図-3(b) 焼ならし処理材切削速度1650m/min

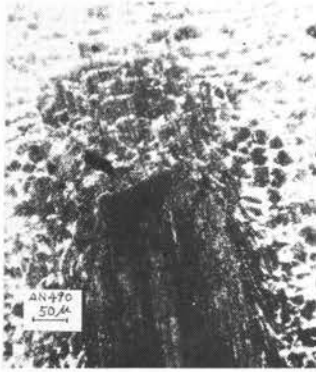


図-4(a) 焼なまし処理材切削速度490m/min

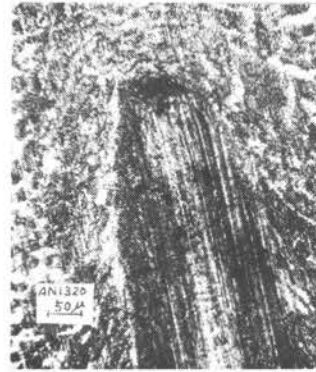


図-4(b) 焼なまし処理材切削速度1320m/min

形成している。図-4は焼なまし処理した場合で条こんのすくい面前方部分や側面の塑性変形域が黒く腐食されて観察される。図-2、図-3の焼入れ、焼ならしのものに比較して特徴的であるのは、焼なまし処理した材料を単粒研削した場合、白色変質層の存在が認められないことである。また切削速度の増加によって条こんのすくい面前方部分や側面の塑性変形域が拡大することが明らかになった。以上の三種類の熱処理が違う同一鋼を単粒研削した場合、白色変質層を形成しない焼なまし処理材は塑性変形が容易であり、焼入れ処理材は殆んど塑性変形域がなく工具材料間の摩擦抵抗による熱の影響が著しいことを示している。次にすくい面前方部分に生成している白色変質層の硬さを測定した結果、焼入れ処理材の場合切削速度に関係なくHv 1000で非常に硬くそしてもろい性質をしている。焼ならし処理材は切削速度が1650m/minの時Hv 1000を示し、490 m/minのときHv 500前後で低く金属組織からは同様の白色変質層に見られるが、硬度差から推定してこの微細な金属組織は異った構造をしているものと考えられる。次に白色変質層の幅については、切込み深さが増加すると幅も増加し切削速度が増加すれば幅も幾分増加する傾向がある。白色変質層に関する他者の研究として藤原⁶⁾や中島ら⁷⁾の報告がある。藤原は4340鋼 (Hv 513) を砥石を用いて苛酷な条件で研削したとき、62.5 μ の白色変質層が生成し変質層の硬度はHv 832の値を示すことを確認している。そしてこの部分の金属組織は非常に硬いuntemperedマルテンサイト構造であると言っている。一方中島らは S45C 鋼を研削液を使用して砥石で研削したとき、切削速度を増加させると白色変質層が形成され、研削熱の他に塑性流動の影響を少なからず受けることを示している。しかしながら変質層の金属組織については明らかでない。引続いて条こんをその谷の所で切削方向に切断してその断面の金属組織を観察した結果焼ならし処理材と焼なまし処理材のマトリックスは自由表面から36 μ の深さまでの金属組織は変形して切削方向に流動しておりしかも研削表面に近くなる程塑性流動は大きい。この点焼入れ処理材の方は白色変質層の厚さが3~5 μ 程度で、その下部のマトリックスの変形は認められない。

次に単粒研削によって生成した切りくずの形状や変形状態を走査電子顕微鏡を用いて観察し熱処理の違いが切りくず生成機構に及ぼす影響や変形の難易性からみた被削性に及ぼす影響について比較検討した。図-5(a)~図-5(h)は、焼入れ処理をおこなった S55C 鋼から生じた切りくずで、他の熱処理を行なった鋼から生じた切りくずに比較して切りくず形状の種類が多い。図-5(a)は扇状形の切りくずで一枚づつ単独で生成するかせいぜい二枚の切りくずのつながった形状のものが生成し、しかも焼入れ処理材から生じる切りくずの代表的な形状の切りくずである。図-5(b)は(a)を拡大して切れ刃先端に近い切りくずの部分に生成している粒状析出物に焦点を合せた。しか

しながら同一条件で切削しても常に析出物が発生しているわけではなく、この場合は切れ刃が鋼を研削して切れ刃先端やせん断変形して切りくずを生成している箇所は高温にまで加熱されその次の瞬間に急停止装置が作用するがこの時点の工具材料間は鋼の溶融温度に達する高温となり、切りくずの先端部分や切れ刃の先端に近い切りくずの箇所の表面が一部溶融した状態で切りくずを生成する。この溶融状態を観察したとき粒状の析出物となっているものと考えられる。急停止装置が作用した直後の熱の発生がより大きいという証拠は図-5(h)の条こん先端部分の図は条こん表面が溶融を起して粒状析出物を多数発生していることから明らかである。図-5(c)はラメラ構造をしたしばしば発生する切りくずであり、発生理由はいまだよくわかっていないが焼入れ硬度がいくらか低い時に発生する。しかし金属組織はマルテンサイトである。切りくず形状として他に図-5(d), (e)の球状切りくずが発生する。切削速度が高い図-5(e)の球状切りくずは球表面が熱の影響を多分に受けて粗大な表面状態を呈している。球は中空であり開口を有している。切削速度が1650m/minに増加すると図-5(c)や図-5(f)その他異形の切りくずが混入してくる傾向がある。図-5(g)は切削速度1650m/minの切りくずを拡大して先端部分に発生した粒状析出物を示す。切削速度の増加によって析出物の粒径は大きくなり、小さい粒を食って生長している様に見える。図-5(c)の連続型の切りくずは切削速度の増加によってラメラの間隔が狭くなり、切りくずの幅も狭くなる傾向がある。次に焼ならし処理した鋼から生成した切りくずを図-6(a)~図-6(d)に示す。焼ならし処理した鋼から生成した切りくず形状と焼なまし処理したものから生じた切りくず形状は非常に似ているが、ラメラ構造の中の変形状態に違いがある。図-6(b)は図-6(a)を拡大したものであるが、焼なまし処理材より生成した切りくず図-7(a)、さらに一部分を拡大した図-7(b)と比較するとラメラ構造の中は焼なましのそれと比較して表面は少し粗く、図-6(a)の下部にあるラメラの一部は切削方向と直角方向に波状の変形の跡がみられる。図-7(a), (b)の焼なまし材の切りくずはラメラの中は平滑であり波状の変形はなくせん断変形が容易に行われたことを示している。焼ならし材はこれらの変形状態からみて、変形抵抗は大きく被削性は焼なまし材に比較して劣るものと考えられる。図-6(b)と図-7(b)の切りくず形状からラメラの先端部分は焼ならし処理材の方が薄いように観察される。図-6(c), (d)は切削速度1650m/minのときの切りくずの表とその裏を示している。切削速度の増加によってラメラ構造の間隔は狭くなり、幅も減少する傾向がある。図-6(d)の切りくずの裏面には焼入れのときと同様の粒状析出物が見られる。図-7(c)は焼なまし処理材の切りくずで、1320m/minのときの切りくずを示す。焼なまし処理材の場合もラメラの間隔や切りくずの幅は切削速度の増加によって狭くなる傾向がある。焼ならし、焼なまし処理材の切りくずは、上述のように連続したせん断型切りくずであるが、切りくずの側面に向かって二次的な切りくずの発生が見られ、せん断型の平滑なラメラ構造の切りくずが生成した。図-

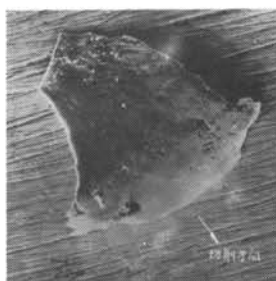


図-5(a) 扇形状切りくず
490m/min(焼入れ)×100



図-5(b) 扇形状切りくず
490m/min(焼入れ)×500

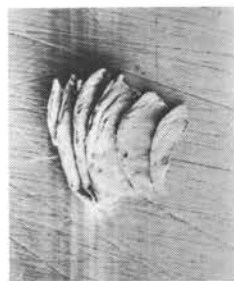


図-5(c) せん断形切りくず
490m/min(焼入れ)×100

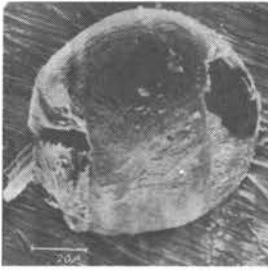


図-5(d) 球状切りくず
490m/min(焼入れ)×100

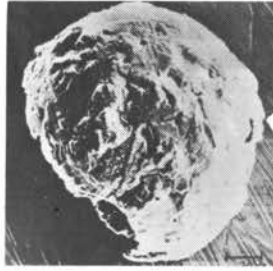


図-5(e) 球状切りくず
1650m/min(焼入れ)×100

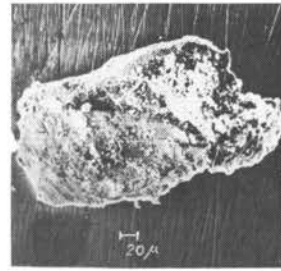


図-5(f) 異形切りくず
1650m/min(焼入れ)×100

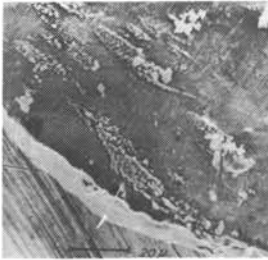


図5-(g) 粒状析出物
1650m/min(焼入れ)×500

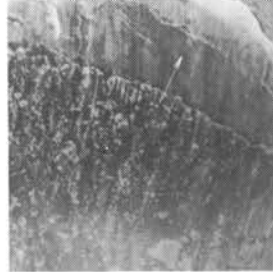


図-5(h) 条ごんの先端部
490m/min(焼入れ)×500

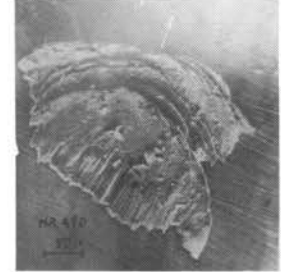


図-6(a) せん断形切りくず
490m/min(焼ならし)×100

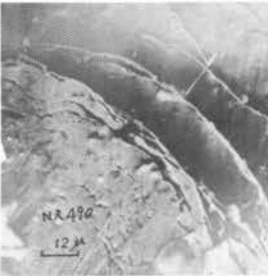


図-6(b) せん断形切りくず
1650m/min(焼ならし)×100



図-6(c) せん断形切りくず(表)
1650m/min(焼ならし)×100

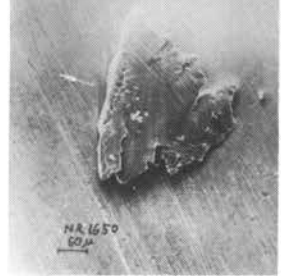


図-6(d) せん断形切りくず(裏)
1650m/min(焼ならし)×100

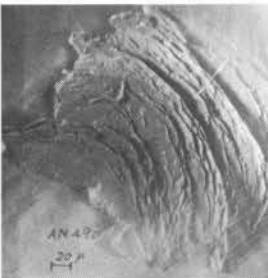


図-7(a) せん断形切りくず
490m/min(焼なまし)×100

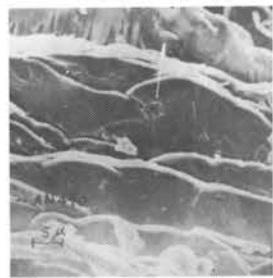


図-7(b) せん断形切りくず
490m/min(焼なまし)×100

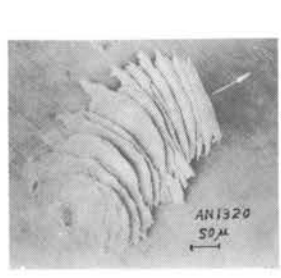


図-7(c) せん断形切りくず
1320m/min(焼なまし)×100



図-8(a) 白色変質層横断面(焼入れ)×600



図-8(b) 白色変質層レプリカ1320m/min(焼入れ)×3000

8(a)は焼入れ処理材の切削速度1320m/minで得られた条こんの横断面での金属顕微鏡組織である。図-8(b)はこの変質層の部分に焦点を合せたレプリカである。切削表面から約10 μ の部分が白色変質層であり、微細な金属組織をしており溶融温度近くまで温度が上昇して急冷されて生じたuntemperedマルテンサイトであると考えられる。さらに下層の針状組織は焼もどしを受けていることが明らかになった。切込み深さ50 μ で切削速度490 m/minの白色変質層の厚さは15 μ 程であり、切込み深さ32 μ 切削速度1650m/minの場合白色変質層は7 μ である。これらの関係からみて白色変質層の断面上における厚さは切込み深さの影響が大きいことを示している。次に焼ならし処理材の白色変質層は切削速度490 m/min、切込み深さ30 μ で厚さは約6 μ であり、1320m/min、切込み深さ40 μ で厚さ約10 μ となり、焼入れの場合と同様の傾向をしている。焼なまし処理材の切削速度490 m/min、切込み深さ56 μ のとき切削表面から66 μ 深さまでのパーライト組織が塑性流動を行っている。さらに焼なまし材の切削速度1650m/minの場合研削表面から6 μ の深さまでは金属組織が微細化しており、それより下層の15 μ 深さの所まではパーライト組織が熱の影響をうけて膨張している。焼なまし処理材は塑性変形能が大きいとはいえ、切削速度が増加すると熱の影響を無視出来ないであろう。

4. 結 言

- (1) 切りくずの変形状態からみた鋼の被削性は、焼なまし処理した鋼がよく、焼ならし処理、焼入れ処理の順に悪くなる。
- (2) 焼入れ処理や焼ならし処理した鋼は、切込み深さが増加すれば生成した白色変質層の厚さは増加する。
- (3) 速度効果として、焼ならし処理した鋼と焼なまし処理した鋼は、切削速度の増加によって塑性変形域を拡大する。
- (4) 速度効果として、切りくずの幅やラメラの間隔は、切削速度の増加によって減少する。
- (5) 焼入れ処理と焼ならし処理の鋼から生成した切りくずに粒状析出物がみられ、切削速度の増加によってその数と粒径を増加する。

最後に本研究の遂行にあたり終始御支援下さった大阪府立大学工学部井戸 守教授、喜田義宏講師と、レプリカ作成に協力下さった本校学校技師笠井三男君に衷心から感謝します。

参 考 文 献

- 1) E. D. Doyle and L. E. Samuels: Further Development of a Model of Grinding, Proc. Int. Conf. Prod. Engg., Tokyo, II, (1974)45.
- 2) E. D. Doyle: On the Formation of Quick-stop Chip during Single Grit Grinding,

Wear, 24, (1973)249.

- 3) 田中行雄, 人見宗男: 錐形工具による低速小切込み切削, 精密機械, 28.5 (1962) 268.
- 4) 岡村健二郎, 中島勝利: 砥粒切れ刃による切削現象の研究, 精密機械, 36, 5 (1970) 339.
- 5) 喜田義宏, 井戸 守, 秦 茂城: 被削材除去過程における切りくずの観察, 精密機械, 42, 2 (1976) 135.
- 6) 藤原晴夫: 加工変質層と精密加工, 機械の研究, 24, 9 (1972) 1161.
- 7) 中島耕一, 水谷嘉之: 機械加工による表面層の変化, 機械の研究, 26, 8 (1974) 1011.