

S55C の被削性に関する研究 -黒皮が工具寿命に与える影響-

Study on machinability of S55C - Effect of scale on tool life -

萩野将広* 井上孝司*

Masahiro Hagino Takashi Inoue

Summary

The surface of steel materials in the raw material state is covered with an oxide film (scale) due to the manufacturing process, and it is necessary to remove the scale during secondary processing by machining. It is empirically said that the tool life and finished surface quality are not stable due to the cutting environment at the production site when removing black skin by this cutting process. In this study, three types of heat-treated S55C round bars were turned without removing the black skin. The results of an experimental evaluation of the effects of the black skin remaining on the material surface on machinability and tool life are reported here.

キーワード : S55C, 工具寿命, 黒皮, 工具材種, 旋削

Keywords : S55C, Tool life, Scale, Tool material, Turning

1. 諸言

素材状態の鉄鋼材料は、その製造工程に由来して表面は酸化被膜(黒皮)に覆われており、切削加工による二次加工時には黒皮を除去する必要がある。この切削加工による黒皮除去において、生産現場の切削環境により工具寿命や仕上げ面品質が安定しないことが経験的にいわれている。一方で、これまでにその程度に関する報告例はみあたらず、さらには、鉄鋼材料の被削性評価において、汎用な熱処理条件による鋼種毎にまとめられたものが一般的であり、熱処理により金属組織や硬度を制御した場合の検討は不十分である¹⁾²⁾³⁾。

酸化膜とは、鉄鋼やアルミニウム、ステンレス等の金属類の表面に腐食によって生成されるものをいう。これは、さびや不働態皮膜とも呼ばれ、金属表面が水や酸素に触れることにより発生する⁴⁾。

また、腐食には湿食と乾食の2種類がある。水や酸(水を含む)など、また湿った空気(湿度60~70%以上)、湿った土など目に見えない形で水が存在する環境でも

発生する腐食を湿食という。これに対し、温度が高く、水がない状態で進行する腐食を乾食という。本実験での酸化膜は乾食によるものであるため、ここでは乾食について紹介する。

乾食は先に記したように空気中で起こる酸化であり、初期段階では常温空気中の酸素によって酸化され、表面に酸化物の皮膜を作っている。これは数十オングストロームと極めて薄く、透明で目にも見えず、腐食という意味では全く問題にならないが、温度を上げていくと酸化膜はもっと厚くなる。200°Cくらいから黄褐色、赤紫色、青色、緑色などの色が見えるようになり、これがさびと呼ばれている。2000 オングストローム以上になると黒い外観となり、一般的に黒皮と呼ばれるものになる⁵⁾。

工業界隈では、不働態被膜という酸化膜を意図的に生成し、腐食に強い金属加工をすることでステンレスなど錆に強い金属製品が作られている。酸化膜はイオン結合によるものであり、通常の金属結合より強度が高い。これにより工具刃先に酸化膜が生成されること

* 大同大学工学部機械工学科

で、工具寿命が長くなった実験例が確認されている⁶⁾。

一方、材料に酸化膜がついたまま加工を行うと工具刃先への負担が大きくなり、工具寿命が短くなることが考えられる。また、各種工具の推奨切削条件は酸化膜が無い状態を想定しており、酸化膜がある状態では性能低下も考えられる。このような理由により酸化膜を除去したのちに加工を行うのが一般的である。

以上を踏まえ、本研究では3種類の熱処理を行ったS55C丸棒に対して黒皮を除去しないまま旋削加工を行い、材料表面に残る黒皮が被削性および工具寿命に与える影響を実験的に評価した。

2. 実験条件

2.1 供試材

供試材は、一般的に流通しているS55C材(直径φ44mm×400L)を使用した。表1に使用したS55Cの化学組成成分を示す。

本研究では、同一ロットで購入したS55C材に対して異なる3種類の熱処理を施した。熱処理は次の通りである：焼ならし(NR)材、焼入れ・焼戻し(QT)材、球状化焼鈍し(SA)材。熱処理後のそれぞれの材料の硬さはNR材：217HV、QT材：294HV、SA材：174HVである。

2.2 実験装置と切削条件

2.2.1 実験装置

実験は汎用旋盤(オークマLS)を用いた。インバータによる無段変速機能を搭載した旋盤である。

切削抵抗力の測定には、ひずみゲージ型の切削工具動力計(三保電気製作所製：AST-TTM)を用い、仕上げ面粗さの測定には表面粗さ形状測定機(東京精密製：SURFCOM TOUCH)を用いた。また、寿命試験にお

Table1 Chemical composition of S55C (mass/%)

| C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | Te | Fe |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| 0.52 | 0.12 | 0.71 | 0.018 | 0.012 | 0.13 | 0.07 | 0.11 | 0.18 | Bal. |

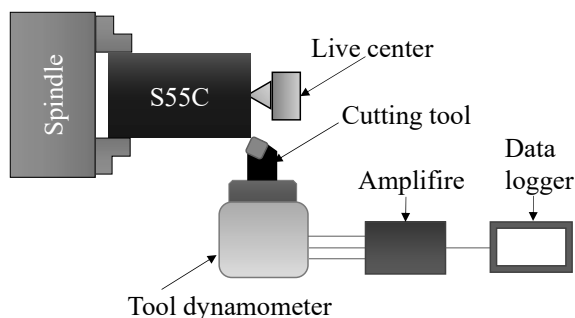


Fig.1 Measurement method of cutting force

る工具摩耗の測定には、マイクروسコープ(Dino-lite)および測定顕微鏡(ニコン：MM-400LU)を用いた。

2.2.2 切削工具

切削工具は、超硬合金M種と、サーメットの2種類でノーズ半径0.8mmの正方形型のインサート(SNGA120408)を用い、取り付け形状(-6,-6,6,6,,15,15,0.8)で切削を行った。

超硬合金M種の合金成分はWC-TiC-TaC-Coとなっており、主にTiC,TaCを適度に含んでいるため、熱的・機械的損傷ともに強いものとなっている。サーメットの合金成分はTiC-TiN-WC-Mo-Niとなっている複合材料で、一般的に耐熱性や耐摩耗性が高い。

2.2.3 実験方法

切削条件は、一回転当たりの送り量0.1mm/rev、径方向切込み量0.5mmで固定し、切削速度50m/min, 100m/min, 150m/minの3種類の組み合わせで実験を行った。各条件15秒, 30秒, 60秒, 180秒, 300秒の切削時間で最長300秒まで切削を行い、切削抵抗力, 工具逃げ面摩耗量, 仕上げ面粗さを測定した。

図1に示すように、切削抵抗力の測定は旋盤の刃物台に切削工具動力計を取り付け、アンプを介してデータロガーにて記録する。

図2に示すように、仕上げ面粗さの測定は、断面を90度間隔で分割した4か所の仕上げ面上で粗さ計の触針を工具送り方向に走査し記録する。この平均値を仕上げ面粗さとし、算術平均粗さRaを測定した。

3. 実験結果

3.1 工具材種の違いが被削性に与える影響

切削時間と工具逃げ面摩耗量の関係から工具寿命を評価した結果および被削性評価を行った結果の一部を報告する。

3.1.1 工具材種の違いが工具寿命に与える影響

図3に超硬M種とサーメットでNR材の切削を行い工具逃げ面摩耗と切削時間の関係から工具寿命を評価

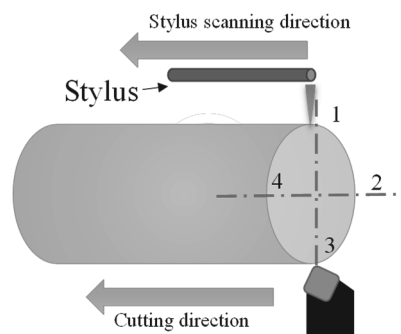


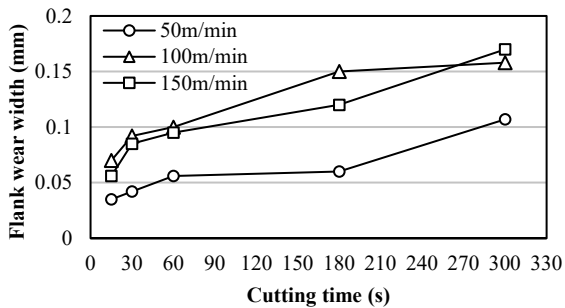
Fig.2 Measurement method of surface roughness

した結果を示す。

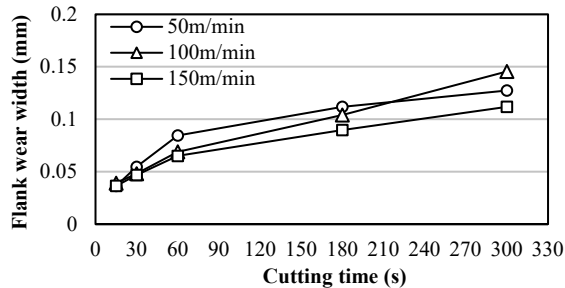
また、図4には、切削開始直後15秒地点での工具逃げ面を観察した様子を示す。

図3より、どちらの工具も切削時間の増加とともに逃げ面摩耗幅が増加していった。

図3(a)に示す超硬M種の結果では、切削速度50m/minの工具逃げ面摩耗幅がたと比べ小さい値を示した。これは構成刃先が影響しているものと考えられる。図4に示した工具逃げ面の観察結果によると、図4(a)に示す超硬M種では切削開始15秒後にはすでに構成刃先が成長していることが確認できる。一方で図4(b)のサーメットでは構成刃先は確認されなかった。この構成刃先により超硬M種の切削速度50m/minで工具摩耗が小さくなったと考えられる。

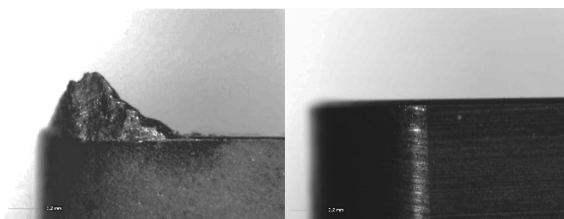


(a) WC tool M type



(b) Cermet

Fig.3 Relationship between flank wear width and cutting time



(a) WC tool M type

(b) Cermet

Fig.4 Flank wear conditions at 15 second after beginning turning (V=50m/min)

工具材種の違いで摩耗量を比較すると、超硬M種と比べ、サーメットの摩耗量が低い結果であった。これは、サーメット工具は鉄鋼材料向けの特性を持っており、耐溶着性に優れていることで構成刃先や切りくずの刃先への凝着を抑制できたことが影響していると考えられる。特にその効果は切削開始初期に表れており、超硬M種は切削初期に摩耗量が急激に増加しているが、サーメットは初期摩耗の立ち上がりが緩やかである。

この結果より、サーメット工具を用いた場合に長い工具寿命が得られると考えられる。

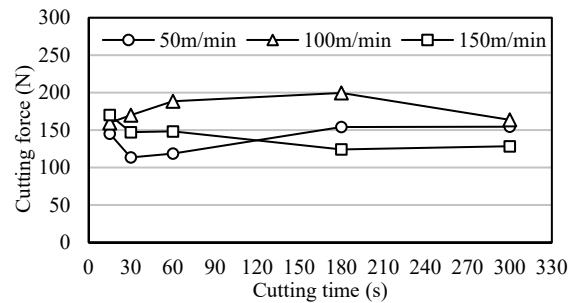
3.1.2 工具材種の違いが切削抵抗に与える影響

図5に超硬M種とサーメットでNR材の切削を行い、切削抵抗力を測定した結果を示す。

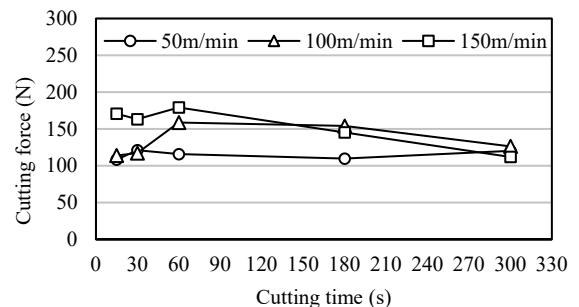
図5(a)に超硬M種、図5(b)にサーメットの結果を示す。この結果は前項3.1.1に示した実験の結果と同時に測定を行ったものである。なお、切削抵抗力は、主分力、送り分力、背分力の3分力の合力を切削抵抗力として示している。

結果、超硬M種に比べサーメットでは、切削時間300秒地点で約20%切削抵抗力が低くなった。前項3.1.1でも考察した通り、工具摩耗が小さく構成刃先等の刃先への切りくず凝着が無かったことが影響していると考えられる。

図5(a)に示す超硬M種では切削時間60秒まで切削速度50m/minの切削抵抗力が低くなっている。これは



(a) WC tool M type



(b) Cermet

Fig.5 Relationship between cutting force and cutting time

構成刃先ができることにより、刃先のジオメトリが変化したことが影響していると考えられる。その後、構成刃先の成長と脱落を繰り返すことで摩耗量が増加し、それに合わせて切削抵抗も増加していったものと考えられる。

しかしながら、どちらの工具においても 300 秒程度の切削では大きな切削抵抗力の変動は認められなかった。

3.1.3 構成刃先が仕上げ面粗さに与える影響

図 6 に超硬 M 種で NR 材の切削を行い、仕上げ面粗さを測定した結果を示す。この結果も前項までの実験結果と同時に測定しているものであるが、構成刃先の成長が確認できた超硬 M 種のみでの測定結果を示す。

この結果、構成刃先の成長が顕著であった切削速度 50m/min の仕上げ面粗さが粗くなった。

次に示す式(1)を用いることで理論粗さ R_y を求めることができる。

$$R_y = \frac{f^2}{8 \cdot r} \quad \dots (1)$$

f : 一回転当たりの送り量

r : 工具ノーズ半径

式(1)より、本実験で用いた超硬 M 種の理論粗さは $1.56\mu\text{m}$ となり、図 6 を見ると、切削速度 100m/min と 150m/min の仕上げ面粗さはおおむね理論値通りであると言える。そのため、切削速度 50m/min で仕上げ面粗さが粗くなった主たる原因は構成刃先にあると言える。構成刃先が生じることで刃先丸みが不均一となること、刃先ジオメトリの変化により径方向切込み量に変化が生じることが、この粗さ増加の原因であると考えられる。

3.2 熱処理の違いが被削性に与える影響

同一ロットの S55C 材に対して 3 種類の熱処理を施した材料に対して超硬 M 種のインサートチップを用いて

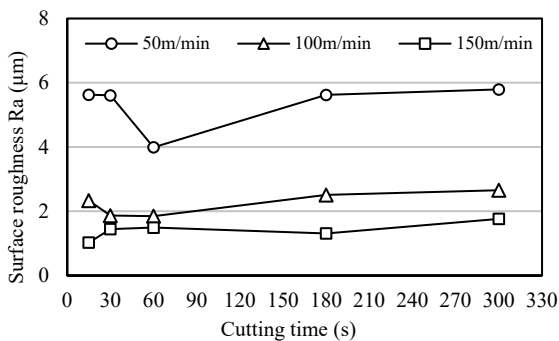


Fig.6 Relationship between surface roughness and cutting time

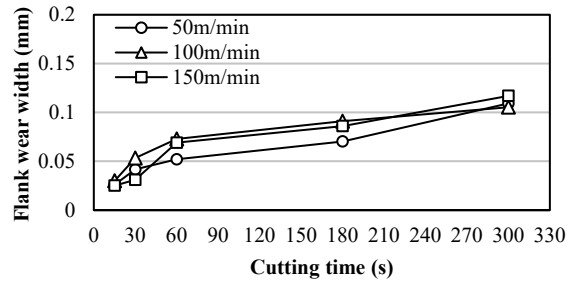
被削性を評価した結果を説明する。なお、NR 材の結果については前節の結果 (工具摩耗: 図 3(a), 刃先の様子: 図 4(a)) をそれぞれ参照されたい。

3.2.1 熱処理の違いが工具摩耗に与える影響

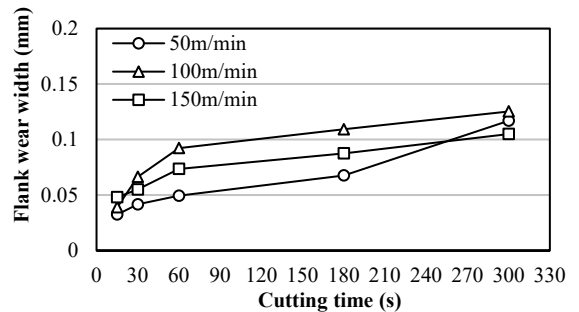
図 7 に QT 材, SA 材を超硬 M 種で 300 秒まで切削した際の逃げ面摩耗幅と切削時間との関係を示す。また、図 8 には QT 材および SA 材を加工した際の切削開始直後 15 秒地点での工具逃げ面を観察した様子を示す。

図 7(a)に示す QT 材では、切削時間の増加と共に摩耗量が大きくなっているが、60 秒から 300 秒までの変化が小さい。また、図 3(a)に示す NR 材と比べた場合、摩耗量は小さく、図 8(a)に示すように構成刃先も生じにくい結果であった。

図 7(b)に示す SA 材では、QT 材と同様に切削時間の

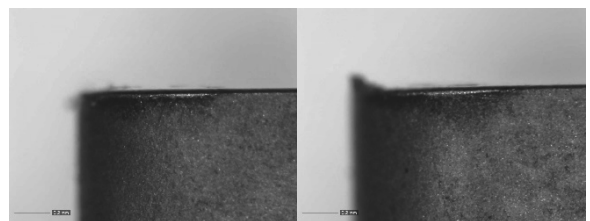


(a) QT



(b) SA

Fig.7 Relationship between flank wear width and cutting time



(a) Cutting on QT

(b) Cutting on SA

Fig.8 Flank wear conditions at 15 second after beginning turning (V=50m/min, WC tool M type)

増加と共に摩耗量が大きくなっているが、NR 材より低く QT 材と同程度の工具摩耗量であった。しかし、SA 材は切削速度に係わらず、構成刃先や刃先への切りくず凝着が生じていた。

この結果について、素材の硬さとの相関が無いか検討したが、著しく硬さの異なる QT 材と SA 材の工具摩耗推移が類似していた。一方で QT 材と硬さが近い NR 材で工具摩耗が大きくなる結果であり、硬さとの相関は明確でなかった。

本実験では、同一切削条件、同一工具を用いて、異なる熱処理をした S55C の切削を行っているため、この熱処理条件の違いが構成刃先や凝着物の発生に影響を与えたと考えられる。

図 9 に切削速度 100m/min で各材料を 300 秒切削した後の工具逃げ面の様子を示す。鉄鋼材料の切削加工では、切削速度が増すと構成刃先が成長しにくいですが、SA 材では切削速度 100m/min においても構成刃先が成長していた。SA 材は球状化焼鈍し処理を施しており、NR 材や QT 材と組織が異なるため、この違いが影響したと考えられる。

4. まとめ

本研究では、3 種類の熱処理を行った S55C 丸棒に対して黒皮を除去しないまま旋削加工を行い、材料表面に残る黒皮が被削性および工具寿命に与える影響を実験的に評価した。先の研究成果²⁾でも報告している通り黒皮を除去しないまま切削を行うことで、熱処理によ

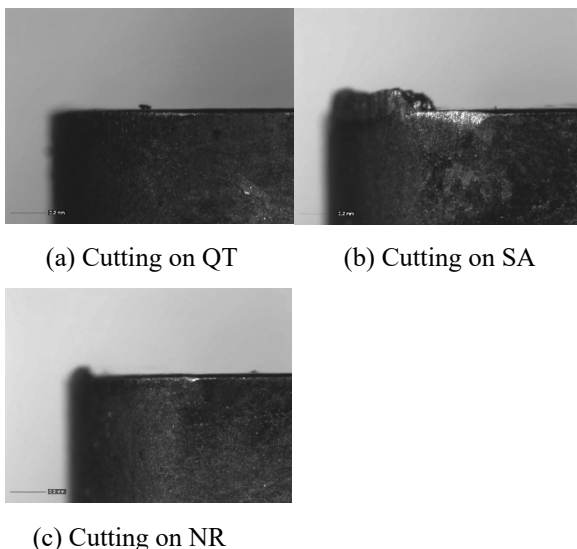


Fig.9 Flank wear conditions at 300 second after beginning turning (V=100m/min, WC tool M type)

るひずみや黒皮の厚み変化など不安定性がある中での実験であったが、以下のことを明らかにした。

1. 超硬工具では低い切削速度の場合に、構成刃先が顕著に表れ、仕上げ面粗さを粗くする。
2. サーメット工具は超硬 M 種に比べ S55C の切削加工に適している。
3. SA 材では高い切削速度域でも構成刃先の成長が著しい。
4. 超硬 M 種で NR 材を切削加工した場合逃げ面摩耗幅が QT 材、SA 材と比べて大きい。

5. 謝 辞

本研究は日本鉄鋼協会創形創質工学部会切削フォーラム研究会として実施した S55C の被削性に関する成果の補完的な位置づけで実施したものである。

研究を遂行するにあたりご協力いただきました、近畿大学生田明彦先生、福井大学岡田将人先生、岡山理科大学竹村明洋先生、熱処理を実施いただいた大同特殊鋼株式会社、日本製鉄株式会社、愛知製鋼株式会社の担当者様、また実験を担当いただいた大同大学工学部機械工学科の添田翼氏と原田碧氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡里宏二, 今浪祐太, 住田庸, 井上圭介, 藤松威史, 江村聡, 生田明彦, 井上孝司, S55C の被削性に及ぼす組織と加工条件の影響, 材料とプロセス, Vol.30, pp.794, (2017).
- 2) 岡田将人, 萩野将広, 竹村明洋, 江村聡, 井上孝司, 生田明彦, 炭素鋼の黒皮除去における切削特性の不安定性, 材料とプロセス, Vol.33, pp.552, (2020).
- 3) 竹村明洋, 生田明彦, 萩野将広, 井上孝司, S55C 鋼の被削性及び仕上げ面残留応力に及ぼす熱処理の影響, 材料とプロセス, Vol.34, pp.406, (2021).
- 4) 堀石七生, 鑄の化学, 日刊工業新聞社, p2, (2015).
- 5) 松島巖, 鑄と防食のはなし, 日刊工業新聞社, (1987) pp.11-12, (1987).
- 6) 鳴瀧 則彦, 山根 八洲男, 白杵 年, 顔 炳華, 桑名隆, 高速切削における硫黄快削鋼の被削性, 精密工学会誌, 53 巻 3 号, pp.455-460, (1987).

