

材料異方性とドリル加工性の関係について

Relation Between Material Anisotropy and Drilling Performance

佐藤崇弘・鈴木好明・菊井一樹・加藤明

Takahiro Sato, Yoshiaki Suzuki, Kazuki Kikui, Akira Kato

一般に材料製造工程の中で圧延を行った鉄鋼材料は、材料異方性を持ち、材料の方向によっては材料特性（引張強度・伸び等）に差が生じる。そこで、材料異方性を持った被削材（SKD11）を異なる方向からドリル加工を行い、そのときの工具摩耗等について違いを検証した。その結果、圧延方向に加工を行うと工具摩耗が進行しやすいことがわかった。

Generally the iron and steel materials that have been rolled have materials anisotropy, and machine characteristics are known to be different by the direction of materials. In mold-making industry, the direction of the material might be chosen in consideration of the stress action at the press. However, it is not clarified of the relation between cutting performance and the material anisotropy. Therefore it drilled work material of the difficult direction of SKD11 and examined frank wear. As a result, it was clarified to relation between material anisotropy and drilling performance.

1. はじめに

一般に、鉄鋼材料の製造工程で圧延を行う材料は、ミクロ的に見ると図1に示すように金属組織がファイバー方向（圧延方向）に流れ、材料異方性を示すことが知られている。この材料異方性に伴う機械的性質は、図2、表1に示すように方向によって大きく異なるため、金型製造企業では、材料から型材を採取する際に、プレス時の応力作用の特長を考慮して方向を選ぶこともある¹⁾。

材料異方性が現れやすいSKD11は、金型のみならず治具部品等さまざまな方面で利用されている。部品として加工精度を要求されるため、熱処理後に切削を行う必要があるが硬度が高いため、切削性に問題がある。

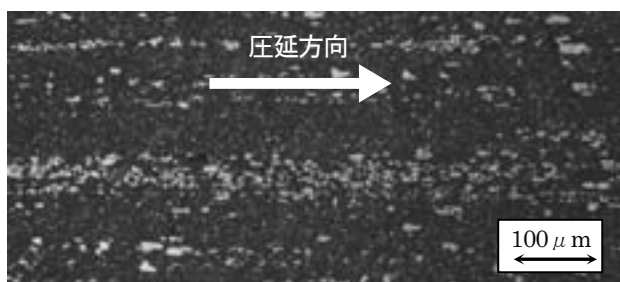


図1 材料異方性を持つ金属組織 (SKD11)

そこで材料異方性が、切削加工に与える影響を調査するために、焼入鋼SKD11のそれぞれのファイバー方向にドリル加工を行い、そのときのドリル加工性（工具摩耗、切削抵抗、加工断面状態、切り屑）について検証を行った。

2. 実験装置および実験方法

使用した実験装置を表2に示す。実験装置は、縦型マシニングセンターに切削動力計を取り付け、その上に被削材を固定し実験を行った。

被削材は、SKD11の焼入れ焼戻し材料で、硬度は3

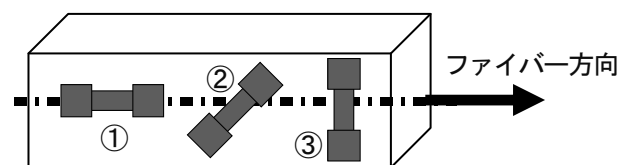


図2 引張試験片採取方向

表1 材料方向性と機械的性質の関係¹⁾

試験方法	採取方向	破断応力 (kg/mm ²)	伸び (%)
引張り	① ファイバー方向	133	0.16
	② ファイバー45°方向	102	0.06
	③ ファイバー直角方向	75	0

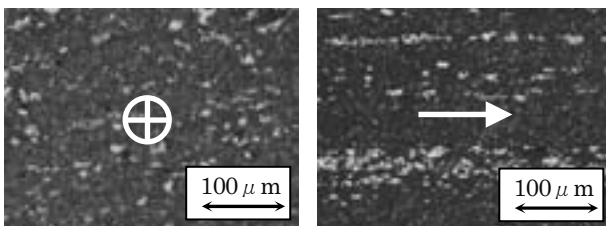
カ所平均値で HRC60.3 であった。また、SKD11 のファイバー方向とそれに対して直角方向から見た金属組織を図3に示す。通常非常に硬いCr炭化物等(写真の白い塊)を含まない材料は、焼入れ焼戻しを行うことによって材料の方向性は薄れる。しかし SKD11 は、粗大な一次炭化物(30 μm 程度)と、微細な二次炭化物(5 μm 程度)とがあり、一次炭化物は熱処理により変化せず材料異方性を持ったままであるが、二次炭化物は、熱処理により基地に溶け込んだり、析出したりするため、方向性は薄れることが知られている²⁾。

工具は、図4に示す焼入鋼用のドリル TiSiN 系コーテッド超硬ドリルを用いて実験を行った。

表3に切削条件を示す。切削条件としては、カタログの推奨条件を用いて加工を行い、加工方向をファイバー方向に向かって穴加工した際と、ファイバー方向に対して直角方向に向かって穴加工した際の工具摩耗、加工面、切削抵抗値、加工面粗さを比較した。切削油は植物系不水溶性切削油剤を用いて、ドリルの静的振れ量は5 μm 以内とした。

表2 実験装置

使用機器	メーカー	型式
マシニングセンター	オークマ(株)	MC-4VA
切削動力計	キスラー(株)	9272
マイクロスコープ	(株)オムロン	VC4500
形状測定顕微鏡	(株)キーエンス	VK9500



(a) ファイバー方向 (b) ファイバー直角方向

図3 SKD11のそれぞれのファイバー方向における金属組織

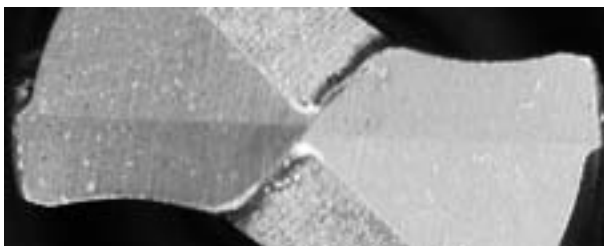


図4 TiSiN系コーテッド超硬工具

3. 実験結果と考察

3.1 工具摩耗

図5に材料方向とショルダー部の工具摩耗量の関係を示す。なお、実験は2回実施し、そのときの平均値を示す。この図より、ファイバー直角方向に加工するよりも、ファイバー方向に加工した方が工具摩耗の進行が早いことがわかる。また加工穴数が増えるに従い、工具摩耗量の違いが大きくなってきている。

このときの工具の状態を図6に示す。この図より、どちらの条件でも60穴を越えるとショルダー部に溶着が見られる。また、加工穴数の増加に伴い、切削温度が上昇し、工具表面の色が変化していることがわかる。色の違いに着目すると、ファイバー方向に加工した工具表面が早くから変色していることがわかる。これは、工具摩耗の進行の違いによる切削温度の影響が表れていると推測される。

表3 切削条件

加工方法	止まり穴加工	
切削油	植物系不水溶性切削油	
加工深さ	12mm(L/D=4)	
加工条件	切削速度	20m/min
	送り量	0.03mm/rev
	工具突出し量	30mm
	工具径	ϕ 3mm

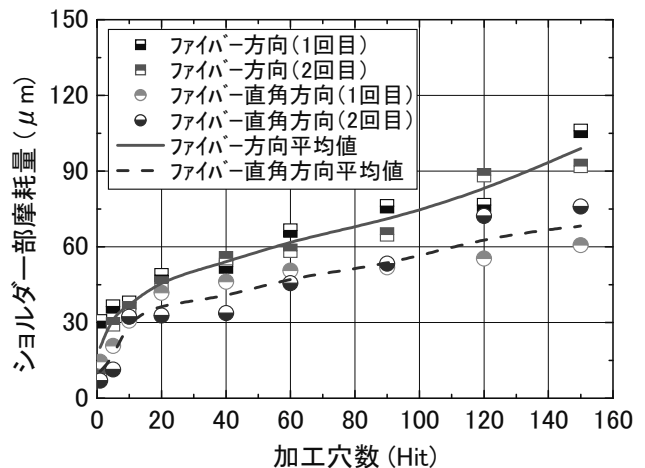


図5 材料方向性と工具摩耗量の関係

3.2 切りくずの形態

図7にそれぞれ異なる材料の方向に加工した際の代表的な切りくず断面組織写真を示す。この図より、ファイバー方向に加工した際の切り屑は、むしれ形の切り屑になっており、ファイバー直角方向に加工した際の切り屑は、流れ形の切り屑になっていることがわかる。また、図3の組織写真同様、炭化物の形状に違いが見受けられる。

3.3 切削抵抗

図8に1穴目のスラスト力波形を示す。この図より、

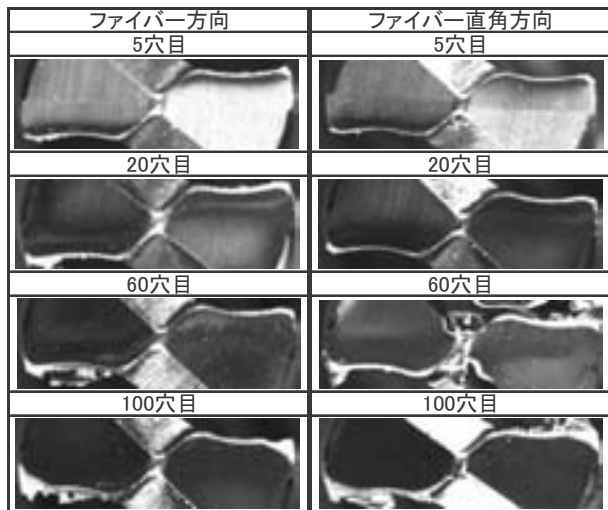
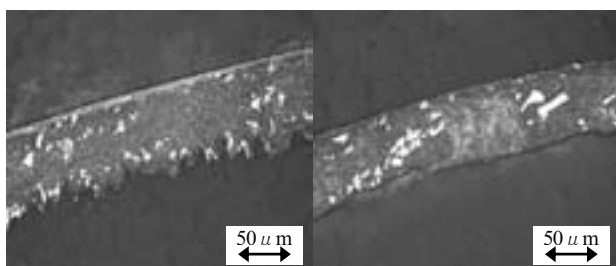


図6 工具摩耗状態



(a) ファイバー方向 (b) ファイバー直角方向

図7 切りくずの状態

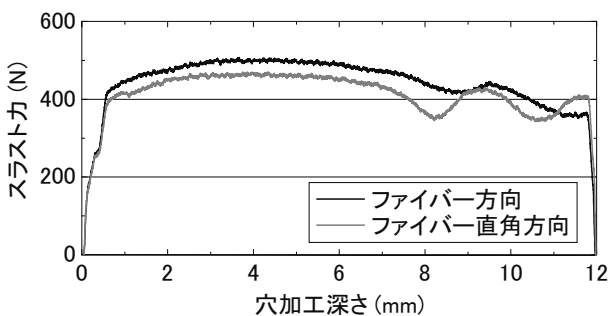
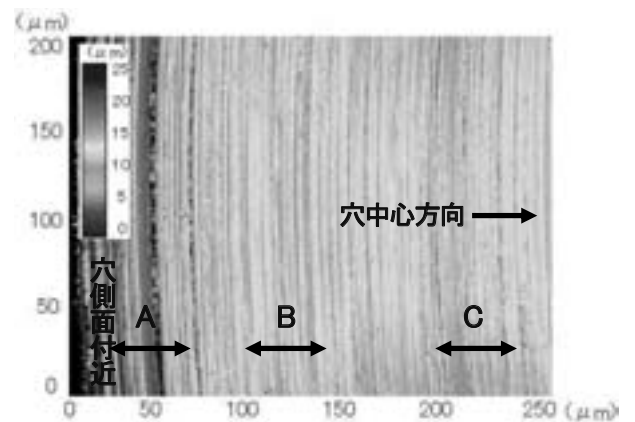


図8 1穴目のスラスト力波形

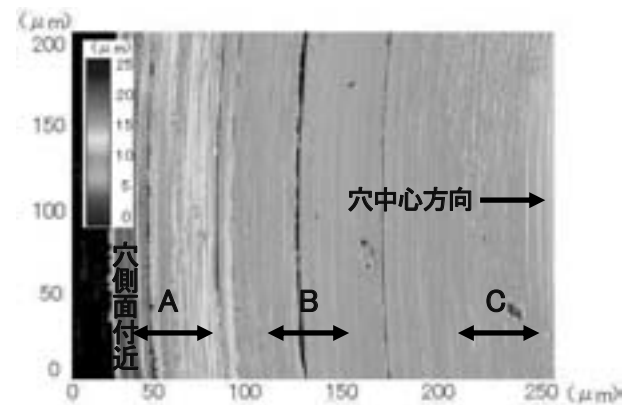
ファイバー方向に加工した方が若干ではあるが工具の負荷が大きいことがわかる。

3.4 表面粗さ

加工方向の違いにおける切削現象を見るために、図9に止まり穴加工後の穴底面の表面状態を、図10に穴底面の表面粗さを示す。この図より、ファイバー方向に加工を行うとファイバー直角方向と比べて全体的に穴底面の表面粗さが約2倍悪化していることがわかる。また、側面から穴中心付近に行くほど表面粗さが良好になっている。



(a) ファイバー方向に加工した際の穴底面



(b) ファイバー直角方向に加工した際の穴底面

図9 穴底面の表面状態

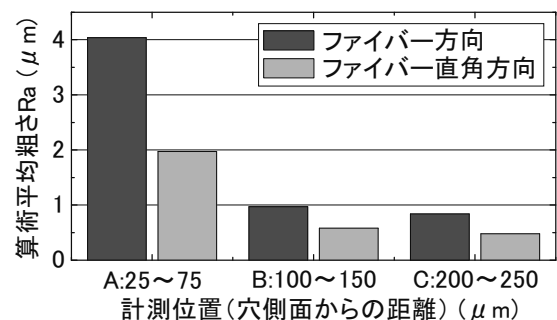


図10 穴底面の表面粗さ

4. おわりに

本研究では、冷間工具鋼である SKD11 の焼入鋼を用いてドリル加工を行い、材料方向性と切削現象との関係を調査した。

その結果、以下のような結論を得た。

- 1) ファイバー方向よりファイバー直角方向にドリル加工した方が、工具への負荷が小さく、工具摩耗が抑制されることがわかった。
- 2) 穴底面は、ファイバー方向よりファイバー直角方向に加工した方が、良好な表面状態になることがわかった。

これは、次の2つの原因が推測される。

①破壊の進展方向の違い

図 11 に示すようにファイバー方向に加工を行うときは、ドリルの刃がファイバー方向に対して直角方向にあたる。その時の切りくず生成現象は、ファイバー直角方向に工具による亀裂が進展し、破壊が起こる。破壊方向は、表 1、図 12(a)に示すように引張強度・伸びが大きい方向に進展するため、切削抵抗が大きくなり、工具摩耗が進み、表面粗さが悪化したものと推測している。

逆に、ファイバー直角方向に加工を行うときは、ファイバー方向に工具による亀裂が進展し、破壊が起こる。破壊方向は、図 12(b)に示すように引張強度・伸びが小さい方向に進展するため、切削抵抗が若干小さくなり、工具摩耗が進みにくかったと推測している。

②炭化物の形状の違い

工具摩耗の要因でもある非常に硬い炭化物³⁾の形状の違いも影響している可能性もある。図 11 に示すように、ファイバー方向に加工すると刃先が炭化物を直接切削する可能性が大きくなる。ファイバー直角方向に加工すると炭化物は形状を保ちながら切りくずの母材内に押し込まれるため、工具寿命が比較的延びたものと推測される³⁾。

謝辞

本研究は、日本自転車振興会から競輪の収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けた設備を利用して研究したものであります。

参考文献

- 1) 河野 公一；耐熱材加工用工具，機械技術, Vol. 50, No. 13, pp. 33-35, (2002).
- 2) 日立金属工具鋼株式会社ホームページ
URL: http://www.hitachi-metals-ts.co.jp/zatsugaku/steel_org.html
- 3) 中川；金型用焼入れ鋼のエンドミル加工に関する研究, 精密工学会誌, Vol. 67, No. 5, pp. 834-838, (2001).

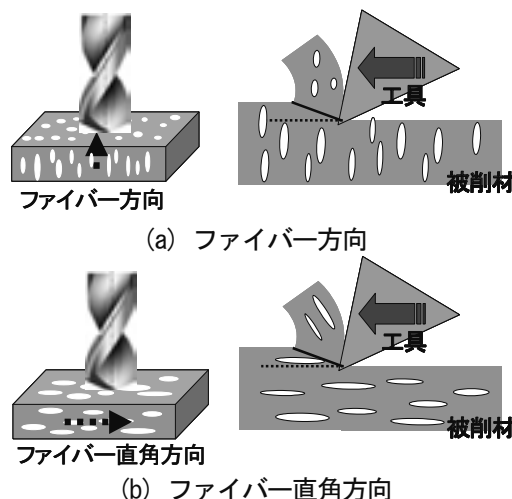


図 11 切りくず生成現象模式図

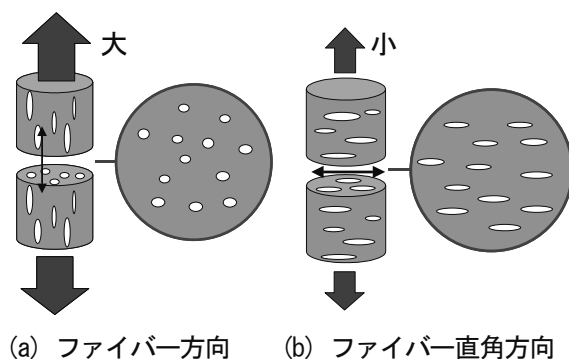


図 12 破壊進展方向と引張強度について