

ダレ無しファインブランキング (FB) に関する研究

日本工業大学 機械工学科
教授 神 雅彦
(平成 22 年度一般研究開発助成 AF-2010026)

キーワード：ファインブランキング，だれ，材料拘束，FEM，金型材料，潤滑剤

1. 研究の目的と背景

特に自動車産業において、機械加工部品をコストダウンの観点からプレス加工部品に代替する試みが盛んになされており、その中でも、精度的にファインブランキング (FB) が注目を浴びている。FB においては、一般プレス加工では困難な全面せん断面を得ることができることは広く知られている。

しかしながら、一般機械加工品を FB 製品で置き換えるときに、機械加工品では得ることが容易な「だれ無し」特性を求められる事は頻繁に発生するが、FB で「だれ無し」製品を得るのは容易なことではない。そのため従来は FB 製品のだれ部をやむを得ず機械加工で除去するという FB の良さを減殺してしまい、コストも上昇させてしまう後処理が行われてきた。

このような問題点に鑑み、本研究の第 1 の目的は前述の FB 時において、だれが生ずる根本的メカニズムを理論的、実験的に追求することとした。すなわち、丸型パンチによる FB を想定し、そのプロセスの理論的解析に関して有限要素プログラム DEFORM 2D を使用して実施した。FEM 解析を通じて、だれ発生メカニズムを十分理解し、極小だれを得るためのキーポイントを発見することとした。特定の板厚、材質の被加工材による FB に関して、板押さえ力や逆押さえ力などについて、極小なだれを得るための最適解を得ることとした。

第 2 の目的は、如上のパラメータの組み合わせにより実際のだれ無し FB 製品が得られるかどうかに関して、実際の FB 金型により、FB プレスを使用して検証実験を行なうこととした。すなわち、特定の板厚 (特に厚板)、材質 (ステンレス材のようなだれの出易い材料)、輪郭形状 (丸形状以外の複雑輪郭形状) の FB 製品を想定し、そのための FB 金型を製作した。同金型を 4,000kN 油圧式 FB プレスに装着して、実際の FB を実施し、目標とするだれ無し製品が得られることを確認した。

第 3 の目的は、実際の生産に応用できる事を目標とした検討を行った。まず、本研究による技術に限らず、ある程度の回数の打抜きを行い、型の摩耗状況などを調査するとともに、最適金型材質について検討した。一方、同上の実際打抜きに対して、良好な潤滑剤に関して検証実験した。この際には環境負荷を低減させ得る脱塩素潤滑剤がどの

程度適用可能かについて、重点的に調査した。

2. 研究内容と成果

2・1 材料拘束による FB におけるだれの低減

(1) 材料拘束の効果に関する FEM 解析 FB 歯車製品の切り口面の実例を図 1 に示す。歯車部品の FB は自動車用途を中心に数多く生産されている。この場合の問題点は、刃先部においてだれが過大になることである。歯車においては、接触幅さが歯車の負荷性能に影響を与えるので、接触幅を短くするだれの許容公差は厳しい。さらには、歯車以外においても凹凸の厳しい部品は多く、FB における大きな問題点となっている。

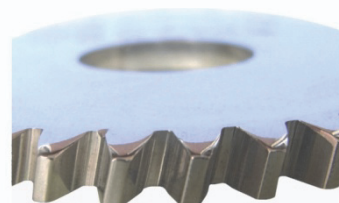
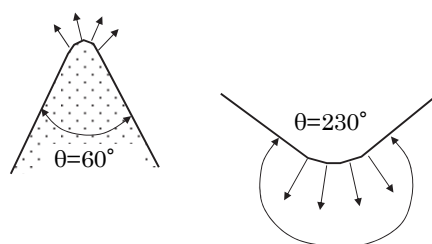


図 1 FB 歯車製品の切り口面の実例

従来研究により、FB におけるだれの発生の状況は図 2 のようになることが知られている。すなわち、図(a)の凸輪郭形状においては、材料は製品側からスクラップ側へと流動し、結果的に製品凸部に大きなだれが発生する。それに対して、図(b)の凹輪郭形状においては、材料は、逆に移動するため、製品側にだれが発生しない。この事実は、前出の図 1 における歯車の歯底部にはだれがほとんど発生していない状況から理解できる。



(a)凸輪郭

(b)凹輪郭

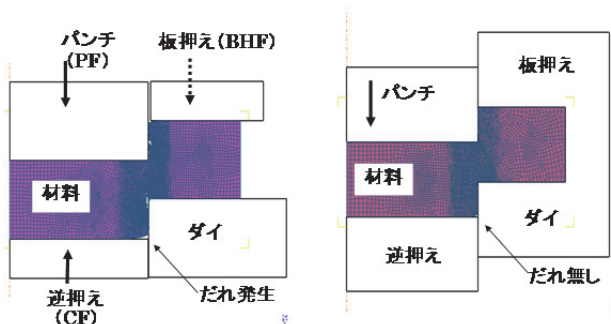
図 2 FB における材料の流動方向

一般的に、FB においては、図 1 からわかるように、切り口面に破断面を発生させずに平滑なせん断面を得るために、板材をダイと板押さえ、およびパンチと逆押さえにより強力で押し込め、材料内部に静水応力を作用させて打抜きを行う。また、ダイとパンチのクリアランスも ~20 μm 程度と極めて小さい。そのため、基本的に材料の逃げ場は少なく、結果的にだれの発生も少ないものと考察できる。

本研究では、まず、だれの発生状況を理論的に調べるために、FEM 解析を行った。解析の条件を表 1 に示す。解析ソフトウェアには、DEFORM2DVer.5 を使用した。解析モデルは、2 次元軸対象モデルとし、材料を剛塑性体、工具を剛体として定義した。この条件において、一般的な FB 打抜きの場合と、材料を上下および円周方向を剛体で完全拘束した場合とで、だれの発生状況を調べた。FEM 解析結果の一例を図 3 に示す。

表 1 FEM 解析条件

解析モデル	2 次元軸対称
材料定義	材料：剛塑性体，工具：剛体
材料定数	S45C ($\sigma_B=530\text{MPa}$ ， $\lambda=26\%$)
材料構成式	$\sigma=850e^{0.478}+385$
延性破壊条件式	Rice&Tracy の式



(a)一般的な FB (b)材料を完全拘束した FB

図 3 だれの発生状況に関する FEM 解析結果

図(a)の一般的な FB では、パンチ力 PF、逆押さえ CF および板押さえ BHF により材料を拘束しているものの、板幅方向の拘束はなく、解析した条件において、だれおよび微小な破断が発生していることがわかる。それに対して、図(b)のように、材料の周囲を完全に拘束してしまった場合、すなわち材料の外部への流動が無い理想状態とした場合には、だれと破断面の発生がないことがわかる。このことから、材料の外部への流動を極力抑制することにより、だれを極小化できるものと考えた。

(2) 材料拘束金型の製作、実験装置および方法 先の考察結果を実際の製品において検証した。製品形状には、図 4 に示すように、凸部および凹部を交互に有する輪郭形状の試験片を準備した。

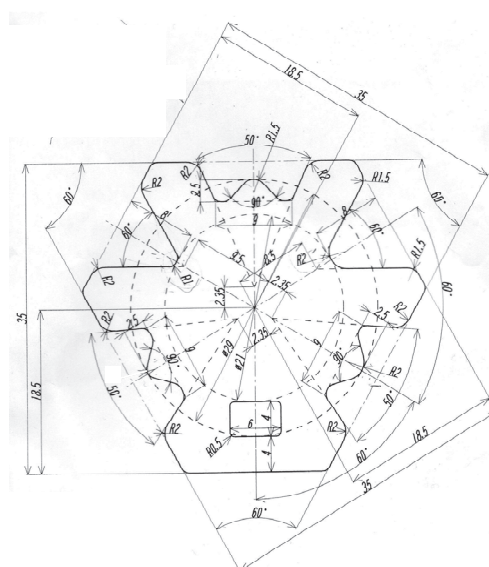


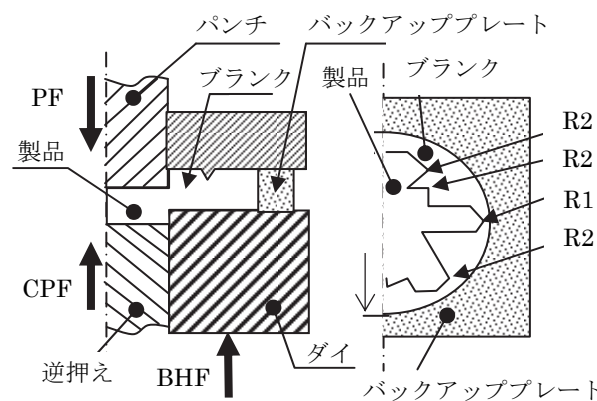
図 4 凸凹輪郭形状を有する試験片

表 2 FB 実験条件

ブランク材質	S45C, $\phi 49, 54, 59\text{mm}$, $t=4\text{mm}$
直径, 厚み	SUS316, 同上
クリアランス	0.02mm (片側)
板押え, 逆押え力	BHF=700kN, CPF=300kN
パンチ形状	直径 $\phi 39.98\text{mm}$, 刃先 R0.02mm
ダイ形状	直径 $\phi 40.00\text{mm}$, 刃先 C0.3mm

実験条件を表 2 に示す。ブランクには、炭素鋼 S45C およびステンレス鋼 SUS316 の 2 種類を用いた。板厚は $t=4\text{mm}$ とした。板押さえには V 字突起を設け、ダイ切れ刃には C0.3 のチャンファを設けた。

金型構造および製品形状の概略図を図 5 に示す。実験では簡易的に、表 2 に示した円形ブランクをバックアッププレートで囲う方法で材料の板幅方向を拘束し、FB 時の材料の板幅方向への流動を制限した。バックアッププレートには、SKH51 (60HRC) を使用し、ワイヤー放電加工により内径が $\phi 49, \phi 54, \phi 59\text{mm}$ の穴を加工し、材料を圧入した。



(a) 金型断面構造 (b) 製品部形状

図 5 金型構造および製品形状の概略



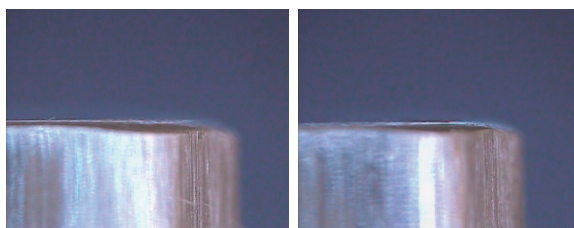
図6 金型およびプレス機械の外観

実際のプレス金型およびプレス機械の外観を図6に示す。プレス機械には、川崎油工 4,000kN プレスのタイプ PBR2-400 の FB プレス機械を使用した。プレス本体は強固なフレーム構造に独自の耐偏芯荷重構造をあわせもち、また CNC 制御のパネルは成形記憶機能が搭載されている。

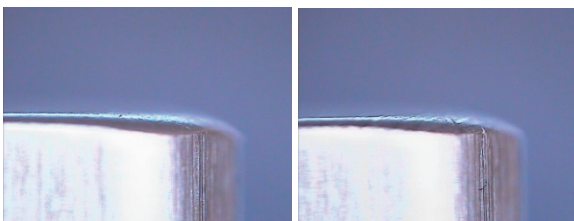
(3) 実験結果および考察 製品の凸輪郭部におけるだれの外観を図7に示す。従来 FB と拘束 FB の場合を比較すると、だれが減少していることがわかる。また、この変化はブランク径が小さいほど、すなわちバックアッププレートの剛性が高いほど、より顕著に発生することがわかり、材料拘束がだれ低減を実現することがわかった。

材料別でみると、S45C に比べ SUS316 の方が、一般的にだれが大きくなるが、バックアッププレートによるだれ低減効果は相対的に同様であることがわかった。

S45C の場合に関して、だれの大きさを定量的に計測した結果を図8に示す。バックアッププレートなしの場合（従来 FB）に比べて、だれ長さ l が約 24%、だれ深さ h が約 18% 低減していることがわかる。



(a) 従来 FB (S45C) (b) 拘束 FB (S45C)



(a) 従来 FB (SUS316) (b) 拘束 FB (SUS316)

図7 製品の凸輪郭部におけるだれの外観

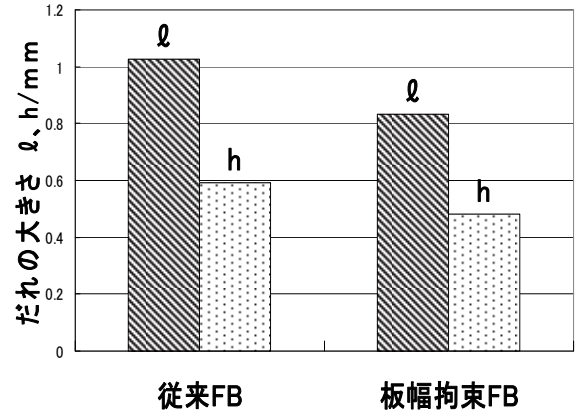


図8 だれの大きさの計測結果 (S45C)

2・2 ダレ無 FB における工具寿命を向上させるための金型材料および潤滑油材の検討

(1) 金型材料の検討 FB においては、一般的に、パンチとダイ刃先に強い衝撃力と共に激しい摩擦力を受ける。従って、刃先の特性としては、耐衝撃性と耐摩耗性とが両立した特性が要求される。特に、前章までの拘束 FB においては、その特性がより過酷になるものと予測できる。そこで、本研究では、FB における金型材料についても検討を行うこととした。

FB の金型材料に要求される材料特性の概念図を図9に示す。ここでは、横軸に耐摩耗性を縦軸に耐衝撃性をとっている。従来広く用いられているダイス鋼 SKD11 を基準として、高速度工具鋼 SKH51 (溶解ハイス) などは、耐摩耗性と耐衝撃性にやや優れる。また、粉末マトリックスハイスでは、よりじん性が高まり耐衝撃性に優れる。一方、最も新しい材料であるマイクロ結晶制御を行った粉末マトリックスハイスは、耐衝撃性と耐摩耗性とのバランスに優れた材料である。

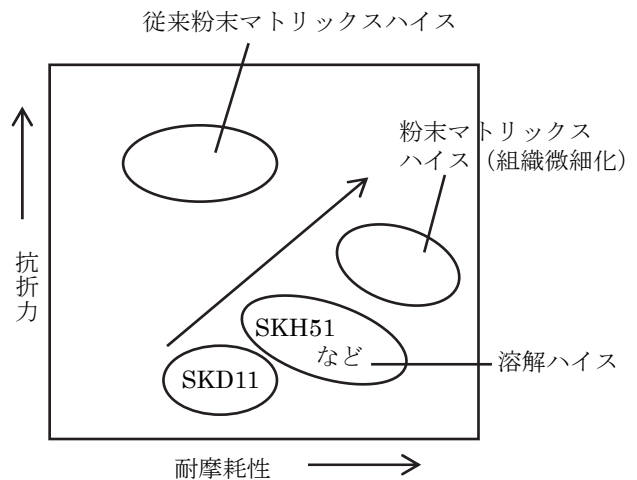


図9 FB の金型材料に要求される材料特性の概念図

本研究では、最近、広く使用されるようになってきた粉末マトリックスハイス A と、今後、利用が期待されているマイクロ結晶制御を行った粉末マトリックスハイスとのパンチ耐久性の評価を行った。評価条件を表 3 に示す。

表 3 金型材料に関する FB 実験条件

ブランク	S45C, t=4mm
クリアランス	0.02mm (片側)
プレス機械	4,000kN 油圧 FB プレス
パンチ材質 A	粉末マトリックスハイス (61HRC)
パンチ材質 B	マイクロ結晶制御粉末マトリックスハイス (64HRC)

1 万ショットまでの耐久試験を実施して、パンチに生じたチッピング数をカウントした。その結果を図 10 に示す。従来の粉末マトリックスハイス A では、ショット数 5,000 回目にてチッピング数 15 個を数えた。それに対して、新しいマイクロ結晶制御した粉末マトリックスハイス B では、その約 1/3 程度のチッピングに抑制された。すなわち、金型材料 B において耐衝撃性が向上していることがわかる。

同様に打抜き製品のばり高さの変化に関して調べた結果を図 11 に示す。製品のばり高さが大きくなるということは、刃先が摩耗して丸みをおびたことに相当するので、その変化は、耐摩耗性の指標となる。その結果、従来の粉末マトリックスハイス A では、最大ばり高さが 1.2mm 程度に達した。それに対して、マイクロ結晶制御した粉末マトリックスハイス B では、その約半分程度のばり高さに収まっている。すなわち、金型材料 B において耐摩耗性も向上していることがわかる。

(2) 潤滑材の検討 潤滑剤に関しては、40℃動粘度を 86 ~110mm²/s の範囲で、および塩素系極圧剤、硫黄系極圧剤に関して、実験を行った。その結果では、動粘度に関しては、粘度が高い方がより耐摩耗性に優れ、極圧添加剤に関しては、塩素系極圧剤の方が優れていることがわかった。すなわち、FB においては、まだまだ、低粘度化や非塩素系極圧剤の利用に関して耐久性向上に関する検討が必要であることがわかった。

3. まとめ

本研究では、FB においてだれが生ずる根本的メカニズムを理論的および実験的に追求した。その結果、FEM 解析を通じて、だれ発生メカニズムを理解し、極小だれを得るためのキーポイントを示した。次に、実際のだれ無し FB 製品が得られるかどうかに関して、実際の FB 金型により、FB プレスを使用して検証実験を行なった。その結果、まだまだ十分とは言えないが、だれを低減できることを示した。

最後に、実際の生産に応用するために、ある程度の回数の打抜きを行い、型の摩耗状況などを調査するとともに、最適金型材質および潤滑剤に関して検証した。

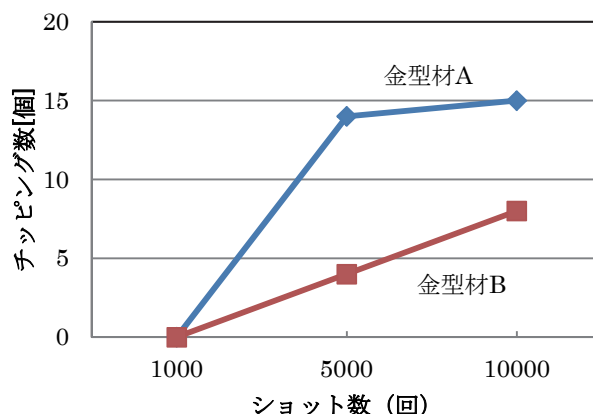


図 10 パンチに生じたチッピング数のカウント結果 (S45C, t=4mm)

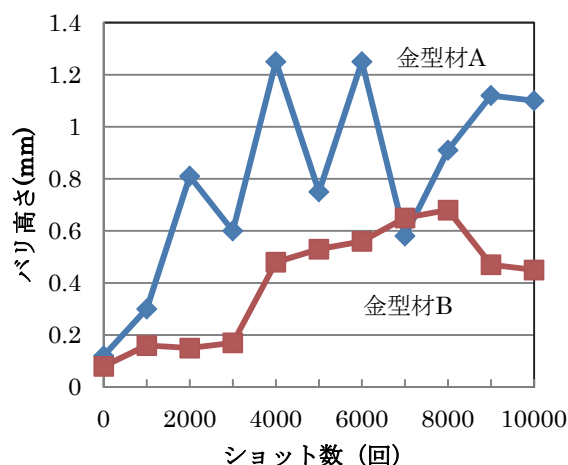


図 11 打抜き製品のばり高さの変化 (S45C, t=4mm)

参考文献

- 1) 林一雄: 塑性と加工, 47-546(2012), 554.
- 2) 特別座談会: プレス技術, 30-6(1992), 101.
- 3) スペシャルインタビュー: プレス技術, 45-6(2007), 44.