

平成23年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「ガラス代替特殊機能樹脂板材の外形成形
切断加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成24年3月

委託者 九州経済産業局

委託先 一般財団法人金属系材料研究開発センター

目次

第1章 研究開発の概要	
1.1 事業の背景・研究目的および目標	1
1.1.1 研究の目的	
1.1.2 研究の概要	
1.1.3 実施内容	
1.2 研究体制	3
1.2.1 研究体制および管理体制	
1.2.2 研究員およびプロジェクト管理員	
1.2.3 他からの指導・協力者	
1.3 成果概要	9
1.3.1 外形成形切断加工技術の開発	
1.3.2 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発	
1.3.3 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発	
1.4 当該プロジェクト連絡窓口	11
第2章 本論	
2.1 外形成形切断加工技術の開発	12
2.1.1 はじめに	
2.1.2 実験装置・試料および実験方法	
2.1.3 結果および考察	
2.1.4 おわりに	
2.2 加工環境温度の影響および各加工方法・条件による割断面観察評価	19
2.2.1 はじめに	
2.2.2 実験装置・試料および実験方法	
2.2.3 結果および考察	
2.2.4 おわりに	
2.3 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発	22
2.3.1 はじめに	
2.3.2 実験方法	
2.3.3 結果および考察	
2.3.4 おわりに	
2.4 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発	29
2.4.1 はじめに	
2.4.2 実験装置・試料および実験方法	

2.4.3 結果および考察

2.4.4 おわりに

第3章 全体総括

3.1 平成22～23年度の開発成果の総括	34
3.1.1 外形成形切断加工技術の開発	
3.1.2 加工環境温度および各加工方法・条件による割断面観察評価	
3.1.3 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発	
3.1.4 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発	
3.2 研究開発後の課題・事業化展開	36
3.2.1 外形成形切断加工技術の開発	
3.2.2 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発	
3.2.3 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発	

第1章 研究開発の概要

1.1.1 研究の目的

タッチパネルは現在主流のガラス材に変わる新世代の材料として、特殊機能樹脂板材料の開発が進んできており、今後急成長するものと予測されている。外形成形加工は現状、レーザー加工が主流であるが、タングステン・カーバイド100nm級微粒超硬合金製切断刃を用い、金型を用いないファインブランキング技術を複合し、世界に先駆けて、光学特性を損なわない外形成形切断加工技術の開発を行う。

1.1.2 研究の概要

従来は、高い配向性により高い強度を有するタッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料は、レーザー加工技術やルーター加工技術を用いて所定形状に切断されているが、それらの切断加工方法は概して切断速度が遅く、また高い切断精度が得られない等の問題がある。新規技術の開発により、従来技術の課題を克服するとともに、生産性とコスト競争力を飛躍的に向上させる。世界に先駆けての機能樹脂板材料を世界に先駆けてのナノ微粒超硬合金製刃を用い世界に先駆けて外形成形加工技術を開発するものである。

情報家電の分野では硬脆材料の切断が多用されている。LCD(液晶パネル)、PDP(プラズマディスプレイパネル)、FPD(フラットパネルディスプレイ)に代表される板ガラス基板や、セラミックスコンデンサーや多層セラミックス基板の切断等である。しかし、ガラス材代替特殊機能樹脂板材料の特徴である高い配向性を有する場合は、板材料の欠損(欠け、割れ)と刃先の欠損がない技術の開発が必要となる。刃先として用いられる超硬合金材料として、近年開発された世界初のナノ微粒超硬合金が有望である。しかし、高い配向性により高い強度を有するガラス材代替特殊機能樹脂板材料に適した超硬合金の特性の把握と、何よりも刃先の設計技術が必要になる。

以下に開発課題を整理する。

非熱加工を前提とし、タッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料を、金型を用いないファインブランキング技術を複合した外形成形切断加工技術の開発が目的である。

サブテーマ1. 外形成形切断加工技術の開発

サブテーマ2. 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発

サブテーマ3. 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発

研究の最終目標として、

一般的なタッチパネルの寸法である90mm×50mmの形状において、レーザー加工による切断加工時間(約30秒/枚)に比し、一枚あたり1/10以下の切断加工時間を達成する。

外形成形切断加工技術等の開発により、タッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料の切断面からのクラックの発生幅と、積層されている粘着剤塑性流動によるシワの発生幅を、0.1mm以下を達成する。

1.1.3 実施内容

(1) 外形成形切断加工技術の開発(実施:オーエスピー株式会社、株式会社ファインテック、富士ダイス株式会社、国立大学法人九州大学、財団法人金属系材料研究開発センター)

[1-1] 外形成形加工拘束機構の開発

外形成形切断加工は、型の平行度を保つのと併せて、特殊機能樹脂板材が切り込み方向に対して固定されている必要がある。被加工物(ワーク)である、特殊機能樹脂板材に対して、適切な荷重をかけ、切り込み方向、水平方向共に拘束するような機構を開発する

23年度は、最終年度としてこの拘束機構および型の具現化を図る。

[1-2] 外形成形加工条件の適切化

上記、具現化した拘束機構、型を用い切断刃の適切化と、切断刃入れの荷重の適切化および切断刃下降速度の適切化を図る。

22年度は、オーエスピー(株)は被加工材の切断面のクラック等の不具合に対しての、加工側のファクターの把握を実施し、(財)金属系材料研究開発センターはオーエスピー(株)と共同で不具合防止のメカニズムの解明を実施した。

オーエスピー(株)は、(財)金属系材料研究開発センター、九州大学と共同でその詳細を調べ、被加工材の切断面の更なるクラック長さの減少を目指し各種条件の適切化を図る。また富士ダイス(株)と共同で、刃先にDLC(ダイヤモンドライクカーボン)被膜を施した場合の分離・分断面の挙動についても検討する。

(2) 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発(実施:株式会社ファインテック、国立大学法人九州大学、財団法人金属系材料研究開発センター)

[2-1] 外形成形用切断刃設計技術の開発

加工材が積層された材料であることを考慮し、上刃、下刃のそれぞれで最も切断品質が高く、刃先寿命が得られる刃先形状・刃先角度を導いていく。また、刃先設計を具現化するために、刃先の角度、高さを高精度で制御できる刃先加工技術を開発し、最適形状を見出す。

23年度は、最終年度として(株)ファインテックは、(財)金属系材料研究開発センター、オーエスピー(株)、九州大学と共同で当該材料に最も適した刃先形状、刃先角度を導く。また、刃先の高精度加工に適した超硬合金組成との関係を解析し にフィードバックする。

[2-2] 外形成形用切断刃の高精度加工技術の開発

一般的な縦軸研削盤は剛性が低い。刃先を高精度に仕上げるために、刃物の研削面(加工面)を被加工物と垂直方向にすることで、切れ味を良くするため、立軸研削盤を使用する。立軸研削盤のスピンドルから砥石にかけての剛性を上げ、研削加工中の砥石の高さ方向変異を極小にする。更に刃先の変形量を抑えるチャッキング方式の開発が必要である。

22年度、切断品質に対し、切断刃先の真直度が大きな影響を持つことがわかった。23年度は、最終年度として

刃先加工としての研削盤の目盛り加工量と、実際の加工量との誤差 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下
繰り返し研削代精度 $\pm 3 \mu\text{m}$ 以下を達成する。

各刃先角度において切断刃先の真直度を追求していく。

そのために、縦軸研削盤の加工熱制御、動的バランス制御をもって、切断刃先の高精度加工技術を確立する。更に、(株)ファインテックは、切断品質および高精度研削性、耐チップング性と超硬合金組成との関係を解析し にフィードバックする。

(3) 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発(実施：富士ダイス株式会社、財団法人金属系材料研究開発センター)

【3-1】外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発

刃先として用いられる超硬合金材料として、近年開発されたナノ微粒超硬合金が有望である。ナノ微粒超硬合金は超微粒超硬合金に比べ、耐摩耗性に優れるとともに、シャープなエッジを出しやすい特徴がある。しかし、高い配向性により高い強度を有するガラス材代替特殊機能樹脂板材料に適した超硬合金設計が必要となる。

1.2 研究体制

1.2.1 研究組織および管理体制

(1) 研究組織

図 1.2.1 に研究組織を示す。

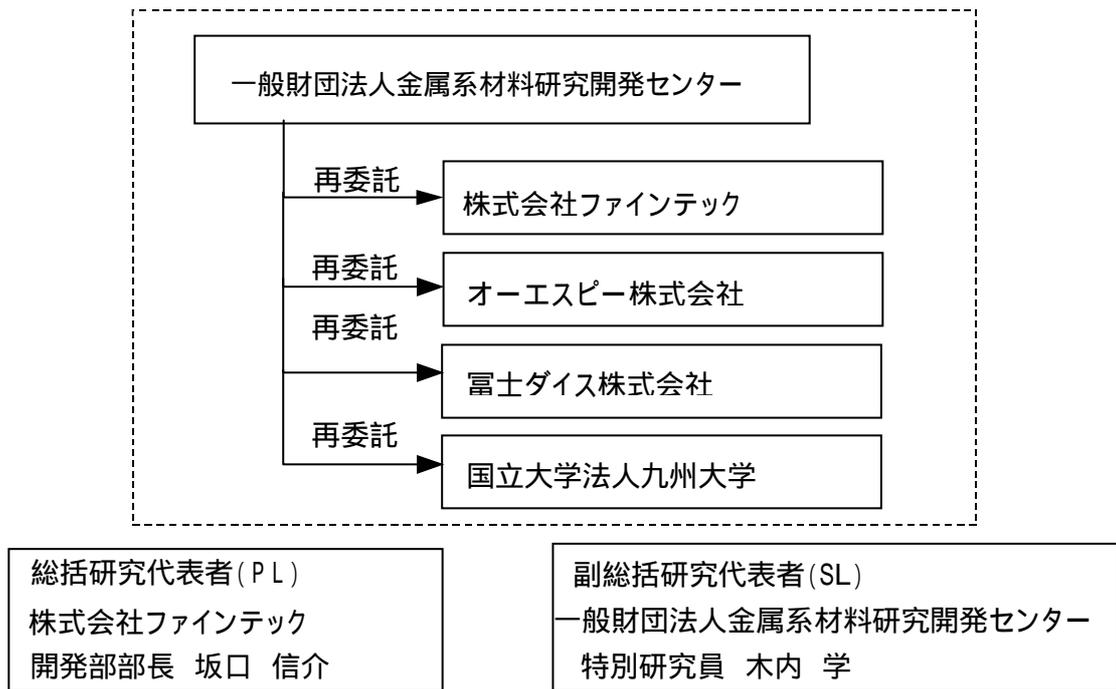


図 1.2.1 研究組織(全体)

(2) 管理体制

a 事業管理者

図 1.2.2 に事業管理者である一般財団法人金属系材料研究開発センターの管理体制を示す。

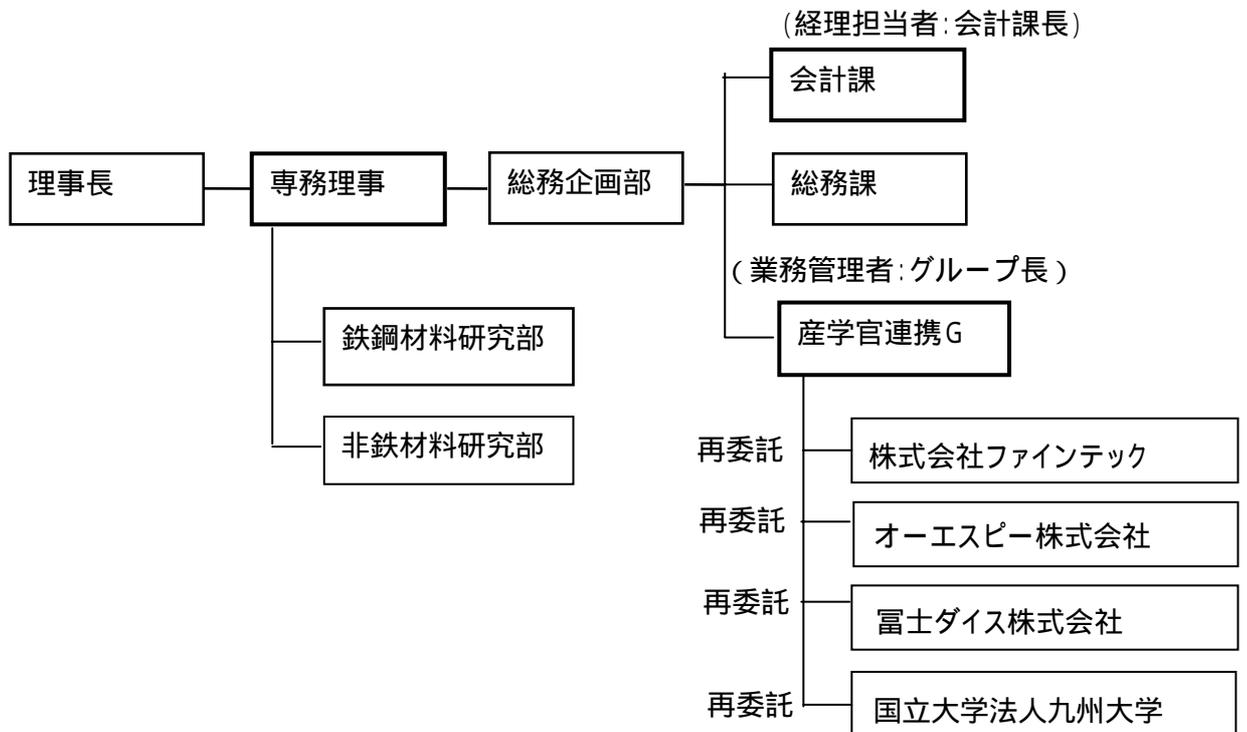
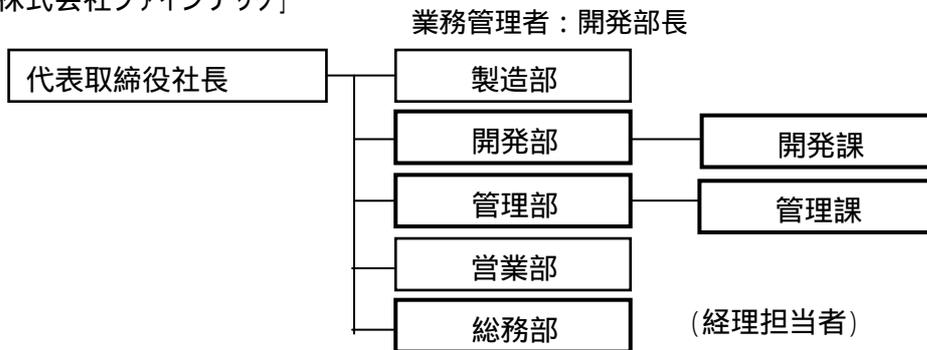


図 1.2.2 一般財団法人金属系材料開発センター管理体制

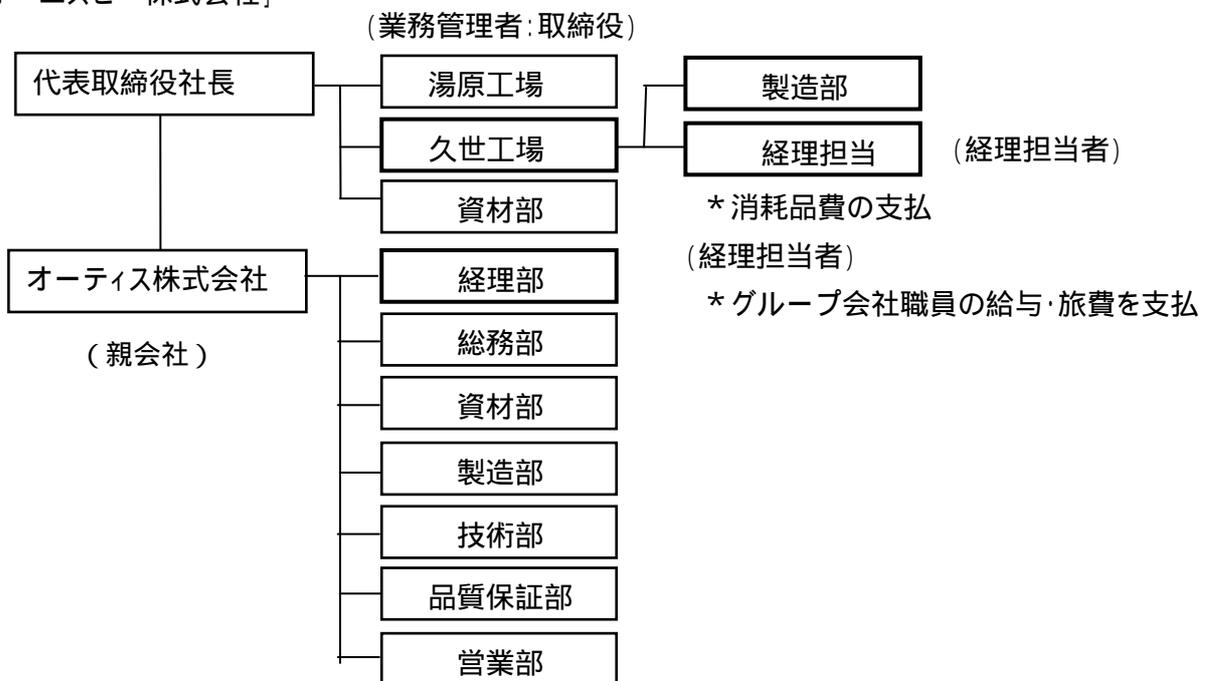
b 再委託先

図 1.2.3 に再委託先である株式会社ファインテック、オーエスピー株式会社、富士ダイス株式会社および国立大学法人九州大学の管理体制を示す。

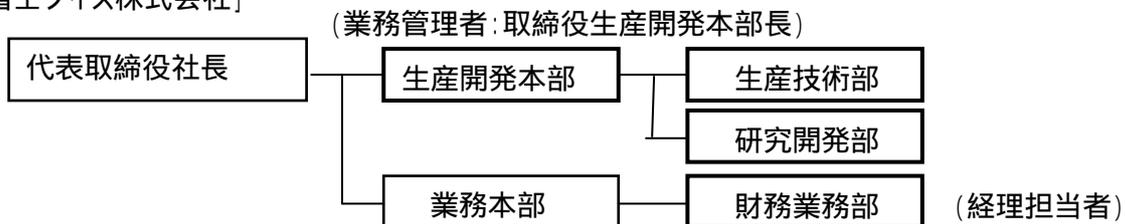
[株式会社ファインテック]



[オーエスピー株式会社]



[富士ダイス株式会社]



[国立大学法人九州大学]

(業務管理者:大学院工学研究院工学部門 土井俊郎教授)

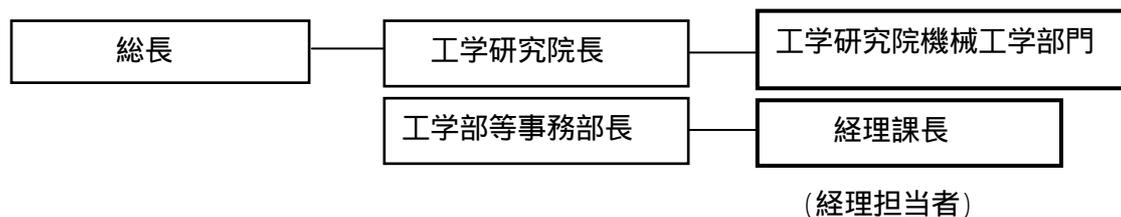


図 1.2.3 再委託先管理体制

(3) 所在地

事業管理者

一般財団法人金属系材料研究開発センター(最寄り駅:東日本旅客鉄道 東海道線、京浜東北線または山の手線 新橋駅)

〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目5番11号

研究実施場所(主たる研究実施場所については、下線表記。)

一般財団法人金属系材料研究開発センター(最寄り駅:東日本旅客鉄道 東海道線、京浜東北線または山の手線 新橋駅)再掲

〒105-0003 東京都港区西新橋1丁目5番11号

株式会社ファインテック(最寄り駅:九州旅客鉄道 瀬高駅)

〒832-0081 福岡県柳川市西浜武575-1

オーエスピー株式会社(最寄り駅:西日本旅客鉄道 姫新線 美作追分駅)

〒719-3225 岡山県真庭市中原202-13

富士ダイス株式会社 秦野工場(最寄り駅:小田急線 渋沢駅)

〒257-0015 神奈川県秦野市平沢36-1

富士ダイス株式会社 本社(最寄り駅:多摩川線 武蔵新田駅)

〒146-0092 東京都大田区下丸子2丁目17番10号

国立大学法人九州大学大学院(最寄り駅:九州旅客鉄道 筑肥線 九大学研都市駅)

〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744

1.2.2 研究員および管理員

(1)研究員および管理員

注)実施内容 :外形成形切断加工技術の開発

実施内容 :外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発

実施内容 :外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発

(1)【事業管理者】一般財団法人金属系材料研究開発センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
木曾 徳義	産学官連携グループ主席研究員	

研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
木内 学	特別研究員	
林 宏爾	特別研究員	

【再委託先】

株式会社ファインテック

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
坂口 信介	開発部部长	
中村 城	開発部開発課開発係長	
藤丸 祐一	開発部開発課開発係	
永尾 暁	開発部開発課技術係	

オーエスピー株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小原 英志	取締役	
前田 大樹	製造部	

富士ダイス株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
川上 優	研究開発部主査	
前場 宣	生産技術部主事	

国立大学法人九州大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
土肥 俊郎	大学院工学研究院工学部門 教授	

(3) 担当者および業務管理者の所属、氏名
(事業管理者)

一般財団法人金属系材料研究開発センター

(経理担当者) 総務企画部 会計課長 小紫 正樹

(業務管理者) 産学官連携グループ長 小紫 正樹

(再委託先)

株式会社ファインテック

(経理担当者) 専務取締役 本木 准子

(業務管理者) 開発部部长 坂口 信介

(業務管理者) 取締役社長 本木 敏彦

オーエスピー株式会社

(経理担当者) オーエスピー株式会社

経理担当 政安 規子(消耗品)

オーティス株式会社

経理部 横山明子(職員の給与・旅費)

(業務管理者) 取締役 小原 英志

(業務管理者) 取締役社長 佐山 修一

富士ダイス株式会社

(経理担当者) 業務本部財務部長 我妻 真一

(業務管理者) 取締役生産開発本部長 橋本 克

国立大学法人九州大学大学院

(経理担当者) 工学部等事務部経理課長 金谷 辰昭

(業務管理者) 工学研究院機械工学部門教授 土肥 俊郎

1.2.3 他からの指導・協力者

(1) 事業推進委員会

実用化を目指した開発と研究機器設備の購入・整備を遅滞なく進め、プロジェクトの円滑な運営が行えるように努め、開発目標の早期達成に向けて研究開発の迅速化を図っていくとともに、その資料の作成および、参画企業を訪問し、問題点・意見の調整を行った。また「事業推進委員会」を設置して、総括研究代表者の意向を踏まえた進捗管理、研究課題検討、本研究に関連した文献等の調査を含め、成果のとりまとめ等を進めた。事業推進委員会の委員は表 1.2.4 とし、今年度は上記委員会を3回開催した。【実施者：一般財団法人金属系材料研究開発センター】

表 1.2.4 事業推進委員会委員

氏名	所属・役職	備考
坂口 信介	株式会社ファインテック開発部部长	PL
木内 学	一般財団法人金属系材料研究開発センター特別研究員(東京大学名誉教授)	SL
林 宏爾	一般財団法人金属系材料研究開発センター特別研究員(東京大学名誉教授)	委員
中村 城	株式会社ファインテック開発部開発課開発係長	委員
藤丸 祐一	株式会社ファインテック開発部開発課開発係	委員
永尾 暁	株式会社ファインテック開発部開発課技術係	委員
小原 英志	オーエスピー株式会社取締役	委員
前田 大樹	オーエスピー株式会社製造部	委員
川上 優	富士ダイス株式会社研究開発部主査	委員
前場 宣	富士ダイス株式会社生産技術部主事	委員
土肥 俊郎	国立大学法人九州大学大学院教授	委員
木曾 徳義	一般財団法人金属系材料研究開発センター主席研究員	委員

1.3 成果概要

1.3.1 外形成形切断加工技術の開発

- ・今年度の研究成果から棒形状(R 形状含む)の切断加工についての条件が確立された。
- ・一般的なタッチパネルの寸法である 90mm × 50mm の形状において、レーザー加工による切断加工時間(約 30 秒/枚)に比し、一枚あたり 1 / 10 以下の切断加工時間を達成した。
- ・材料の動的粘弾性特性から、弾性に相当する貯蔵弾性率の温度依存性は低いが、振動吸収性や転移を反映する損失正接は - 50 ~ 50 の加工範囲で安定域であることが得られた。更に、実機による割断面の温度依存性調査から - 50 ~ 50 の加工範囲では割断面粗さが小さいことから、へき開面率が高いことが確認された。更に - 50 以下の低温域では Fibrous 破面が目立つ脆性破壊面、また 50 以上の高温域ではせん断破壊面であることを見出した。このことによってへき開破壊の確率が高く取れるのは、常温域での加工が良好であることを導いた。
- ・切断加工速度、加速度の影響を動的粘弾性特性から考察すると、高周波負荷を付加することで材料の延性破壊を抑制し、脆性破壊を促進することを見出した。このことによって更に割断面の品質を向上させる可能性があることがわかった。
- ・外形成形切断加工技術等の開発によって得られたへき開加工面の品質(面粗さ、直角度、段差、凹)は、対抗加工技術による加工面と比較して“十分平坦な加工面”、“十分にきれいな面”が得られることを立証した
- ・これらのことから硬脆材料であるガラス材代替特殊機能樹脂板材料の外形成形切断加工には、本ブ

プロジェクトにより開発された切欠き効果を用いた遅れき裂による「へき開加工」が平滑できれいな面を得ることが証明され、さらにその加工面の品質は、対抗技術に対して優位であることを導くことができた。

1.3.2 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発

- ・刃先加工として研削盤の目盛加工量と実際の加工量との誤差 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下
- ・繰り返し研削代精度 $\pm 3 \mu\text{m}$ 以下を達成する
- ・各刃先において切断刃先の真直度を追究していく

目標を定めておいたが、2.3.4結果および考察(1)刃先精度と導入装置の出来栄えの中で示した通り目標達成できた。今回の資料“ガラス代替特殊機能板材に対しては、最終目標として

- ・一般的なタッチパネルの寸法である90mm×50mmの形状において、レーザー加工による切断加工時間に比し一枚あたり1/10以下の切断加工時間を達成する。(打抜く)
- ・外形成形切断加工技術等の開発により、タッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料の切断面からのクラックの発生幅と、積層されている粘着剤塑性流動によるシワの発生幅を、それぞれ0.1mm以下を達成する。(破断面の品質に亀裂が無い)事を目標に研究し達成することができた。

1.3.3 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発

下記(1)、(2)および(3)の3課題について検討し、下記の諸結果を得た。

(1) WC-15～25mass%Co ナノ微粒超硬合金の刃先性状の調査

市販の超微粒超硬合金の刃先にはチッピングが認められたが、ナノ微粒超硬合金の刃先にはチッピングがほとんど認められなかった。

Co量が15～22%のナノ微粒超硬合金については、いずれもチッピングは認められず、Co量の影響は確認できなかった。

(2) ナノ微粒超硬合金の耐摩耗性の調査

ナノ微粒超硬合金のASTM摩耗量は、従来超硬合金と同様にCo量が多くなると増加した。

(3) 刃先に適したDLCコーティングの検討

膜厚を0.2 μm とした精密金型用DLCにおいて、優れた刃先形状を実現することができた。

1.4 当該プロジェクトの連絡窓口

事業管理者、連絡担当者、総括研究代表者等及びそれぞれの連絡先を表1.4.1、表1.4.2に示す。

表 1.4.1 事業管理者

住所:〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 名称:一般財団法人金属系材料研究開発センター 代表者役職・氏名:理事長 岩城正和 連絡先:03-3592-1282
連絡担当者所属役職・氏名:産学官連携グループ主席研究員 木曾 徳義 Tel:03-3592-1282 Fax:03-3592-1285 E-mail:nkiso@blue.ocn.ne.jp

表 1.4.2 総括研究代表者、副総括研究代表者

(フリガナ):サカグチ シンスケ 氏名:坂口 信介 所属組織名:(株)ファインテック 所属役職:開発部部長 Tel:0944-73-0877 Fax:0944-74-1654 E-mail:s-sakaguchi@f-finetec.co.jp	(フリガナ):キウチ マナブ 氏名:木内 学 所属組織名:一般財団法人金属系材料研究開発センター 所属役職:特別研究員 Tel:03-5730-3135 Fax:03-5730-3136 E-mail:mkiuchi@triton.ocn.ne.jp
---	--

第2章 本論

2.1 外形成形切断加工技術の開発

2.1.1 はじめに

タッチパネル用材料としては、現在主流のガラス材に変わる新世代材料として、特殊機能樹脂板材料の開発が進んでおり、今後急成長するものと予測されている。タッチパネルに使用されるガラス系板材及び特殊機能樹脂板材は硬くて脆い脆性材料である。そのため、従前的な切断加工を行うと、切断面及び板材表面にクラックが発生してしまう。それ故、現在これらの加工には、レーザカットやルータが主として用いられている。但し、レーザカット法には欠点として切断面が傾斜すること、加工速度の遅さが挙げられる。ルータ法にも微小欠けなどの欠点が挙げられる。そこで、本事業では、脆性材料に対し従前の加工方法の課題を改善、加工速度でも優位性を示し、且つ光学特性を損なわない新しい外形成形切断加工技術の開発を目的とする。そのために刃物および加工方法について条件最適化を行った。

2.1.2 実験装置・試料および実験方法

2.1.2.(1) 実験装置

サーボプレス機

加工速度:80mm/sec

推力 :100kN

ダイセット:SKD11(平行度 0.005mm)、表面粗さ:上仕上げ

刃物 :刃先表面:#3000 番仕上げ

材質・形状・刃角の仕様を表 2.1.2.(1).a に示す

表 2.1.2.(1).a 刃物仕様一覧表

材質	形状	刃角	刃物条件
ナノ微粒超硬合金 WC 平均粒径 0.1 μm Co 含有量 20%	直線	75 度	
		90 度	
		105 度	
		120 度	
F10 相当	丸(6)	40 度	
		50 度	
		60 度	
		75 度	
		90 度	
		120 度	

2.1.2.(2) 試料(被加工材)

9H 材
 試料寸法 50mm×15mm
 材料構成:右図 2.1.2.(2).a.参照
 両面に PP 系フィルム(t=0.05mm)を貼り合わせ

保護フィルム(青色)	50μm
9H 材	200μm
保護フィルム(透明)	50μm

図 2.1.2.(2).a 9H 材構成

フィルム表面の凹凸加工による AG 仕様 3 種類あり
 プロジェクトによる追加データ 引張り弾性率 3,000MPa 硬さ 370HV
 保護フィルムの基本物性は非公開

5H 材:基本物性はメーカー非公開
 試料寸法 50mm × 15mm
 材料構成:図 2.1.2.(2).c,d 参照
 プロジェクトによる追加データ 硬さ 18HV

保護フィルム(透明)1	50μm
5H 材	500μm
保護フィルム(透明)2	50μm

保護フィルム(透明)1	50μm
5H 材	200μm
保護フィルム(透明)2	50μm

図 2.1.2.(2).c 5H 材(厚み 200 μ m)

図 2.1.2.(2).d 5H 材(厚み 500 μ m)

2.1.2.(3) 実験方法

2.1.2.(3).a 刃物最適化

・先端形状最適化
 加工条件 右図 2.1.2.(3).a.イ参照。
 加工速度:80mm/sec
 被加工材はメーカー支給時の状態。
 被加工材支持板:SKD11(平行度 0.005mm)
 表面粗さ:上仕上げ
 刃物先端を角(エッジ)と R 形状の 2 種類でそれぞれ加工。

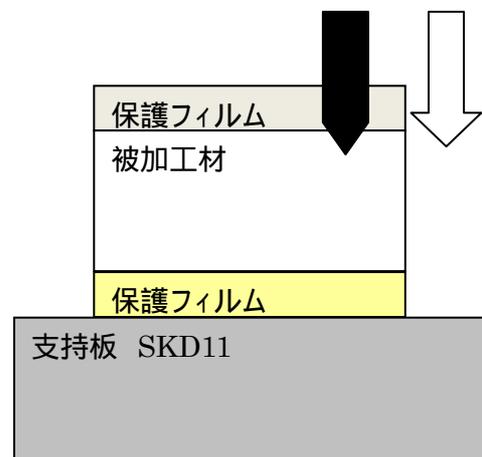


図 2.1.2.(3).a.イ 実験方法模式

・先端角度最適化
 被加工材:9H 材(厚さ 200 μ m、50mm × 15mm)
 表 2.1.2.(1).a の条件 ~ の刃物で
 図 2.1.2.(3).a.イ の条件で加工。

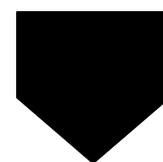


図 2.1.2.(3).a.ロ 刃先角度模式

直線形状刃で加工したサンプルは、図 2.1.2.(3).a.ハ の矢印方向から割断の角度と割断面を観察し

た。また、高速度観察用内視鏡にて加工時の状況も観察した。丸刃で加工したサンプルは丸形状試料の断面を観察した。

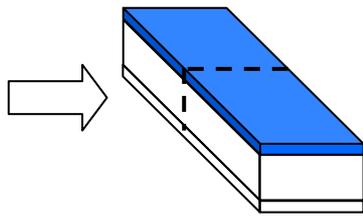


図 2.1.2.(3).a.八 直線形状切断モード

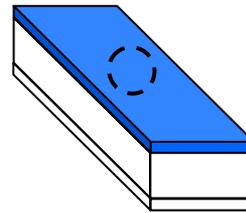


図 2.1.2.(3).a.二 R形状切断モード

・表面処理最適化

直線形状刃の長さ方向半分に DLC コーティングを行う。
9H 材(厚さ 200 μm)を加工する。

DLC 有無による切断荷重及び切断面の品質を観察した。

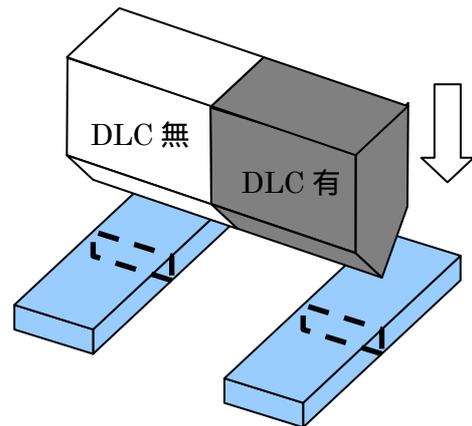


図 2.1.2.(3).a.ホ. DLC 有無比較モード

2.1.2.(3).b 加工方法最適化

・加工条件

被加工材への刃入れ量(下死点)の最適条件の検討を行った。

加工条件は図 2.1.2.(3).a.イ 参照

加工速度を変動させ、最適な速度条件を検討した。

80mm/sec、1mm/sec、0.01mm/sec の 3 通りで加工。

その他は加工条件 図 2.1.2.(3).a.イ と同様

下死点を変位量で制御した場合と荷重で制御した場合の加工精度について検討を行った。

2.1.2.(3).c 粘着剤塑性流動検討

被加工材:9H 材(厚さ 200 μm)の保護フィルム(色)側に OCA テープ(厚さ 10 μm)を積層させる。

加工条件は 図 2.1.2.(3).c.イ 参照

刃物は表 2.1.2.(1).a の番号 を使用。粘着剤 10 μm

保護フィルム	
9H 材	200μm
保護フィルム(透明)	50μm

図 2.1.2.(3).c.イ 9H 材構成

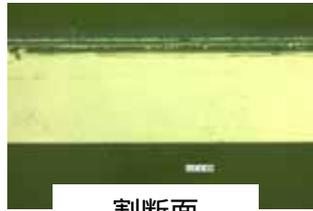
2.1.3 結果および考察

2.1.3.(1) 刃物最適化

2.1.3.(1).a 先端形状最適化

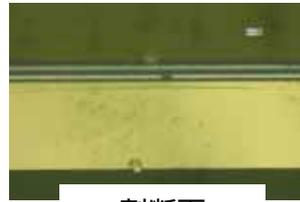
割断面の観察結果を図 2.1.3.(1).a.イ、ロに示す。

刃物先端形状によって割断面品質については写真のように著しい品質の差は見られなかった。



割断面

図 2.1.3.(1).a.イ 刃物先端 R 付



割断面

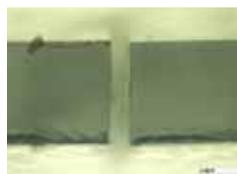
図 2.1.3.(1).a.ロ 刃物先端エッジ

2.1.3.(1).b 刃角条件最適化

・9H 材(厚さ 200 μ m)への加工結果刃角によって割断面に大きな差が出た。

75, 90 度の刃角では綺麗な割断面を得られたが 105, 120 度の鈍角では面荒れが目立った。

最も綺麗な割断面は刃角 90 度で得られた。



割断角度

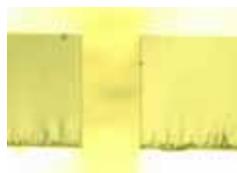


割断面

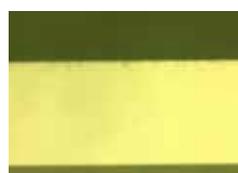
図 2.1.3.(1).b.イ 刃角 90 度 9H 材割断結果 (刃物条件)

・5H 材(厚さ 200 μ m)への加工結果

9H 材と似た傾向になり、75, 90 度の刃角では綺麗な割断面を得られ、鈍角(105, 120 度)では面荒れが観察された。最も良好な条件としては刃角 75 度であった。



割断角度



割断面

図 2.1.3.(1).b.ロ 刃角 75 度 5H 材(厚さ 200 μ m)割断結果 (刃物条件)

・5H 材(厚み 500 μ m)への加工結果

前述の被加工材とは傾向的に異なり鈍角の 105 度で最も良好な結果が得られた。

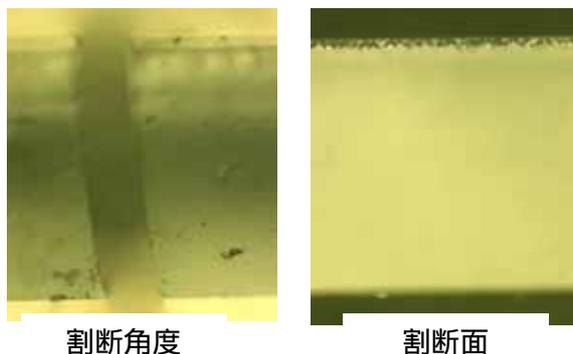


図 2.1.3.(1).b.八 両刃 105 度 5H 材(厚さ 500 μ m)切断結果 (刃物条件)

比較検討に左右非対称な刃物条件で加工を行った。

角度の振り分け、被加工材によらず全ての条件で図 2.1.3.(1).b.二 のように切断面が斜めになり綺麗な切断面を得られなかった。

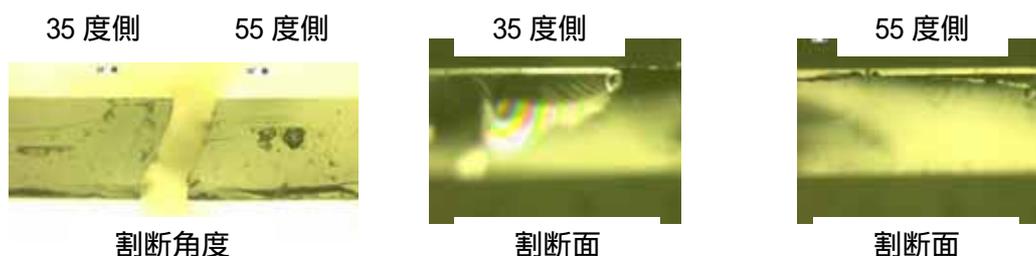


図 2.1.3.(1). b.二 両刃 90 度(35/55)左右非対称刃

2.1.3.(2)丸形状刃仕様最適化

・9H 材(厚さ 200 μ m)の丸刃(直径 6mm)左右対称両刃での切断結果

どの角度においても亀裂を多分に含み綺麗な切断面にはならなかった。ただ、刃角が小さくなるにつれ面荒れ・凹凸が改善される傾向が観察された。40 度では綺麗な切断面を観察することが出来た。



図 2.1.3.(2).a 丸刃(直径 6mm) 40 度左右対称両刃の切断面(刃物条件)

・5H 材(厚さ 200 μ m)の丸刃(直径 6,10mm) 左右対称両刃での切断結果

9H 品と同様、刃角が小さくなるにつれ面荒れ・凹凸が改善される傾向が観察された。



図 2.1.3.(2).b 丸刃(直径 6mm) 40 度左右対称両刃の切断面(刃物条件)

・5H 材(厚さ 500 μ m)の丸刃(直径 6mm) 40 度左右対称両刃での切断結果

9H 品と同様、刃角が小さくなるにつれ面荒れ・凹凸が改善される傾向が観察された。

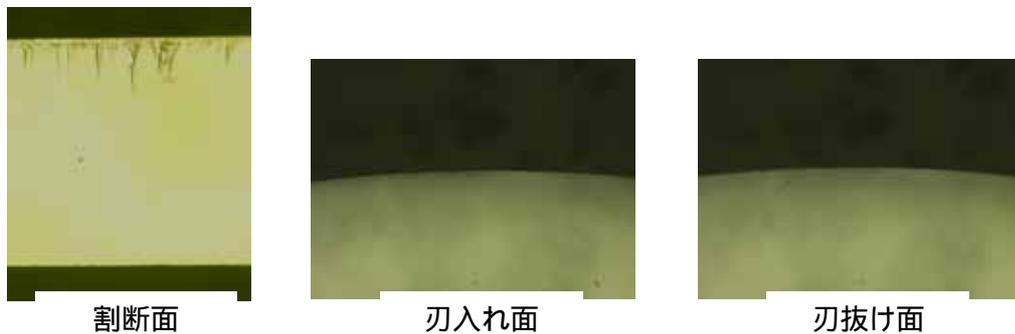


図 2.1.3.(2).c 丸刃(直径 6mm) 40 度左右対称両刃の切断面(刃物条件)

結果をまとめると

40 度の鋭角から 120 度の鈍角までの切断面を見る限り、刃角が鋭角になるにつれ改善傾向にあり刃入れ量を浅く、切断時の荷重を抑えることにより綺麗な切断面を観察された。特に鈍角条件では亀裂以外に切断面の荒れ・凹凸が確認されたため、条件として不適と考えられる。

2.1.3.(3) 加工条件最適化

加工速度ごとの試料切断面を図 2.1.3.(3).a に示す。切断面に大きな違いは観察されなかった。

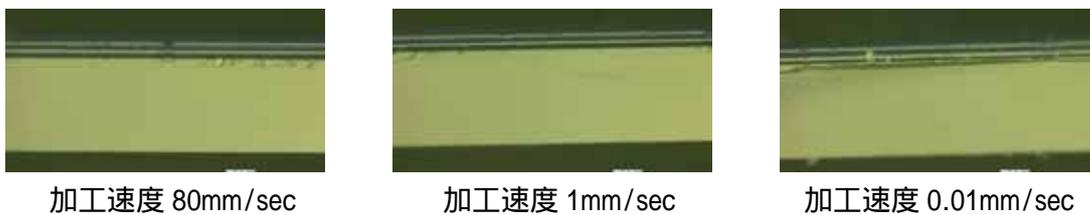


図 2.1.3.(3).a 加工速度別断面観察結果

2.1.3.(4) 粘着剤塑性流動

条件 : 積層粘着剤側から刃入れ

図の上面から刃を入れたが、刃入れ面とその反対面で割断面の様子が大きく異なった。刃入れ面では比較的綺麗な割断面を観察できたが、反対面では凹凸に荒れがひどい状態だった。

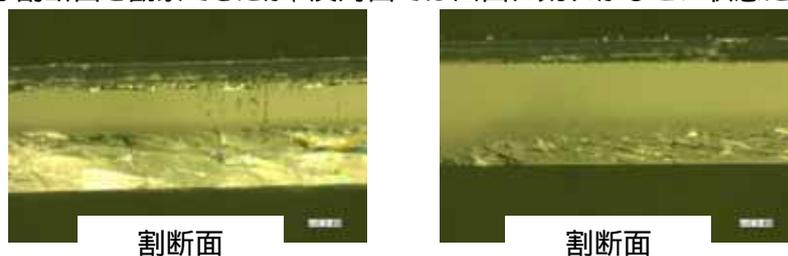


図 2.1.3.(4).a 粘着剤側からの割断

条件 : 積層粘着剤の反対面から刃入れ

粘着剤側から割断した条件と比較し、割断面の荒れ・凹凸に明らかな変化が現れた。大小の亀裂は確認できたが、面荒れ・凹凸は確認されず、ほぼ全面で綺麗な割断面を観察できた。

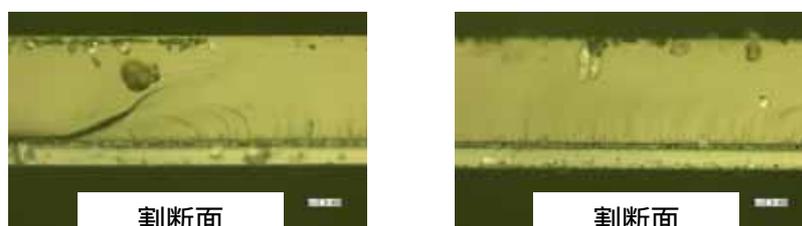


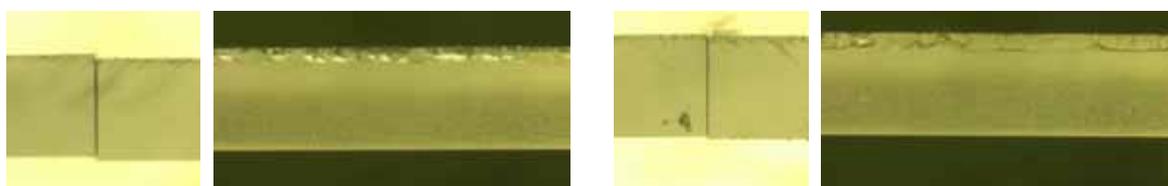
図 2.1.3.(5).b 試料(9H 材)側から割断

結果をまとめると、

積層状態で割断を行うには、粘着剤から割断すると、被加工材(9H 材)の割断面に荒れ・凹凸が多く加工法として不適切だった。そのため、被加工材から刃を入れる必要があるが、この場合粘着剤を分断させる方法が課題として残る。今回の観察試料は割断加工時に粘着剤も一緒に分断したが、必ずどんな粘着剤でも分断が発生するかは不明であり、今後検討が必要である。

2.1.3.(6)DLC コーティング

・9H 材(厚さ 200 μ m)の左右対称両刃、Co 含有量:20%での割断結果



割断角度

割断面

割断角度

割断面

図 2.1.3.(6).b DLC 無(Co 含有量:20%)

図 2.1.3.(6).c.口 DLC 有(Co 含有量:20%)

結果をまとめると、

DLC コーティングの有無による割断面の品質に大きな差は観察されなかった。加えて割断荷重にも大きな変化が計測されず DLC 被膜による効果は見られなかった。

2.1.4 おわりに

今年度の研究成果から棒形状(R 形状含む)の割断加工について以下の条件が確立された。

設備仕様

加工速度: 80mm/sec

推力 : 100kN

ダイセット: SKD11(平行度 0.005mm)、表面粗さ: 上仕上げ

刃物: ナノ微粒超硬合金、左右対称両刃先端エッジ形状、

刃先表面: #3000 番仕上げ、

直線形状部刃角: 90 度(9H 材、厚み 200 μ m の場合)

: 75 度(5H 材、厚み 200 μ m の場合)

: 105 度(5H 材、厚み 500 μ m の場合)

曲線形状部刃角: 40 度(9H 材、厚み 200 μ m の場合)

: 40 度(5H 材、厚み 200 μ m の場合)

: 40 度(5H 材、厚み 500 μ m の場合)

試料:

一般的なタッチパネルの寸法である 90mm \times 50mm の形状において、レーザー加工による切断加工時間(約 30 秒/枚)に比し、一枚あたり 1 / 10 以下の切断加工時間を達成した。

2.2 加工環境温度等の影響および各加工方法・条件による割断面の観察と評価

2.2.1 はじめに

タッチパネルを利用した携帯電話市場は、今や大盛況であり硬脆材料が使われている。しかしこの材料は、硬くて脆いゆえにいろいろな問題を製造過程で抱えている。

そこで生産性とコスト競争を飛躍的に向上させ、かつクラックの発生を抑制する刃物による外形成形切断加工技術として、へき開加工技術を確立し、更にへき開加工に耐えうる材料、刃先形状を含めた刃物の研究開発を展開した。

樹脂材料の脆性破壊メカニズムが明確でないことから、金属の破壊メカニズムを前提に考えると、せん断型とへき開型の破壊条件は、大略次の関係にある。

局部応力が破壊部分の理論的結合強さ $\sigma_c = E/10$ に達した場合 へき開型破面

局部応力が破壊部分の理論的せん断強さ $\tau_c = G/2$ に達した場合 せん断型破面

そこで試料の動的粘弾性試験を実施し、縦弾性係数 E、横弾性係数 G の温度依存性、周波数依存を把握することで、へき開型破面率を向上させる温度条件、周波数条件を調査し、さらに加工環境温度による割断面への影響を調査した。また、対抗技術であるレーザー加工、ルーター加工に対して、本加工技術によって得られたへき開加工面の優位性を調査・評価した。

2.2.2 実験装置・試料および実験方法

平滑な断面を得るためのへき開加工面率の向上という観点から温度依存性、周波数依存性について調査、またへき開加工技術によって得られた加工面の品質と、対抗加工技術の加工断面品質について調査した。使用試験装置は以下の通りである。

(1) 実験装置

a. 動的粘弾性の測定装置

メーカー：アイティー計測制御(株) 型式：DVA-200/L2

b. 走査型共焦点レーザー顕微鏡

メーカー：オリンパス(株) 型式：OLS3100-UST(S)

(2) 試料

試験試料は、2.1.2 で述べたサーボプレス機を使用して試料を作成した。

(3) 試験方法

a. 動的粘弾性の測定

試験試料を動的粘弾性測定装置にセットして下記測定条件で試験した。

温度範囲： - 120 ~ 200 、 昇温速度：10 /min 、 周波数：2.5Hz 、 10Hz 、 40Hz

イ. 引張り測定の場合（厚さ 0.2mm 、 0.5mm）

引張り変形量 ： 0.08% 、 試料断面寸法 ： 0.5mm×5mm or 0.2mm×5mm

ロ. せん断測定の場合（厚さ 0.5Tmmのみ）

せん断変形量：0.1% 、 試料寸法 ： 0.5mm×8mm×15mm（2枚使用）

b. 割断面観察

試料を走査型共焦点レーザー顕微鏡のテーブルにセットし、LSM モードにて測定した。測定条件は、対物レンズ 20×(視野範囲 640×480μm)を使用し、測定ポイントは連続的に 24 ポイント(総測定長約 15mm)測定し、表面粗さの平均を算出し比較・評価した。

2.2.3 結果および考察

(1) 加工環境温度の影響

9H 材では概ね - 50 ~ 50 の範囲で、きれいで平滑な割断面が得られた。更に損失正接 ($\tan\delta$) をみると、- 50 ~ 50 の範囲において一定であり安定領域であることがわかった。

このことから本試料では、せん断破壊を抑制し、へき開破面率を向上できる温度は - 50 ~ 50 の範囲であることを得た。また、- 50 以下では脆性破壊面が、50 以上では延性破壊面が促進されることを明確にした。

(2) 加工速度による影響

試料の延性と脆性を考える上で理論へき開強度 $\sigma_c = E/10$ と理論せん断強度 $\tau_c = G/2$ の比 $\sigma_c/\tau_c = (E/G)$ を、動的粘弾性測定装置により調査した。その結果、周波数を高くすることで、 σ_c/τ_c

は小さくなることがわかった。つまりこの材料は加工速度、加速度を高くすることで、せん断破壊を抑制し脆性破壊を促進させることができることを見出した。このことから速い負荷(例えば超音波振動等)を与えることによって、へき開型破壊を誘発する確率が高くなることが判明した。

(3) 各加工方法により得られた割断面の観察と評価

本プロジェクトにより開発されたへき開型加工技術と対抗技術(ルーター加工とレーザー加工)の割断面品質を評価すると表 2.2.3 に示す通りであった。

表 2.2.3 加工方法による加工面品質の評価

	へき開加工	ルーター加工	レーザー加工
平均面粗さ SRa [μm]	0.978	0.752	13.624 ×
標準偏差 σ [μm]	0.582	0.095	0.822 ×
直角度 [$^{\circ}$]	0.254 ~ 3.234	0.487 ~ 0.846	11.392 ~ 21.334 ×
段差、凹 D [μm]	1.638 ~ 14.10	3.315 ~ 6.242	61.547 ~ 113.415 ×

・加工条件

へき開加工 : 超硬合金刃 両角 90°

ルーター加工 : 5 万回転 MD 方向

レーザー加工 : 出力 90%、スピード 9% MD 方向

・材料 5H 材もしくは 9H 材

・評価基準

平均粗さ : 2 以下、~4、~6、6 以上 ×

標準偏差 : 0.5 以下、~2、~4、4 以上 ×

直角度 : 2 以下、~4、~6、6 以上 ×

段差、凹 : 10 以下、~30、~50、50 以上 ×

(4) まとめ

へき開加工技術の確立の一環として材料の温度依存性と周波数依存性に着目し検討、また対抗技術の加工面との比較・評価した結果を以下にまとめる。

・一般的にへき開破壊靱性は、本質的に大きなバラツキを示すことが多いといわれているが、ワークの拘束効果・寸法効果等を考慮しても十分小さいバラツキであることが確認できた。

・へき開加工技術によって得られた割断面は、直角で平坦かつきれいな面が得られた。

・加工環境温度は - 50 ~ 50 の範囲であれば割断面は概ね SRa = 1 μm の面粗さで小さい。

・ - 50 ~ 50 の範囲は、せん断破壊が抑制され高い確率でへき開型破壊を生じることを明確にした。

・本へき開加工技術は、割断面品質を得るために、温度環境の制御は必要なく常温加工が良好。

・周波数依存性を持つことから、更にへき開破壊面を向上させる可能性を有することがわかった。

・へき開加工技術は、対抗技術の加工面粗さおよび直角度を比較して優位性が得られた。

へき開加工面 ルーター加工面 レーザ加工面

2.2.4 おわりに

「ガラス代替特殊機能樹脂板材の外形成形切断加工技術の開発」の成果の概要をまとめると次の

通りである。

・材料の動的粘弾性特性から、弾性に相当する貯蔵弾性率の温度依存性は低いが、振動吸収性や転移を反映する損失正接は - 50 ~ 50 の範囲で安定域であることが得られた。更に、実機加工による割断面の温度依存性調査から - 50 ~ 50 の範囲では割断面粗さが小さいことから、へき開面率が高いことが確認された。更に - 50 以下の低温域ではFibrous破面が目立つ脆性破壊面、また 50 以上の高温域ではせん断破壊面であることを確認した。このことによってへき開破壊の確率が高く取れるのは、常温域での加工が良好であることを導いた。

・割断加工速度、加速度の影響を動的粘弾性特性から考察すると、高周波負荷を付加することで材料の延性破壊を抑制し、脆性破壊を促進することを見出した。このことによって更に割断面の品質を向上させる可能性があることがわかった。

・最適化された切断刃、加工条件によって得られたへき開加工面の品質(面粗さ、直角度、段差、凹)は、対抗加工技術による加工面と比較して“十分平坦な加工面”、“十分にきれいな面”が得られることが確認できた。また切断面からのクラック発生幅に相当する割断面の段差・凹値は、1.638 ~ 14.10 μ mであり最終年度目標である「外形成形切断加工技術等の開発により、タッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料の切断面からのクラックの発生幅(段差、凹)、0.1mm以下」を達成でき、さらに本プロジェクトによる加工技術、刃先の設計、刃先の高精度加工等の適切化された技術によって得られる割断面は、平滑できれいな面を得ることができ、光学特性を損なわず、クラック発生幅が小さく、高信頼性が望め、研究目的である「非熱加工を前提とし、金型を用いないファイブロンキング技術を複合した外形成形切断加工技術の開発」をクリアし、事業化の目処がついた。

しかし、開発途上である現在、以下の課題が残されている。

・今回のへき開加工技術は、金属の破壊メカニズムを前提に検討を進めた。しかしマイクロ観察では、その材料の特性を反映してかなり金属とは異なった形態を示すことも言われている。高分子材料における破壊を、金属同等の破壊モデルと置き換えられるものか否かはさらなる検証が必要となる。

・材料の保存環境中の湿度が遅れき裂進展に大きな影響を与えることが予想されるので、この検証も必要となる。

・ガラスの場合、アニールが不十分だと割断が不安定になりやすく、破面にハックル線等の段差が発生しやすくなることが知られている。同じ脆性材料である本材料も同等と考えられることからアニール処理の検討が必要となる。

・市場より更なる“きれいな割断面”が要求される場合に備え、速い負荷(超音波等)の検討が必要となる。

今後はこれらの項目について調査・検証すべきと考える。

2.3 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発

2.3.1 はじめに

現在タッチパネルはガラス材が主流となっているが、新世代の材料として特殊機能樹脂板材

料の開発が進み、今後急成長するものと予測されている。外形成形加工は、レーザー加工が主流であるが、本プロジェクトでは、タングステン・カーバイド100nm級の微粒超合金製切断刃を用い、金型を用いないファインブランキング技術を複合し光学特性を損なわない外形成形切断加工技術の開発を行う。

2010年の世界の携帯電話出荷台数は、前年比10.6%増の13億7845万台だった。新興国・途上国の需要拡大や先進国のスマートフォン人気、成長を支えたとしている。また、2010年のスマートフォン出荷台数は前年比39.5%増の2億7722万台だった。3G通信環境の整備が途上国でも進んでいることや、ソーシャルメディアの世界的な流行などが、スマートフォン人気を後押しした。2011年の世界の携帯電話出荷台数は、前年比8.2%増の14億9206万台になる見通し。アジアを中心に、中南米、アフリカといった新興国、途上国の市場が急成長している。2011年のスマートフォンの出荷台数は前年比71.2%増の4億7465万台と予測。市場の中心は米国や欧州市場だが、途上国においてもスマートフォンの本格的な普及が始まっているとしている。

2.3.2 実験装置・試料および実験方法

(1) 圧縮・引張試験

刃物で被加工物を切断するときの荷重(応力)、また、被加工物の引張荷重(応力)を測定するために、オートグラフ:AGS-X(島津製作所)【図2.3.2(1)】を利用した。その基本仕様を下記に示す。

- a.最大負荷容量:10kN
- b.駆動電動機:400WACサーボモータ
- c.クロスヘッド速度 0.001mm/min~1,000mm/min
- d.位置表示分解能:1 μ m
- e.有効試験幅:425mm
- f.大きさ:W653×D520×H1,603mm
- g.質量:約85kg



図 2.3.2(1) オートグラフ

本オートグラフ(圧縮試験機)にカットする治具を備え付け、刃角・刃厚・切り込み速度などを变化させて荷重、変位、速度のデータを収集する。

(2) 動き解析マイクروسコープ

刃物で被加工物を切断するときの見える化を具現化するために、確かな現象をとらえ課題・対策を正確に(品質良く)、且つ迅速に行うために KEYENCE の動き解析と拡大マイクروسコープ【図 2.3.2(2)】を利用した。

基本仕様を下記に示す。

a. 解像度: 30 ~ 270 万画素 4 段切替

(マイクروسコープ)

b. 動画録画: 250 コマ/秒

(1 コマ/0.004 秒)

c. 動画倍率: 15 倍 ~ 60 倍

d. マイクロスコープ(カラ)

: 1,920×1,440 (高精細画像)



図 2.3.2(2) 動き解析マイクروسコープ

(3) 縦軸研削盤 & 周辺装置(加工熱制御装置、動的バランス装置)

刃先を高精度に仕上げるために縦軸研削盤使用し、そして刃物の研削面(加工面)を被加工物と垂直方向にすることで、切れ味を良くする様に設定した。縦軸研削盤のスピンドルから砥石にかけての剛性を上げ、研削加工中の砥石の高さ方向変異を極小にする。また、スピンドルZ軸方向の送り精度を高め、加工後の被加工物の高さ精度を向上させることがキーである。

縦軸研削盤に、加工熱で刃物の熱膨張をふさぐために冷却水の加工始めから加工終わりまで一定に保つために、加工熱制御装置を加えた。また、砥石が動的バランスを取るための工夫も入れ、刃先

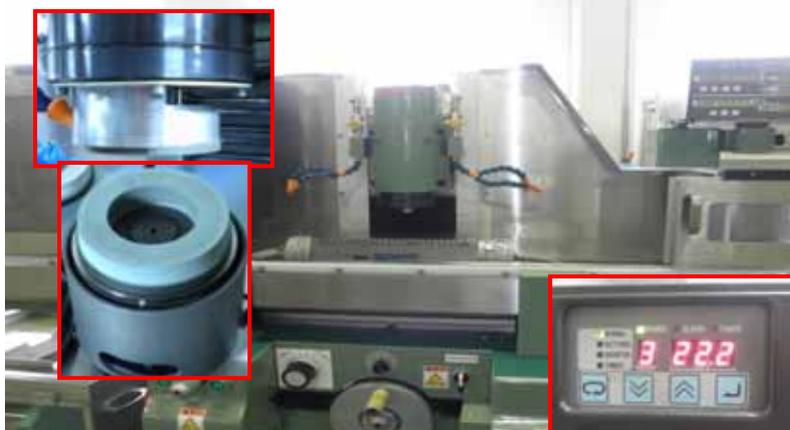


図 2.3.2(3) 縦軸研削盤

精度の向上に努めた。【図 2.3.2(3)】この新規導入した縦軸研削盤で刃先角度、面粗さ、刃厚等の設計に基づき加工して、タッチパネルの外形成形用切断を実施した。刃先角度・刃厚・表面粗さ等に着目しつつ刃先加工を行い、脆性破壊ならびに、延性破壊を想定し直線部で切断加工を実施した。一方では、被加工物(タッチパネル)の特性を調べるため、引張試験機により被加工物(タッチパネル)の物性を測定して、脆性材料か延性材料かを並行に判断しながら実験を遂行した。

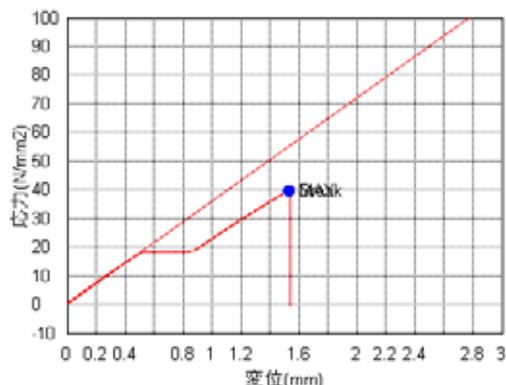
2.3.3 実験結果および考察

(1) 引張試験

被加工物である「ガラス代替特殊機能樹脂板材」の静的な機械的特性値を調査し、切断メカニズム

の解明の一助とするために、Auto Graph を使用した引張試験を実施した(プラスチックの引張試験法 JIS K 7113 に準じる)。その試験結果を以下に示す図 2.3.3 (1)の応力-変位曲線において、降伏点に酷似した挙動が検出された。破断強度は、平均:44MPa で且つ再現性のある値が測定できた。【表 2.3.3 (1)】割れ方や、引張試験結果を鑑みると「ガラス代替特殊機能樹脂板材」は、脆性材料であることが類推できる。

表 2.3.3(1) 引張試験結果



	上降伏点 N/mm ²	弾性率 (%)	最大荷重 (N)	引張強さ N/mm ²	破断変位 (mm)
	18.5	3,608	79.3	39.6	1.535
	18.0	3,640	87.2	43.6	1.656
	18.0	3,680	94.4	47.2	1.806
	18.5	3,729	74.6	51.1	1.935
	17.0	3,714	78.4	39.2	1.507
最大	18.5	3,729	94.4	51.1	1.935
最小	17.0	3,608	74.6	39.2	1.507
平均値	18.0	3,674	82.8	44.1	1.688

図 2.3.3.(1) 力・変位曲線(代表例)

(2) 縦軸研削盤による高精度刃物の研削

従来の縦軸研削盤は剛性が弱い上に、加工時の刃物のたわみを治具と各社あるいは作業者のノウハウでカバーしながら刃物を加工して精度を出している。そこで、スピンドル径を 50mm 84.5mm と大きくすること、モーターをスピンドルにダイレクトに取り付け動力伝達ロスを取りなく小さくしたこと、表面粗さを小さくするために回転数を 3,200rpm 15,000rpm と大きくしたこと、全体の機械の剛性を上げたことによって適正な寸法精度が出るように工夫をして開発を行った。当初は刃物でなく、ブロック(40mm×10mm×1.8mm)のテストピースで試行し加工精度を測定した。120 点の測定を行い、平成 22 年度の目標(±3μm 以下)に対して、工程能力 Cpk=2.9 と非常に高いデータを得た。4 レベルで換算すると、加工精度は±1.3μm レベルとなり、非常に高い加工精度に仕上げられる縦軸研削盤に設定することを達成した。今後、刃物に対しての研削に、従来技術や新しい技術のノウハウを導入し、精度の高い刃物の製作が確実にできる体制が整ったものと判断できる。

(3) 切断試験

ここでは、刃先角度を変更して、切断試験を試みた。

< 実験条件 >

- 1、刃物(t = 0.8 mm、刃の長さ = 70 mm)
- 2、圧縮試験機(速度 10 μm/s)
- 3、被加工物: ガラス代替特殊機能樹脂板材
(36 mm × 52 mm × 0.2mm) 一定
- 4、n=3

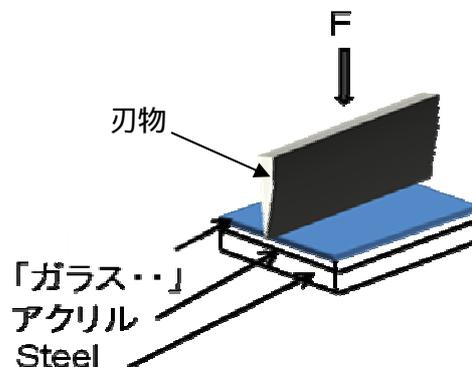


図 2.3.3(2) 切断方法

5、温度 = 22 【図 2.3.3(2)】【表 2.3.3(2)】

< 実験結果 1 >

表 2.3.3(2) で示す刃先角度いずれでも、切込み途中で試料片が破断して脆性材料の特長を表した。破断荷重は、鋭利な角度程小さい荷重で破断に至り、即ち小さい荷重で破断する切込み深さまで刃先が進んでいることになる。

図 2.3.3(3) に刃先角度 40° の時の荷重と変位を表したものを示す。図でもわかるように で刃先が被加工物に切込みはじめ、 で破断し(荷重が垂直に落ちる)てるのが分かる。その時の切断面の画像を図 2.3.3(4) に示す。

刃先角度	破断荷重(N)
20°片刃	19
40°片刃	26
20°両刃	36
40°両刃	46

表 2.3.3(2) 刃先角度と破断荷重

ガラス代替特殊機能樹脂板材の切断面



図 2.3.3(4) 切断面の画像

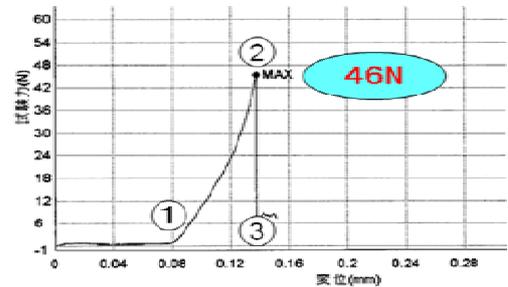


図 2.3.3(3) 荷重と変位(刃角 40° 両刃)

< 実験結果 2 >

ガラス代替特殊機能樹脂板材に平面からの垂直荷重を加え、ガラス代替特殊機能樹脂板材を応力のみでへき開加工ができるかを検討した。しかしながら、応力のみでは、へき開加工は、できなかった。そのときの刃先の形状を図 2.3.3(5) に、刃先先端を図 2.3.3(6) にそれぞれ示す。

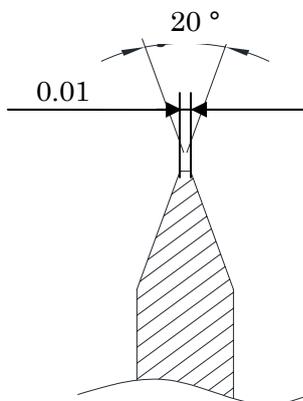


図 2.3.3(5) 刃先形状概略図

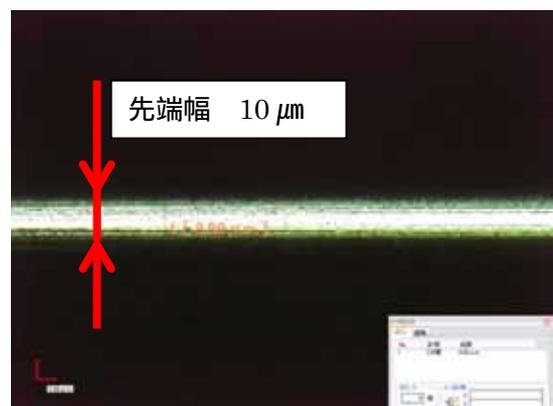


図 2.3.3(6) 刃先先端の平面部画像

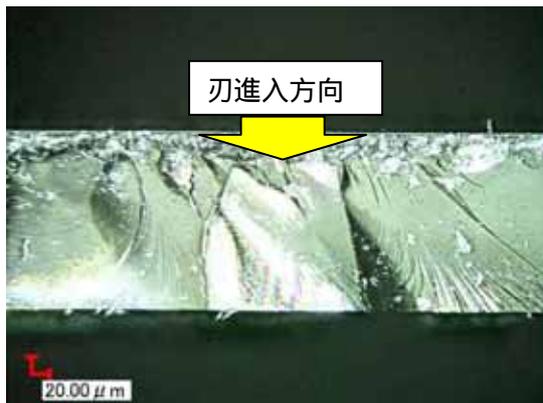


図 2.3.3(7) 破断面の画像

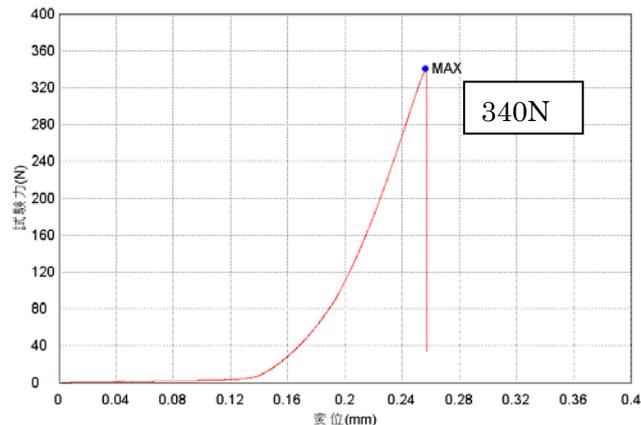


図 2.3.3(8) 荷重 - 変位グラフ

これらの実験結果から破断荷重は、20°両刃形状の刃物と比較し約10倍(36N 340N)もの荷重が必要であり、応力集中をガラス代替特殊機能樹脂板材にかけたこととなる。荷重 - 変位グラフを図2.3.3(8)に示す。結果として、へき開加工面の画像は、明らかに押し潰された破壊面と、それを起点にしたクラックによって破断面が形成されていた。代表的な破断面を図2.3.3(7)に示す。

(4)へき開加工の試験

<実験結果 1>

平成22年度までに分かったことが、刃先角度が90°以下の断面品質が悪かったので、刃先角度(90°、105°、120°)を変化させ、刃物の長さ84mmのそれぞれの刃先の真直度を測定して、【図2.3.3(9)】に示すように、刃物を取り付け、荷重試験機にて荷重(F)を加え、破断する荷重を測定した。その時の切断面を【図2.3.3(10)、(11)】条件や結果を【表2.3.3(3)】にまとめた。



図 2.3.3 (9) 破断状況 (へき開加工状況)

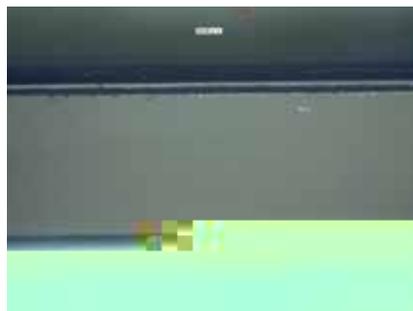
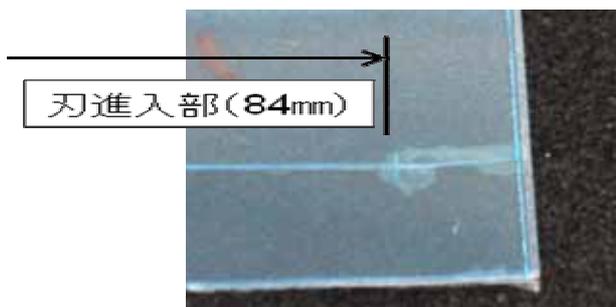


図 2.3.3(10) 刃先角度 90° のパネル上から見た外観 (左側) とへき開加工断面の品質 (右側)



図 2.3.3(11) 刃先角度 105° のパネル上から見た外観（左側）とへき開加工断面の品質（右側）

表 2.3.3(3) 刃先角度とへき開加工断面品質

刃先角度	刃先真直度 (μm)	破断荷重 平均(N)	へき開荷重 平均(N)	断面品質	図番
90°	0~1	1,100	1,000		図 2.3.3(10)
105°	0~1	1,850	1,700	×	図 2.3.3(11)
120°	0~1	1,830	1,700	×	

上図写真および【表 2.3.3(3)】で示すとおり、刃先角度が 90°より小さいと引張応力が発生する前に(小さい荷重)で切断が進み、結局破断してしまう。逆に 90°より大きいと刃先が鈍くなるために引張応力だけ大きくなり応力で破断に至っていると考察する。

2.3.4おわりに

数値目標として

刃先加工として研削盤の目盛加工量と実際の加工量との誤差 $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下

繰り返し研削代精度 $\pm 3 \mu\text{m}$ 以下を達成する

各刃先において切断刃先の真直度を追究していく

目標を定めておいたが、2.3.4結果および考察(1)刃先精度と導入装置の出来栄えの中で示した通り目標達成できた。今回の資料“ガラス代替特殊機能板材に対しては、最終目標として

一般的なタッチパネルの寸法である90mm×50mmの形状において、レーザー加工による切断加工時間に比し一枚あたり1/10以下の切断加工時間を達成する。(打抜く)

外形成形切断加工技術等の開発により、タッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料の切断面からのクラックの発生幅と、積層されている粘着剤塑性流動によるシワの発生幅を、それぞれ0.1mm以下を達成する。(破断面の品質に亀裂が無い)

事を目標に研究し達成することができた。

平成22年度は、タッチパネル用ガラス代替特殊機能樹脂板材を刃先角度の設計をして上手く切断することに注力を置いて、刃角を色々変化させ切断していったが、どうしても切断面に亀裂が入り品質

を損なってしまった。高速ビデオや動き解析マイクロスコープ等を十二分に利用して切断するところを「見える化」して判断すると、ガラス代替特殊機能樹脂板材は脆性破壊材料で、切断の途中で破壊してしまうことが分かった。切断では考えられない刃先先端角度 90° が、最適な先端角度と実験的に分かり、加工時間の短縮にも貢献でき、断面品質の優れたものに外形成形出来たと思う。但し、今後の事業化に向けて下記課題を今後も追求することで開発促進していきたい

(1)刃角形状を被加工物の機械的特性で出せるようにする

(2)様々な被加工物に対して、(1)の最適刃先形状から判断して、最適なへき開加工の“切り込み代”最適な“へき開加工の荷重”を算術計算で可能にする。

(3)スマートフォンやタッチパネルの形状がデザイン性を重視してくると思われるので様々な形状に対してへき開加工ができる要素技術を向上させる。

2.4 外形成形用切断刃の超合金設計技術の開発

2.4.1 はじめに

昨年度は WC-15 ~ 25mass%Co のナノ微粒超合金について、粉末混練、押出し成形および脱成形助剤・焼結条件を検討し、比重、硬さ、抗折力、 K_{IC} およびヤング率に及ぼす Co 量の影響なども調査した。本年度は、外形成形切断用の 15 ~ 22%Co ナノ微粒超合金素材を作製し、切断刃先の高精度加工技術に適したナノ微粒超合金を調査した。また、作製したナノ微粒超合金の耐摩耗性を調査した。さらに、刃先に適した DLC コーティングについても検討した。

2.4.2 実験方法

(1) WC-15 ~ 25mass%Co ナノ微粒超合金の刃先性状の調査

寸法 14mm × 2mm × 200 ~ 300mm の WC-15 ~ 22%Co ナノ微粒超合金製切断刃用素材について、昨年度に検討した条件で押出し成形加工・焼結を行い、所定のサンプルを得た。(株)ファインテックにて幅 13mm × 長さ 93mm × 厚さ 1.5mm に加工し、所定の条件で刃先の研削加工を行った。このとき刃先の角度は 90 度とした。得られた刃物について、SEM を用いて刃先の観察を行い、走査型共焦点レーザー顕微鏡で表面粗さを測定した。

(2) ナノ微粒超合金の耐摩耗性の調査

ASTM-B611-76 に準拠した方法で摩耗減量を測定した。耐摩耗性測定装置の模式図および試験条件を図 2.4.2(1)に示す。試料には Co 量が 15、18、20 および 22% のナノ微粒超合金を用いた。また、参考として市販の超合金と比較した。

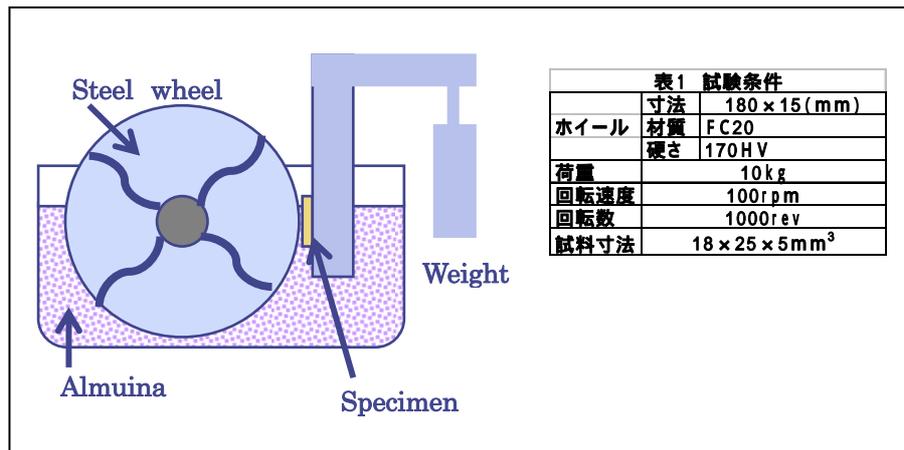


図 2.4.2(1) 耐摩耗性測定装置の模式図および試験条件

(3) 刃先に適した DLC コーティングの検討

WC-20%Co ナノ微粒超硬合金製切断刃について、厚さ $1\mu\text{m}$ の一般金型用 DLC および厚さ $0.2\mu\text{m}$ の精密金型用 DLC を行った。成膜方向と成膜時切断刃の設置方向との関係については、図 2.4.2(2)に示すような 2 種で行った。DLC 被覆後の刃先の状態について SEM 観察を行った。

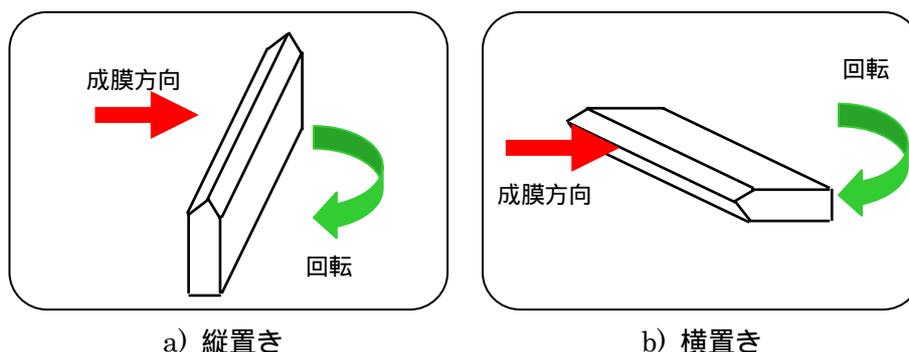
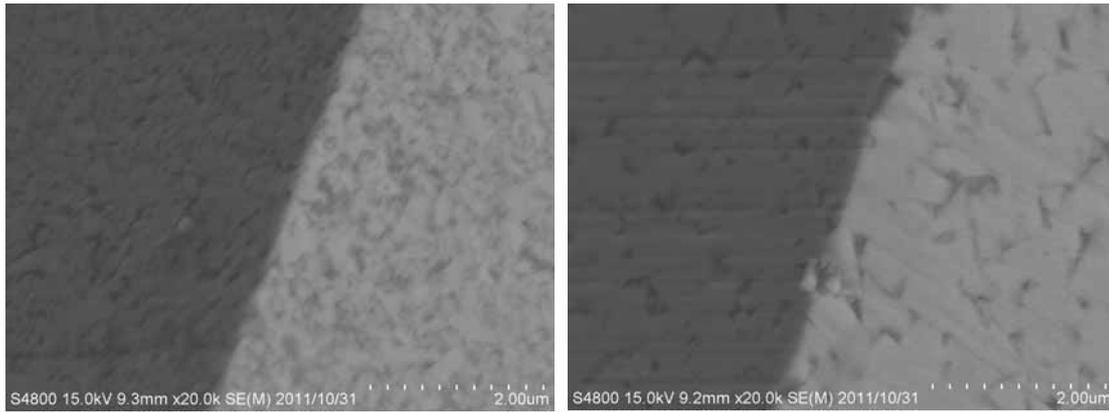


図 2.4.2(2) 成膜方向と成膜時切断刃の設置方向との関係

2.4.3 結果および考察

(1) WC-15 ~ 25mass%Co ナノ微粒超硬合金の刃先性状の調査

図 2.4.3(1)に WC-20%ナノ微粒超硬合金の切断刃刃先の SEM 観察例を示す。参考として従来の超微粒超硬合金も併記した。従来の超微粒超硬合金は WC 粒子の間の部分で合金組織の脱落が観察されることに対して、ナノ微粒超硬合金には大きな脱落はほとんど認められなかった。これは、ナノ微粒超硬合金の WC 粒度が超微粒超硬合金のそれに比べてきわめて小さく、また、Co 相の厚さも薄いことに起因していると考えられる。

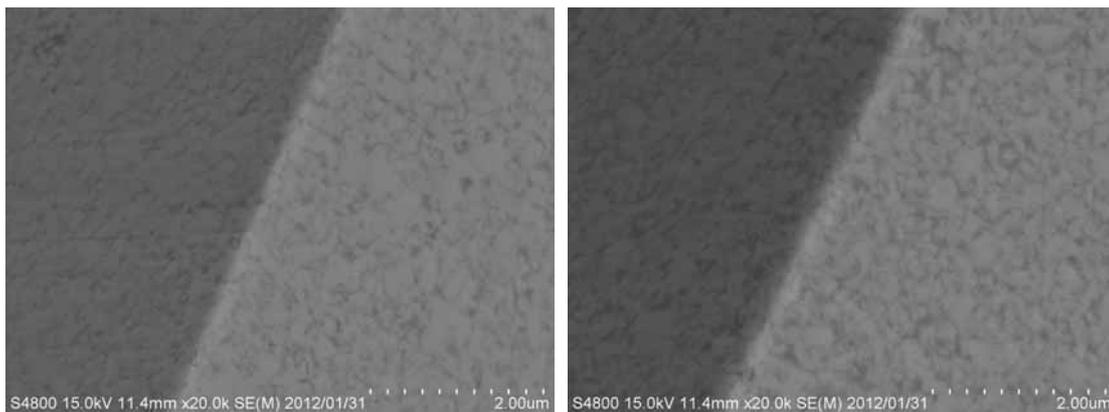


a) WC-20%Co ナノ微粒超硬合金

b) WC-10%Co 超微粒超硬合金

図 2.4.3(1) 作製した切断刃の刃先の SEM 観察例

図 2.4.3(2)に WC-15%Co および WC-22%Co ナノ微粒超硬合金製切断刃の刃先の観察例を示す。WC-20%Co の場合と同様に脱落は認められなかった。今回製作した範囲内では Co 量による刃先のチッピングへの影響は認められなかった。



a) WC-15%Co ナノ微粒超硬合金

b) WC-22%Co ナノ微粒超硬合金

図 2.4.3(2) Co 量を変化させた場合の刃先の観察例

(2) ナノ微粒超硬合金の耐摩耗性の調査

図 2.4.3(4)に ASTM 摩耗量に及ぼす ASTM 摩耗量の影響を示す。従来の超硬合金と同様に Co 量が増加すると摩耗量も増加した。これは、Co の硬さが WC より低いためである。図 2.4.3(4)にナノ微粒超硬合金および市販の超硬合金の硬さと ASTM 摩耗量との関係を示す。ナノ微粒超硬合金は同じ硬さの市販超硬合金に比べて摩耗量が多くなった。この原因については、ナノ微粒超硬合金が同じ硬さの市販合金に比べて Co 量が多く、アルミナスラリー中で行われる本摩耗試験においては、スラリー溶液による腐食が影響していると考えられるが、今後十分な検討を必要とする。

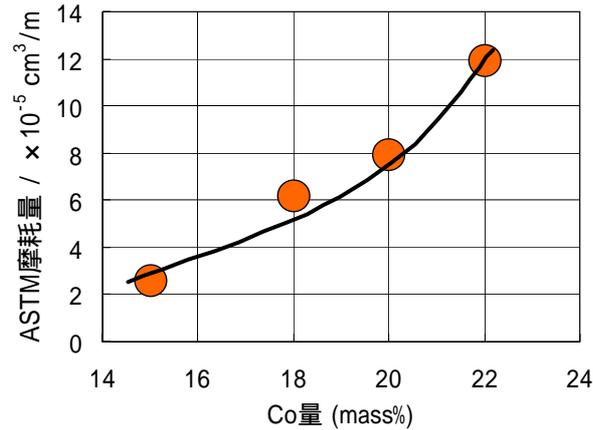
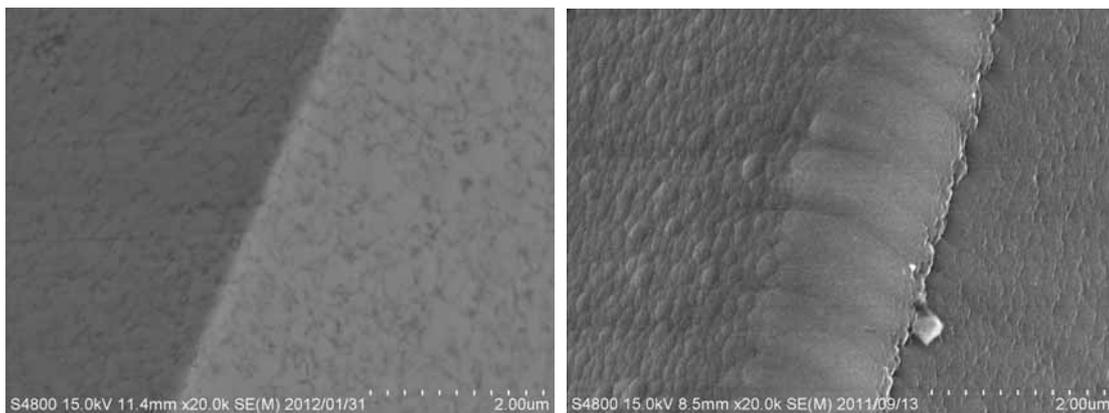


図 2.4.3(4) ASTM 摩耗量に及ぼす Co 量の影響

(3) 刃先に適した DLC コーティングの検討

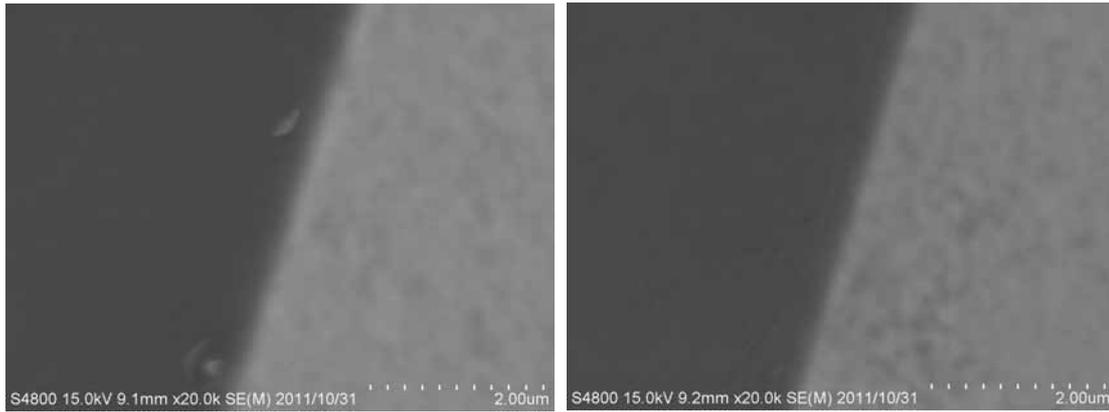
図 2.4.3(5)に一般金型用 DLC を図 2.4.2(2)の a)縦置き状態で被覆した場合の成膜前後の刃先の SEM 観察例を示す。一般金型用 DLC 被膜は膜厚 $1 \mu\text{m}$ であるため、表面に $0.1 \mu\text{m}$ 程度の大きさのうろこ状の模様が観察された。また、縦置きのため刃の両側が交互に成膜されるため、写真上において、左側の膜が右側の膜の上に覆いかぶさっている様子が観察された。そこでこれらを改善するため、膜厚を $0.2 \mu\text{m}$ と薄くし、切断刃の設置も横置きを追加して DLC 被覆を試みた。その刃先の SEM 観察例を図 2.4.3.(6)に示す。うろこ状の模様は無くなり、母材の WC も観察されるようになった。刃先先端の形状は DLC 被覆前とほぼ同様であり、維持できていることが分かった。縦置きの場合、一部被膜が盛り上がっている部分が観察されるが、この原因については良く分からなかった。



a) DLC 被覆前

b) 一般金型用 DLC 被覆後

図 2.4.3(5) 一般金型用 DLC 被覆前後の刃先の SEM 観察例



a) 縦置き

b) 横置き

図 2.4.3(6) 精密金型用 DLC 被覆前後の刃先の SEM 観察例

2.4.4 おわりに

下記(1)、(2)および(3)の 3 課題について検討し、下記の諸結果を得た。

(4) WC-15 ~ 25mass%Co ナノ微粒超硬合金の刃先性状の調査

市販の超微粒超硬合金の刃先にはチップングが認められたが、ナノ微粒超硬合金の刃先にはチップングがほとんど認められなかった。

Co 量が 15 ~ 22%のナノ微粒超硬合金については、いずれもチップングは認められず、Co 量の影響は確認できなかった。

(5) ナノ微粒超硬合金の耐摩耗性の調査

ナノ微粒超硬合金の ASTM 摩耗量は、従来超硬合金と同様に Co 量が多くなると増加した。

(6) 刃先に適した DLC コーティングの検討

膜厚を 0.2 μm とした精密金型用 DLC において、優れた刃先形状を実現することができた。

第3章 全体総括

3.1 平成22～23年度の開発成果の総括

3.1.1 外形成形切断加工技術の開発

刃先角度は試料ごとに最適条件の選定を行うが、両刃左右対称形は常に必要な仕様となった。

直線形状について刃物仕様が確立されたので R(曲線)形状の刃物仕様を検討した。丸形状の刃物で加工性を検討したが、綺麗な割断面が得られる刃先角度は鋭角の傾向にあった。40度の刃角にて割断面に凹凸無く、亀裂も少ない品質が得られた。R(曲線)形状の刃物仕様も確立されたことで、直線とR(曲線)形状を組み合わせる R 付棒形状の加工が可能となった。

一般的なタッチパネルの寸法である 90mm×50mm の形状において、レーザー加工による切断加工時間(約 30 秒/枚)に比し、一枚あたり1/10 以下の切断加工時間を達成した。

3.1.2 加工環境温度および各加工方法・条件による割断面観察評価

携帯電話分野および情報家電分野に使われているタッチパネル材料は主にガラス材が主流となっている。しかしながら高い生産性およびコスト競争力が要求されており、特殊機能樹脂板材料がガラスに代わる新世代の材料として注目され、今後急成長するものと予測される。

この材料の外形成形加工は現在、レーザ加工法とルーター加工法が用いられているが、硬くて脆いゆえにいろいろな問題を製造過程で抱えている。

そこで生産性とコスト競争を飛躍的に向上させ、このクラックの発生を抑制する刃物による外形成形切断加工技術として、切欠き効果を用いた遅れき裂現象いわゆる“へき開加工技術”を確立し、更にへき開加工に耐えうる材料、刃先形状を含めた刃物の研究開発を展開した。

ここでは、材料の温度依存性および周波数依存性を調査することで、割断面のへき開型破面率の促進条件を考察し、外形成形切断加工技術の向上を目指した。また対抗技術であるレーザ加工、ルーター加工に対して、本プロジェクトによって確立された「外形成形加工技術」「外形成形用切断刃の設計・刃先加工技術」より得られたへき開加工面の優位性を確認した。

その結果は以下の通りである。

・材料の動的粘弾性特性から、弾性に相当する貯蔵弾性率の温度依存性は低いが、振動吸収性や転移を反映する損失正接は - 50 ～ 50 の範囲で安定域であることが得られた。更に、実機による割断面の温度依存性調査から - 50 ～ 50 の範囲では割断面粗さが小さいことから、へき開面率が高いことが確認された。更に - 50 以下の低温域では Fibrous 破面が目立つ脆性破壊面、また 50 以上の高温域ではせん断破壊面であることを見出した。このことによってへき開破壊の確率が高く取れるのは、常温域での加工環境が良好であることを導いた。

・割断加工速度、加速度の影響を動的粘弾性特性から考察すると、高周波負荷を付加することで材料の延性破壊を抑制し、脆性破壊を促進することを見出した。このことによって更に割断面の品質が向上できる可能性があること明確にした。

以上のことから本プロジェクトによる加工技術、刃先の設計、刃先の高精度加工、超合金設計等の適切化された技術によって得られる割断面の品質(面粗さ、直角度、段差、凹)は、対抗加工技術

による加工面と比較して“十分平坦な加工面“、“十分にきれいな面“が得られることが確認できた。さらに最終年度目標である「外形成形切断加工技術等の開発により、タッチパネル用ガラス材代替特殊機能樹脂板材料の切断面からのクラックの発生幅(段差、凹)、0.1mm以下」を達成し、また研究目的である「非熱加工を前提とし、金型を用いないファインブランキング技術を複合した外形成形切断加工技術の開発」をクリアし事業化の目処がついた。

3.1.3 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発

平成22年度は、タッチパネル用ガラス代替特殊機能樹脂板材を刃先角度の設計をして上手く切断することに注力を置いて、刃角を色々変化させ切断していったが、どうしても切断面に亀裂が入り品質を損なってしまった。高速ビデオや動き解析マイクロスコープ等を十二分に利用して切断するところを「見える化」して判断すると、切断では考えられない刃先先端角度90°が、最適な先端角度と分かった。これは、あくまでも今回扱った「ガラス代替特殊機能樹脂板材」機械的特性が刃先角度90°に適していたことになる。故に他の「ガラス代替特殊機能樹脂板材」の機械的性質が異なれば、おのずと刃先角度は、異なってくる事になる。

平成23年度は、刃先角度の精度および刃先の真直度が出るように縦軸研削盤の周辺装置で補い真直度は、サブミクロンの精度まで上げることができた。それで、この研究の目標であるタッチパネルの外形成形加工ができるように刃先先端角度が決まったので、それを用いた抜き型を製作。その抜き型でタッチパネルを一括で抜いてみるとほとんど成功に近いものが出来たが、タッチパネルの裏面を見ると品質が少し損なわれる箇所を発見し、荷重、面圧等の論理的計算から一括でなく順送で2回に分けて抜くことが妥当であると判断した。相違なく実験でも順送で2回に分けて抜くと非常に良い品質のタッチパネルが完成した。

但し、このタッチパネル(9H材、厚さ200 μ m)は成功したが、これと同類のもので現状の刃角で良いものか、あるは、スマートフォン等50%増近くで成長している分野は、技術革新やデザインの斬新なものが登場してくるのは当然のことであり、斬新なデザインにこのへき開加工がどこまで追従できるかは、今後も要素開発を邁進していくべきことを示唆している。

3.1.4 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発

(1)ガラス代替特殊機能樹脂板材特性の把握

樹脂板材(9H)の厚さは200 μ mであり、その両面には青色と無色のプロテクトフィルム(厚さはいずれも50 μ m)が貼られていた。青色フィルム側の樹脂板材表面には1~4mmのピットが4,700/mm²の高密度で観察された。

樹脂板材はかなりの硬さ(370HV)と大きな弾性余効を持つ脆性材料であると見做せた。

上記の樹脂板材の上記の硬さおよび「被加工材硬さと超硬合金の必要硬さの比率に関する経験則」を考慮すると、樹脂板材切断刃用ナノ微粒超硬合金(WC 平均粒度:100nm)の必要硬さは1260HV以上であると判断された。

(2)WC-15~25mass%Co ナノ微粒超硬合金特性の把握

合金炭素量を健全相域の中炭素とした場合、25mass%Co 合金には他の Co 量の合金と異なり、既報の 30mass%Co 合金の場合ほどではないが、Co 相の偏析領域が観察された。この偏析領域は合金炭素量を中炭素から高炭素に変更することで解消できた。

Co 量が多くなるほど硬さおよびヤング率が低下し、破壊靱性値が上昇した。抗折力は 15～20%でほぼ一定であり、22%以上で減少した。例えば、20mass%Co 合金では、硬さは 1610HV(91.9HRA)、 K_{IC} は 6.4MPa/m^{1/2}、抗折力は 4.0GPa であった。

ナノ微粒超硬合金の硬さが上記(1)における 1260HV となる Co 量は、28mass%以下であることが分かった。

刃先性状を調査した結果、Co 量が 15～22%のナノ微粒超硬合金については、いずれもチップングは認められず、Co 量の影響は確認できなかった。

ノ微粒超硬合金の ASTM 摩耗量は、従来超硬合金と同様に Co 量が多くなると増加した。

(3) 粉末混練、押出し成形および脱成形助剤・焼結条件などの薄平帯板合金の調製条件の確立

過去の事業では使用しなかった滑り剤を既存の成形助剤に 2.0mass%追添加し、押出し成形温度を室温+ とした場合に。比較的直線状の薄平帯板成形体を得ることができると共に、その脱成形助剤・焼結体はクラックやポアなどの欠陥が存在しない正常なものであった。

(7) 刃先に適した DLC コーティングの検討

膜厚を 0.2μm とした精密金型用 DLC において、優れた刃先形状を実現することができた。

3.2 研究開発後の課題・事業化展開

3.2.1 外形成形切断加工技術の開発

ガラス代替特殊機能樹脂板材の切断加工において、被加工材の表面硬度を考慮し、刃物材質にナノ微粒超硬合金を選定、直線形状と曲線(丸)形状の刃物仕様を確立させ、直線と曲線を組み合わせることでコーナーR付の枠形状の加工が可能となる。これによりスマートフォンなどのタッチパネルを使用した高機能携帯端末向けに事業化展開が見込まれるが、一方でタブレットなどの大型部品への対応も同じ枠形状を加工する上で検討すべき課題である。また大きさ以外にも最小R限界値、異形状(楕円や長穴など)、穴を含む枠形状など対応が必要と考えられる形状は多々ある。

3.2.2 外形成形用切断刃の刃先設計・高精度加工技術の開発

事業化展開する上で量産目前のパネル(9H材、厚さ200μm)の素材をタッチパネル上に切断する方法は、直線部に対しては技術が確立したと思う。但し、今後の事業化に向けて下記課題を今後も追求することで開発促進し販売していきたい。

(a) 刃角形状を被加工物の機械的特性で出せるようにする

(b) 様々な被加工物に対して、(a)の最適刃先形状から判断して、最適なへき開加工の“切り込み代”最適な“へき開加工の荷重”を算術計算で可能にする。

(c) スマートフォンやタッチパネルの形状がデザイン性を重視してくると思われるので様々な形状に対してへき開加工ができる要素技術を向上させる。

上記の開発をしながらも、全世界に PR を行い、販売戦術を練っていきたい。

3.2.3 外形成形用切断刃の超硬合金設計技術の開発

本事業で開発された切断刃用ナノ微粒超硬合金は、高硬度・高靱性でシャープエッジ性に優れた従来の超微粒超硬合金をはるかに上回るポテンシャルを有している。硬脆材料用の切断刃はもちろんのこと、各種耐摩耗工具への応用が期待できる。事業化を推進するに当たり、課題と考えられるのは、原料粉末が微粒であるためコンタミや酸化の影響を受けやすく、安定生産を行う上での粉末の管理体制にあると考えている。ナノ微粒超硬合金専用の生産ラインの構築を検討し、上記課題の排除にあたる。

リサイクル適性 (A)

この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。