

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **22A2**
March/2011

マシニング事業

■ 寄稿・論文・報文・解説

「DLCコーティング金型による
マグネシウム合金板のドライ絞り加工」

Dry-Drawing of Magnesium Alloy Sheets
with DLC Coated Metal Mold

〈キーワード〉 DLC・金型・マグネシウム合金・ドライ・絞り加工

工具事業部／ラウンドツール製造所／技術部／コーティング開発

野城 淳一 Junichi NOSHIRO

熊本県産業技術センター

濱嶋 英樹 Hideki HAMASHIMA

福井工業大学／工学部／機械工学科

教授 神田 一隆 Kazutaka KANDA

パナテック

基 昭夫 Akio MOTOI

要 旨

マグネシウム合金は軽量で比強度が高いことをはじめ、種々の優れた特性を有する。また環境保護の観点においてもリサイクル性の良さなどから広範な分野での適用が期待されている。DLCコーティングもまた、高硬度、低摩擦、耐摩耗性など多くの優れた機械的特性を有することでその実用化がすすめられている。

ここではマグネシウム合金板の温間絞り加工において、耐熱潤滑剤が使用されることにより発生するコストおよび環境負荷の低減を図るため、その代替としてのDLCコーティングの可能性を調査した。DLCとして水素フリー、水素含有、およびフッ素含有の3種類の膜を選び、これらを絞り加工用金型のダイスとブランクホルダーにコーティングした。この金型を用いて温間で3種類のマグネシウム合金板を無潤滑で絞り加工したところ、いずれも限界絞り比2.1以上の加工が可能であった。これによりDLCコーティングのマグネシウム合金のドライ絞り加工への実用可能性を提示した。

Abstract

Starting with characteristics of light weight and high specific strength, Magnesium alloy has various, excellent characteristics. It is also expected to be used in wide-ranging fields because of good recyclability in terms of environmental protection. DLC coating also has many superb, mechanical characteristics such as high hardness level, low friction and friction resistance, thus it is in the process of practical application.

Based on our investigation, we will discuss the possibility of use of DLC coating as an alternative method for reduction of cost and environmental burden that may incur associated with use of heat-resistant lubricant in warm-drawing of magnesium-alloyed plate. Three types of films, hydrogen-free, hydrogen-contained and fluoride-contained films were selected as DLC and were coated on dies for drawing and blank holders. Then, using these dies, three types of magnesium-alloyed plates were warm-drawn with no lubricant. In all these cases, the drawing was possible with the limiting drawing ratios above 2.1. Thus, the result indicated the possibility for practical application of DLC coating in the dry-drawing of magnesium-alloyed plates.

1. DLCコーティングの特性と適用の現状¹⁾

DLC (Diamond-like Carbon) は、高硬度、低摩擦、耐摩耗性など優れた機械的特性を有することが知られている。また、優れた赤外・可視光透過性、電気絶縁性、化学的安定性などを示すことから広範な分野において注目され、実用化がすすめられている。DLCの構造は、図1に示すように炭素と水素から構成されており、グラファイト結合 (sp^2 結合) とダイヤモンド結合 (sp^3 結合) を有するアモルファス(非晶質)構造である。その製法としては一般的にスパッタリングやイオンプレーティングなどのPVD法やプラズマCVD法が用いられ、製法やその条件により水素含有量や sp^2 結合と sp^3 結合の比率が変化し、性質も変わることから、図2に示す分類図によって定義する提案がなされている²⁾。最近では、基材との密着性を高めるために高周波 (RF) と高圧DCパルスを重畳させたPBII法 (Plasma Based Ion Implantation) など新しい製法も開発されている。また異種元素を添加し、新たな特性を持たせた金属添加DLCやフッ素添加DLCなども開発され、応用分野の拡大が期待されている。

一方、世界的に環境保護への意識が高まるにつれて、機械加工の分野では、潤滑油を使用しないドライ加工化の動きがすすめられている。アルミニウム合金は、その延性や凝着性のためTiNやTiAlNなどの一般的なコーティング工具ではドライ加工が困難とされてきた。DLCコーティングはアルミニウムに対して低摩擦であり凝着性が低いことから、アルミニウム合金のドライ加工用としてドリル、エンドミルなどの切削工具に、いち早く実用化された。塑性加工工具においても、DLCは広く採用されており、衛生面の観点からドライ加工が行なわれるアルミ缶金型、鏡面精度や平行度が要求される光ディスク金型にも効果をあげている。しかしながら、DLC膜は耐熱性が十分とはいえず、その市場は限定されている。これが改善されれば飛躍的な市場拡大が予想される。

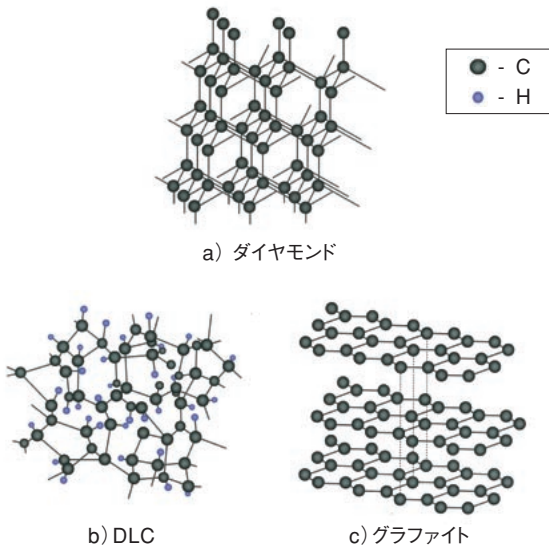
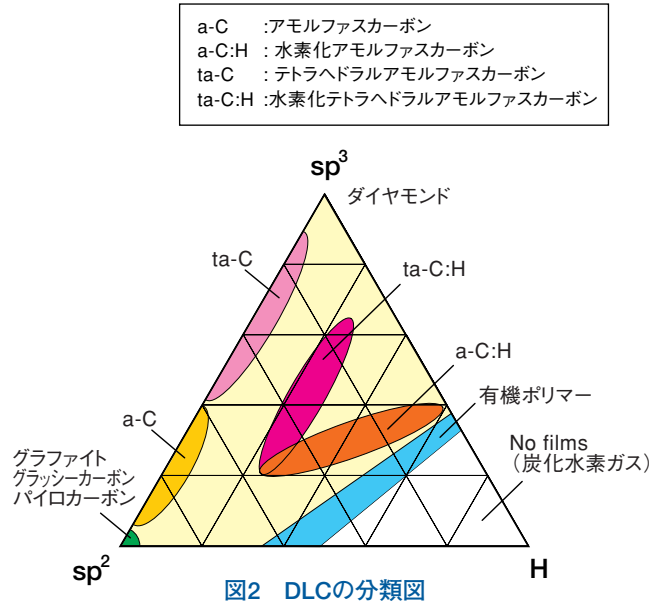


図1 DLCの構造



2. マグネシウム合金加工の現状

マグネシウム合金は、工業的に使用されている金属の中で最も小さい比重でありながら高強度であり、軽量材料として自動車をはじめとする輸送機械分野で広範な実用化が検討されている。また、マグネシウム合金は電磁波シールド性に優れることから携帯電話機やパソコンの筐体など、様々な情報家電分野でも用途が拡大している。さらには、資源が豊富であり、リサイクル性にも優れていることから、環境負荷低減のため注目されている材料でもある。これらの利点から鉄やプラスチックに替わる材料として期待されているが、材料コストと加工コストに課題が残っていることから、広範な適用には至っていないのが現状である。

マグネシウム合金の加工としては、鋳造法と塑性加工法に大別される。現在は複雑形状品を低コストで加工できるダイキャストなどの鋳造法が主流となっているが、高生産性、高品質、高強度が得られる連続プレス加工が期待されている。しかし、マグネシウム合金は常温での延性に乏しく温間にて加工しなくてはならず、また潤滑油や二硫化モリブデン、テフロンシートなどの耐熱潤滑剤も必要とするため、金型のメンテナンスが煩雑であり、製品洗浄などの工程も増えコストアップの要因となっている。さらに、これら潤滑剤の使用は、温間加工時のオイルミスト発生による作業環境の劣悪化や、環境や衛生適応性の観

点からも問題となっている。また、その材料となる板材についても製造プロセスの改善によりコストダウンを図る試みも報告されている³⁾が、温間での圧延加工となるため現状は高価である。

これらを解決するため、本研究ではプレス加工時におけるコスト改善および環境負荷低減を図り、耐熱潤滑剤を使用しないプレス加工のドライ化の検討を行ってきた。そして、従来の潤滑剤の代替としてマグネシウムとの間で安定炭化物を生成しないとされる炭素材料を金型にコーティングする方策に着目した。これまでの成果としてCVDダイヤモンドコーティング金型によるドライ絞り加工を試み、十分な耐久性、耐摩耗性、潤滑性を示すことを確認している⁴⁾。しかし、ダイヤモンドコーティングはコストが高いうえ、ダイヤモンド特有の粗い結晶性の表面形状を有し、金型として使用するには後工程として研磨を必要とするため、金型製造コストに課題がある。また、コーティングできる面積も小さいという課題もある。そこで、大面積コーティングが可能で、表面平滑性に優れて研磨を必要としないDLC膜に着目し、マグネシウム合金板材AZ31、AZ61および難燃性のAMX602⁵⁾を用いて、ドライ温間絞り加工実験を行ない、マグネシウム合金に対するDLCコーティング金型の適用可能性について検討した。

3. DLCコーティング金型による マグネシウム合金板のドライ絞り加工⁶⁾

1) 供試材および実験方法

供試材には板厚0.8mmのマグネシウム合金AZ31、AMX602、および板厚0.6mmのAZ61を用いた。主要化学成分を表1に、圧延方向に対し、0°と90°方向の表面粗さを表2に示す。使用したDLCコーティング膜は水素フリーDLC、水素含有DLC、フッ素含有DLCの3種類で、比較のためダイヤモンド膜をコーティングした金型も使用した。使用したコーティング金型を表3に示す。試験装置はインナー最大荷重790kN、アウターおよびダイクッション最大荷重490kNの油圧式プレス装置(アミノコーポレーション社製:TMO80K)を用いた。

図3にマグネシウム合金板の温間ドライ絞り加工部およびダイス構造の模式図を示す。図に示すように各種コーティングは超硬合金製ダイスおよびブラン

クホルダーに施した。ダイス構造は肩部組込み型と肩部一体型があり、ここで用いるコーティング名称はダイス肩部に施した膜とする。なお、水素含有DLC膜およびダイヤモンド膜のコーティングには組込み型を用い、水素含有DLCでは肩部基材にSKD11、ダイヤモンド膜には超硬合金を用いた。

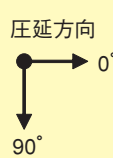
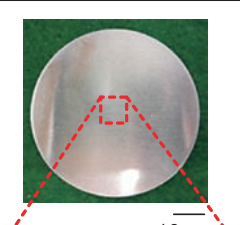
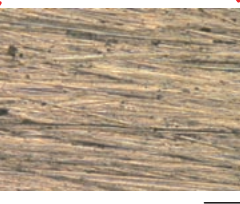
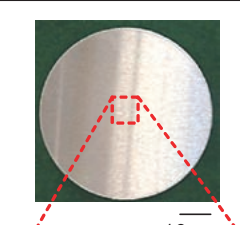
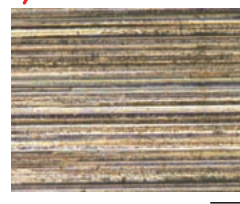
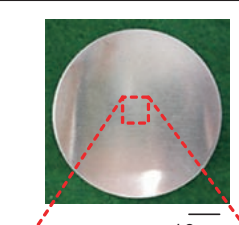
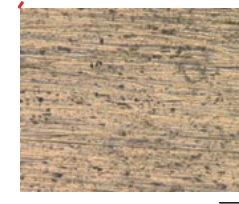
試験温度においては、通常AZ31は180℃前後、AZ61は200℃以上で、難燃性のAMX602は280℃以上でプレス加工が行なわれているため、180~350℃の間で温度条件を変えて試験を実施した。また、加熱保持時間はAZ31、AZ61は1分間、AMX602は2分間とした。試験はいずれもドライ条件下(無潤滑)で行なった。その試験条件を表4に示す。

表1 マグネシウム合金材の主要成分表

供試材	Al	Zn	Mn	Ca	Si	Cu	Fe	Be	Mg
AZ31	3.22	0.80	0.370	—	0.040	0.0005	0.0016	—	残
AZ61	6.11	0.97	0.267	—	0.025	0.0017	0.0021	—	残
AMX602	5.85	0.02	0.420	2.0	0.031	0.0016	0.0022	0.0012	残

(Mass%)

表2 供試材の圧延方向による表面粗さ

供試材	AZ31	AZ61	AMX602
板材外観 および 表面拡大写真 圧延方向 	 	 	 
表面粗さ Rz[μm]	4.44 (0°) 11.09 (90°)	1.75 (0°) 13.77 (90°)	2.87 (0°) 4.87 (90°)

()内は圧延方向に対する角度

表3 コーティング金型の種類

試験名称 (肩部)	ブランクホルダー	ダイス			
		ダイス構造	ダイ肩R(mm)	金型平面	ダイ肩R部
水素フリーDLC	水素フリーDLC	一体型	6.0	水素フリーDLC	水素フリーDLC
水素含有DLC	水素フリーDLC	組込み型	4.0	水素フリーDLC	水素含有DLC
フッ素含有DLC	フッ素含有DLC	一体型	4.0	フッ素含有DLC	フッ素含有DLC
ダイヤモンド	水素フリーDLC	組込み型	4.0	水素フリーDLC	ダイヤモンド

表4 ドライ絞り加工条件

項目		仕様
供試材	材質	AZ31、AZ61、AMX602
	直径	48、50 mm
	板厚	AZ31、AMX602 : 0.8 mm、AZ61 : 0.6 mm
試験温度		180、200、250、280、300、350°C
ダイス	加工部表面	DLCコーティング膜、ダイヤモンド膜
	ダイス径	25.0 mm
	肩 R	4.0、6.0 mm
パンチ	材質	SUS 304
	肩 R	4.0 mm
	パンチ径	23.0 mm
	温度	20°C 水冷
加工速度		5 mm/min

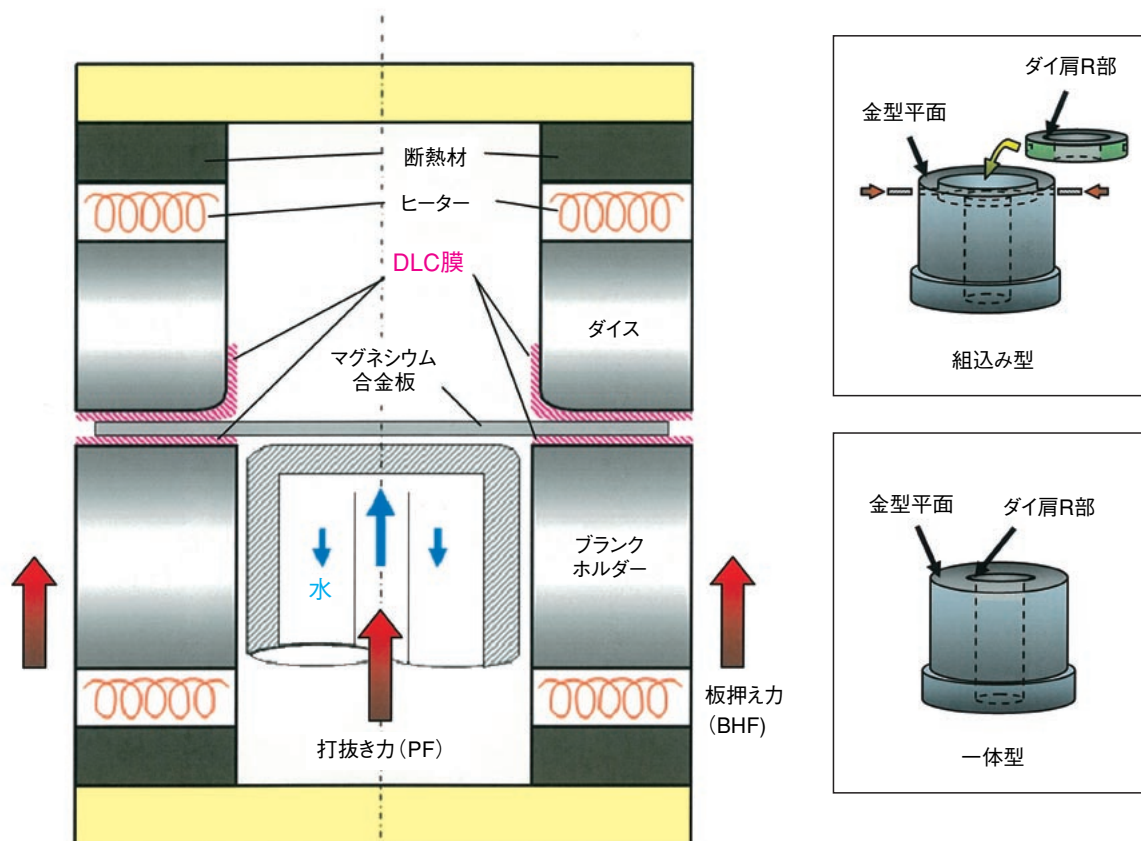


図3 ドライ絞り加工金型およびダイス構造の模式図

2)ドライ絞り加工実験結果

ドライ絞り加工の結果を表5にまとめて示す。また、優れた成形性を示した水素フリーDLC金型を用いた加工後の成形カップの外観と、円筒部の表面写真ならびにその絞り方向に対して0°と90°方向の表面粗さの測定値を表6に示す。

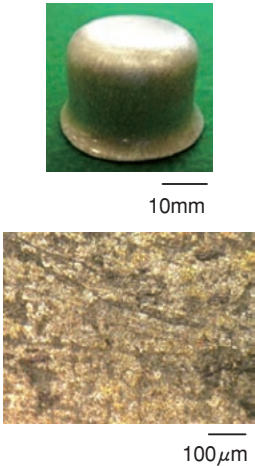
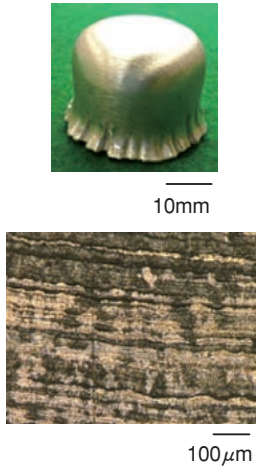
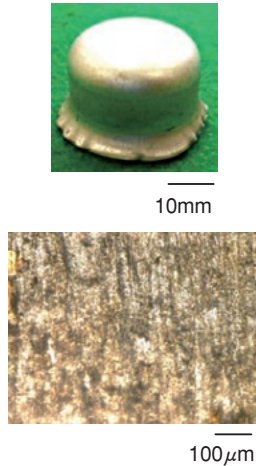
AZ31材においては、絞り比2.2まですべてのDLCコーティング金型で成形可能であった。AZ61材においては、水素フリー、水素含有DLCコーティング金型では絞り比2.2、ダイヤモンドおよびフッ素含有DLCコーティング金型では絞り比2.1まで成形可能であった。AMX602材においては、水素フリーDLC、ダイヤモンドコーティング金型で絞り比2.1まで成形可能であった。水素フリーDLC金型のダイ肩Rは他のダイスに対してRが大きい6mmを用いたため、塑性加工性が他のマグネシウム合金よりも劣るAMX602材の成形が可能であったと考えられる。

なお、本試験では装置の制約により限界絞り比(Limiting Drawing Ratio, 以下LDR)が2.1と2.2の試験となったが、AZ31材は潤滑剤を用いた場合はLDR2.5、テフロンシートを用いるとLDR2.8まで加工可能であり⁷⁾、LDR2.3以上の加工の可能性も考えられる。

成形加工したAZ61材の加工面は、0°方向の表面粗さRz(最大高さ)(JIS B0601:2001準拠)が供試材より7μm程度大きくなっているが、表6に示したように圧延時のロール目が認められ、加工による凝着痕などは認められない。従って、高温ドライ環境下においてもDLCが潤滑膜、耐凝着膜として機能したといえる。AMX602材においては、Rzは0°、90°それぞれ供試材より4μm、2μm程度大きくなっているが、平坦な外観を示しており、圧延時のロール目は認められない。このことから、マグネシウム合金の凝着を防止できたとしてもAMX602材加工におけるLDRはロール目が残るAZ31材より大きくはならないと考えられる。

以上のように、DLCコーティング金型、特に水素フリーDLCは優れた耐凝着性を示した。また、材種に対しては、AMX602材が難加工性を示したが、AZ31、AZ61材では比較的良好な成形性を示した。これより、温間絞り加工金型にDLC膜をコーティングすることによって、潤滑剤使用相当のドライ加工実現の可能性を示した。

表6 ドライ絞り加工後の表面粗さ

供試材	AZ31	AZ61	AMX602
加工後外観 および 表面拡大写真			
圧延方向 0° 90°			
表面粗さ Rz[μm]	4.44 ⇒ 3.54 (0°) 11.09 ⇒ 4.56 (90°)	1.75 ⇒ 8.70 (0°) 13.77 ⇒ 8.97 (90°)	2.87 ⇒ 6.64 (0°) 4.87 ⇒ 6.79 (90°)

()内は圧延方向に対する角度

表5 ドライ絞り加工結果

供試材	R部膜	ブランク径 (絞り比)	試験温度(°C)					
			180	200	250	280	300	350
AZ31	水素フリーDLC R6	50 (2.2)			—	—	—	—
	水素含有DLC R4	50 (2.2)	—		—	—		—
	ダイヤモンド R4	50 (2.2)	—		—	—	—	—
	フッ素含有DLC R4	50 (2.2)	—		—	—	—	—
AZ61	水素フリーDLC R6	50 (2.2)	—		—	—	—	—
	水素含有DLC R4	48 (2.1)	—	—	—	—		—
		50 (2.2)	—			—		—
	ダイヤモンド R4	48 (2.1)	—	—		—		
		50 (2.2)	—		—	—	—	—
	フッ素含有DLC R4	50 (2.2)	—			—		—
AMX602	水素フリーDLC R6	48 (2.1)	—					—
		50 (2.2)	—	—	—			—
	水素含有DLC R4	48 (2.1)	—	—		—		—
	ダイヤモンド R4	48 (2.1)	—	—		—		
	フッ素含有DLC R4	48 (2.1)	—	—	—	—		—

4. DLCコーティングの今後の展望

今回、DLCコーティング金型を用いた無潤滑下での温間絞り加工の可能性を調べるために、各種マグネシウム合金板を用いてドライ絞り加工試験を試みた。マグネシウム合金板の材料コスト改善と安定供給の確保ならびにDLCコーティングのさらなる最適化など、実用化、量産化への課題はあるが、金型にコーティングされたDLC膜はマグネシウム合金の温間ドライ絞り加工の可能性を提示したといえる。温

間加工のように高温環境下における潤滑剤の代替としてもニーズが高まっているDLCコーティングであるが、さらなる高温領域では耐熱限界の問題で実用化が容易ではないのが現状である。こういった課題をひとつずつ解決し、DLCコーティングが製造コスト低減や、環境負荷低減などの社会貢献に繋げられるよう努めていく。

5. 謝辞

本研究は発表連名者のほか以下の研究メンバーで実施した。坂本満氏、佐藤富雄氏、上野英俊氏(独立行政法人 産業技術総合研究所)、道野隆二氏(熊本県産業技術センター)、高橋孝誠氏(熊本県溶接

協会)、深川和良講師(鹿児島大学)、野村博郎氏(松山技研株式会社)、神雅彦教授(日本工業大学)。また、AZ61材をご提供いただいた権田金属工業株式会社殿に感謝いたします。

参考文献

- 1) 斎藤秀俊・大竹尚登・中東孝浩：DLC膜ハンドブック、P.40～42、P.188～206 (2006)
- 2) A. C. Ferrari and J. Robertson: Interpretation of Raman spectra of disordered and amorphous carbon, Physical Review, 61 (20), 14095 (2000)
- 3) 吉本隆志・松永卓・和田敏秋: NACHI TECHNICAL REPORT, 13 (B3), P.1～7 (2007)
- 4) 坂本満・基昭夫・神田一隆・高橋孝誠・深川和良・神雅彦: アルトピア, 38 (8), P.17～21 (2008)
- 5) 坂本満・秋山茂・萩尾剛・大城桂作: 鑄造工学, 69 (3), P.227 (1997)
- 6) 濱嶋英樹・道野隆二・深川和良・野村博郎・野城淳一・神雅彦: 平成21年度塑性加工学会春季講演会論文集, P.277～P.278 (2009)
- 7) 古閑伸裕: 塑性加工, 44 (506), P.56 (2003)