深穴金型におけるPVDコーティング膜厚の均一化: 対向デュアルビーム・アーク蒸着法の開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-05-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 嶋村, 公二, 山口, 絵美, 政, 誠一, 細川, 晃, Shimamura, Koji, Yamaguchi, Emi, Masa, Seiichi, Hosokawa, Akira メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00052914

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.

Copyright © 2016 JSPE

深穴金型におけるPVDコーティング膜厚の均一化
—対向デュアルビーム・アーク蒸着法の開発—

㈱北熱 ○嶋村公二，山口絵美，政 誠一，金沢大学 細川 晃

Formation of Uniform Film Thickness on the Deep Hole in Mold by PVD Coating Process
– Development of Facing Dual-Beam Arc Deposition Method –

Hokunetsu Co., Ltd. Koji SHIMAMURA, Emi YAMAGUCHI, Seiichi MASA, Kanazawa University Akira HOSOKAWA

The facing dual-beam arc deposition (FDAD) method is developed in order to form uniform TiN film on the deep hole surface in die/mold, in which dual beams of Ti^+ and N_2 are irradiated from the both sides of a long through-hole. This innovative coating method makes it possible to form TiN film on the whole inner surface of a hole, which has an aspect ratio of $108^L/20^D$=5.4, with a uniform film thickness, film hardness and film composition close to a stoichiometry ratio.

1. 緒 言

機械部品の高性能化とともに優れた機械的性質を有する金属材料が採用され，成形用金型への負荷は大きくなる一方である．そのため，PVD（Physical Vapor Deposition）による硬質保護膜を金型表面に生成し，耐摩耗性を向上させることが多い．しかしながら，冷間鍛造加工や粉末焼結加工で使用する深穴ダイス金型（L/D=3~6）の場合，深穴内面部へ保護膜を形成することできないため，金型寿命の延長が難しいことが問題になっている．

本研究では，従来 PVD 法では生成不可能であった深穴内面へ硬質保護膜を生成するため，独自の対向デュアルビーム・アーク蒸着を製作し，膜特性を検証した結果について報告する．

2. 対向デュアルビーム・アーク蒸着法

PVD法の一種であるアーク蒸着法（AD）による膜生成原理を**図1**に示す．本方法では，真空中でアーク放電により Ti ターゲットを蒸発させ，N_2ガスと結合することによって対象金型に TiN（窒化チタン）膜を生成させる[1]．次に，本研究で提案する対向デュアルビーム・アーク蒸着法（FDAD）の生成原理を**図2**に示す．本装置はアーク電極と真空チャンバの間のダクトに電磁コイルを備えており，アーク放電で蒸発させた Ti^+をビーム状に収束することが可能である．そして，対向する2対の電極から金型深穴部の両側にビーム照射することで，深穴内面への膜生成を試みるものである．

3. 実験方法

対向デュアルビーム・アーク蒸着装置（北熱製，HFAD-K211）により，深穴内面（ϕ20×108L，L/D=5.4）へ TiN 膜を生成した．比較用として，量産型PVD装置のアーク蒸着装置（神戸製鋼所製，AIP-S40），ホロカソード蒸着装（不二越製，SS-2-8）およびアンバランスドマグネトロンスパッタ装置（神戸製鋼所製，UBMS504）についても TiN 膜を作製した．**図 3**(a)のように，深穴形状の治具に試験片（SKH51，HRC64，13.5×13.5×5t）を 8 個搭載することで，深穴内面に生成した TiN 膜の評価を可能にした．**図 3**(b)は対向デュアルビーム・アーク蒸着装置（FDAD）によるコーティング膜生成の様子で，治具の深穴内面へ TiN ビームが照射されていることがわかる．生成した TiN 膜について，外観観察，膜厚分布（カロテスト），硬さ分布（ナノインデンタ），組成分布（EDS）を評価した．

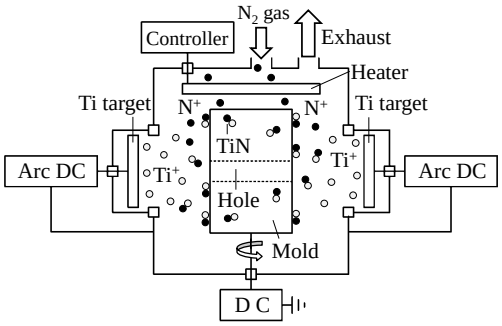


Fig.1 Arc deposition method (AD)

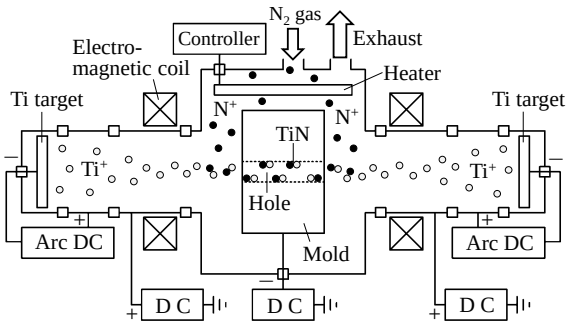
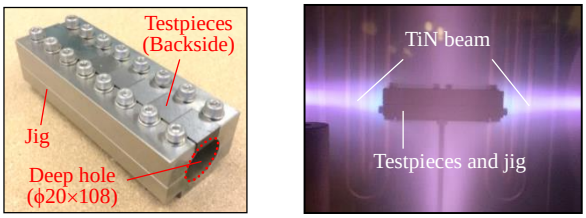


Fig.2 Facing dual-beam arc deposision method (FDAD)

Table 1 Coating samples

Sample	Coating method	Film
FDAD-TiN	Facing dual-beam arc deposition	TiN
AD-TiN	Arc deposition	TiN
HCD-TiN	Hollow cathode discharge	TiN
UBMS-TiN	Unbalanced magnetron sputter	TiN



(a) Testpieces fixed on the jig (b) Coating process in FDAD

Fig.3 Experimental method

Copyright © 2016 JSPE

4. 実験結果

4. 1 外観観察

深穴内面(ϕ20×108L, L/D=5.4)で TiN 膜を生成した試験片を**図 4** に示す. 従来 PVD 法の AD-TiN は両端の穴入口付近のみ TiN 膜の金色を呈しているが, 中央の穴奥部は膜が形成されず基材が露出している. 一方, 開発した FDAD-TiN は穴入口から穴奥部まで金色であり, 全面に TiN 膜が生成されていることがわかる.

4. 2 膜厚分布

各製法で深穴内面(ϕ20×108L, L/D=5.4)に生成した TiN 膜の膜厚分布を**図 5** に示す. いずれの製法においても, 穴入口から深くなるほど膜厚は減少する傾向がみられる. 特に従来 PVD 法の AD-TiN, HCD-TiN および UBMS-TiN では, 膜厚の減少が急激で, 穴入口から 35 mm 以上になると TiN 膜の生成は確認できない. これに対して FDAD-TiN では穴入口部の膜厚 2.7~2.9 μm から減少するものの, 中央の穴奥部においても 1.0 μm 以上の TiN 膜が生成されていることがわかる.

4. 3 硬さ分布

金型の寿命を向上させるには, より硬い膜を生成することが重要である. 各製法で深穴内面(ϕ20×108L, L/D=5.4)に生成した TiN 膜の硬さ分布(ナノインデンタ)を**図 6** に示す. 従来 PVD 法の AD-TiN, HCD-TiN および UBMS-TiN は, 穴入口から 2 mm において高い塑性変形硬さ H=44~57 GPa を示したが, 穴入口から 6 mm 以上になると H は低下する傾向がみられた. 一方, 開発した FDAD-TiN は穴入口から穴奥部まで H=58~63 GPa で推移しており, 高い硬さの TiN 膜を均一に生成できていることが確認できた.

4. 4 組成分布

機械的性質の変化は膜構造が影響している可能性があり, TiN 膜の組成分析を実施した. 各製法で深穴内面(ϕ20×108L, L/D=5.4)に生成した TiN 膜の Ti/TiN 組成分布を**図 7** に示す. 従来 PVD 法の AD-TiN, HCD-TiN および UBMS-TiN では, 穴入口から 5mm までは Ti/TiN 組成 C_{Ti}=41~46 at%を維持しているが, 穴入口から 10mm 以上になると C_{Ti} は急激に減少した. これは, N_2 ガス雰囲気の穴奥部に Ti^+が到達しないため, N リッチの TiN が生成されているものと考えられる. 一方, FDAD-TiN は穴入口から穴奥部まで安定して C_{Ti}=43~47at%で推移しており, 化学量論組成に近い TiN 膜を均一に生成できていることが明らかになった.

5. まとめ

(1) 対向デュアルビーム・アーク蒸着法(FDAD)を開発し, 従来 PVD 法では膜生成が不可能であった深穴内面(ϕ20×108L, L/D=5.4)において, 1.0~2.9 μm の TiN 膜を生成できた.

(2) 開発した対向デュアルビーム・アーク蒸着法(FDAD)では, 深穴内面の奥部まで, 高い硬さの TiN 膜を均一に生成できた.

本研究を遂行するにあたり, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成に感謝します.

参考文献

1) 高原一樹, 藤井博文: AIP 法における装置技術の展開, 神戸製鋼技報, **50**, 2 (2000) 53.

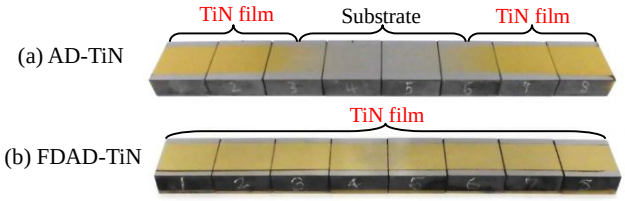


Fig.4 Appearances of TiN-coated testpieces on the deep hole (ϕ20×108L, L/D=5.4)

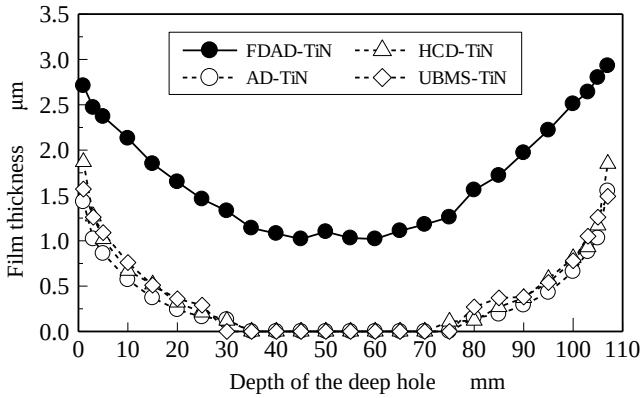


Fig.5 Thickness distribution of TiN films on the deep hole (ϕ20×108L, L/D=5.4)

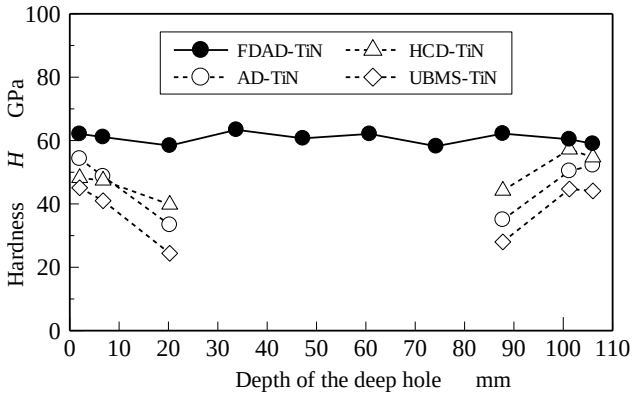


Fig.6 Hardness distribution of TiN films on the deep hole (ϕ20×108L, L/D=5.4)

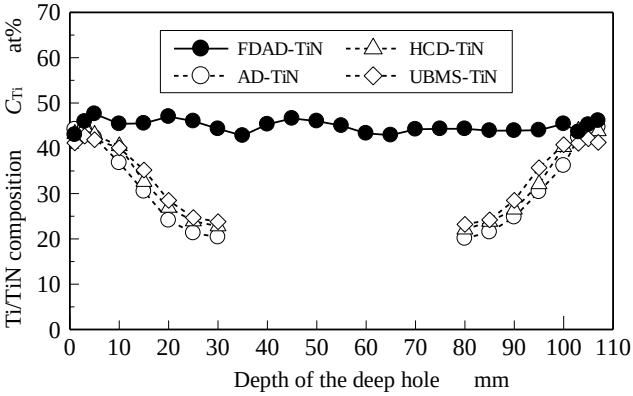


Fig.7 Ti/TiN composition of TiN films on the deep hole (ϕ20×108L, L/D=5.4)