

Plasma-Oberflächentechnik · Materialphysik

Untersuchungen zur Verbesserung der Stempelstandzeit für die Heißpräge-MID-Technik

Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die Heißprägetechnik ist ein schneller und wirtschaftlicher Fertigungsprozess zur Herstellung spritzgegossener 3-dimensionaler Kunststoffschaltungsträger (Molded Interconnect Devices, MID), welcher sich durch wenige Arbeitsschritte und vergleichsweise geringe Investitionskosten auszeichnet. Heißpräge-MID-Baugruppen werden bereits erfolgreich in diversen Branchen wie beispielsweise der Automobilindustrie, Haushaltsgerätetechnik und Industrieelektronik eingesetzt.

Ein wesentliches Optimierungspotential bei der Fertigung von Heißpräge-MID besteht in den Heißprägestempeln selbst. Sie sind im Allgemeinen aus härtbaren Stahlsorten gefertigt. Je nach Prägebedingungen ist in der industriellen Fertigung der Stempel nach ca. 500 bis 1000 Prägungen an der Oberfläche durch Zinnablagerungen bzw. kohlenstoffhaltige Pyrolyseprodukte aus den Thermoplasten so verschmutzt, dass die Folie nicht mehr sauber geschnitten wird. Der Stempel muss ausgewechselt und vor der weiteren Verwendung gereinigt werden. Nach typischerweise 5 Reinigungszyklen, also ca. 2500 bis 5000 Prägungen, sind die Kanten der Stempelstrukturen durch abrasiven Verschleiß soweit verrundet, dass der Stempel i. d. R. mit Feinschleifen überarbeitet werden muss, wodurch Verunreinigungen entfernt und die Schnittkanten wieder geschärft werden. In jedem Fall bedeutet der Austausch des Prägestempels in der Produktion neben dem Aufwand für die Überarbeitung eine nicht unwesentliche Stillstandszeit der Fertigungslinie mit entsprechenden Kosten. Im Rahmen dieses Vorhabens sollen daher gut bearbeitbare Stempelstähle mit geeigneten Hartstoffen beschichtet werden, die die Stempelstandzeit signifikant erhöhen und damit die Kosten bei der Fertigung deutlich senken.

Untersuchungsergebnisse

Laboruntersuchungen an Modellproben

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden zunächst aus Stempelstahl 1.2767 gefertigte Modellproben mittels Magnetron-Sputtern bzw. plasmagestützter CVD

(PACVD) mit verschiedenen Hartstoffschichtsystemen beschichtet und diversen Laboruntersuchungen unterzogen. Unter anderem wurden die Schichten auf ihre Haftfestigkeit, Mikrohärtze, Reib- und Verschleißverhalten sowie auf ihre chemische Beständigkeit gegen handelsübliche Reinigungsmedien zum Entfernen von Zinnverunreinigungen getestet. Es wurden dabei verschiedene Nitride, metallhaltige und metallfreie amorphe Kohlenstoffschichten sowie ein Oxinitrid bezüglich ihrer Eignung für den Einsatz auf Heißprägestempeln untersucht

Es zeigte sich, dass aluminiumhaltige Hartstoffschichten nicht für den Einsatz im Heißprägen geeignet sind, da diese Schichten keine chemische Beständigkeit gegen die alkalischen Reinigungsmedien, aufweisen die zum Entfernen der beim Heißprägen auftretenden Oberflächenverunreinigungen eingesetzt werden. Durch Herauslösen von Aluminium verlieren diese Schichten bei der Reinigung ihre strukturelle Integrität, was sich zum einen in stark abfallenden Härtewerten aber auch elektronenoptisch bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen bemerkbar macht. Auch die NbN-Schichten sowie die Nb-O-N-Schichten wurden wegen mangelhafter chemischer Beständigkeit bzw. ungünstigen mechanischen Eigenschaften als nicht tauglich für den Einsatz auf Heißprägestempeln befunden.

System	p(N ₂) [mbar]	p(C ₂ H ₂) [mbar]	p(O ₂) [mbar]	U _{sub} [V]	Farbe
DLC	--	1,1 x 10 ⁻³ 6,6 x 10 ⁻⁴	--	--	schwarz-grau
Ti ₂ N	1,3 x 10 ⁻⁴	--	--	-50	silber-metallisch
TiN (iN)	2,0 x 10 ⁻⁴	--	--	-50	hellgold
TiN (hN)	2,5 x 10 ⁻⁴	--	--	-50	goldgelb
TiN (hN) 100	2,5 x 10 ⁻⁴	--	--	-100	goldgelb
CrN	2,0 x 10 ⁻³	--	--	-50	silber-metallisch
NbN	3,0 x 10 ⁻⁴	--	--	-50	silber-metallisch
Nb-O-N	3,0 x 10 ⁻⁴	--	5,0 x 10 ⁻⁴	-50	transparent, im Neonlicht irisierend
NbC:H	--	4,0 x 10 ⁻⁴	--	-50	grau-metallisch
(Ti,Al)N	4,0 x 10 ⁻⁴	--	--	-50	grau-violett
(Ti,Al)C:H:N	4,0 x 10 ⁻⁴	4,0 x 10 ⁻⁴	--	-50	schwarz-grau

Tab. 1 | Übersicht über die im Projekt untersuchten Schichtsysteme

Aufgrund einer abschließend durchgeführten Bewertung der Schichtsysteme wurden die Schichten TiN, CrN, Nb-C:H sowie im weiteren Verlauf des Projekts noch a-C:H (DLC) für praxisnahe Untersuchungen im Heißprägeeinsatz ausgewählt.

Praxisnahe Einsatztests

Für die Untersuchungen zur Praxistauglichkeit der verschiedenen, ausgewählten Schichten wurden Heißprägestempel aus Stahl 1.2767 und Vanadis 6 beschichtet und anschließend im Heißprägeprozess eingesetzt. Dabei wurden sowohl die zu beprägenden Kunststoffsubstrate als auch die Prägebedingungen (Druck, Temperatur) variiert. Es zeigte sich, dass alle eingesetzten Stempel an der Oberfläche mit Zinnoxidverunreinigungen kontaminierten. Verursacht wurde dies durch Transfer von auf der Oberfläche der Prägefolie vorhandenem Zinn auf die Stempeloberfläche, wo es anschließend infolge der relativ hohen Stempeltemperatur mit dem Luftsauerstoff zu Zinnoxid reagierte. Das Ausmaß der Zinnoxidkontamination war bei den beiden eingesetzten Nitridhartstoffschichten TiN und CrN praktisch identisch. Das metallhaltige amorphe Kohlenstoffsystem Nb-C:H zeigte bezüglich der Verschmutzung mit Zinnoxid ein geringfügig günstigeres Verhalten als die beiden Nitride. Außerdem gestaltete sich die Stempelreinigung bei den mit Nb-C:H versehenen Stempeln etwas einfacher als bei den mit TiN und CrN beschichteten Exemplaren. Insgesamt muss jedoch festgehalten werden, dass bei allen drei Schichtsystemen die Zinnoxidverunreinigungen nur äußerst schwierig abzulösen waren. Mit den handelsüblichen Stripperchemikalien zum Entfernen von Zinn konnten die Zinnoxidkontaminationen nur geringfügig angelöst werden. Kaum erfolgreicher war eine Reinigungsprozedur in warmer 20%iger Kaliumhydroxidlösung (KOH). Letztlich konnte von keiner der drei eingesetzten Hartstoffschichten das Zinnoxid vollständig abgelöst werden.

Bei einer Prägetemperatur von 286°C konnten mit TiN, CrN bzw. Nb-C:H beschichteten Stempeln etwa 2000 Prägungen durchgeführt werden, bis aufgrund der zunehmenden Verunreinigungen das Prägeergebnis so schlecht wurde, dass ein industrieller Einsatz nicht mehr sinnvoll war. Bei einer verringerten Prägetemperatur von 245 °C waren sogar nur ca. 500 Prägungen möglich. Durch die anschließende Reinigung in KOH-Lösung konnten die Verunreinigungen wie oben bereits erwähnt nur äußerst unvollständig entfernt werden, so dass auch nach der Reinigungsprozedur kein einsetztauglicher Oberflächenzustand erreicht werden konnte (Abb. 1).

Im weiteren Verlauf des Projekts wurden nun auch metallfreie amorphe Kohlenstoffschichten, bekannt als

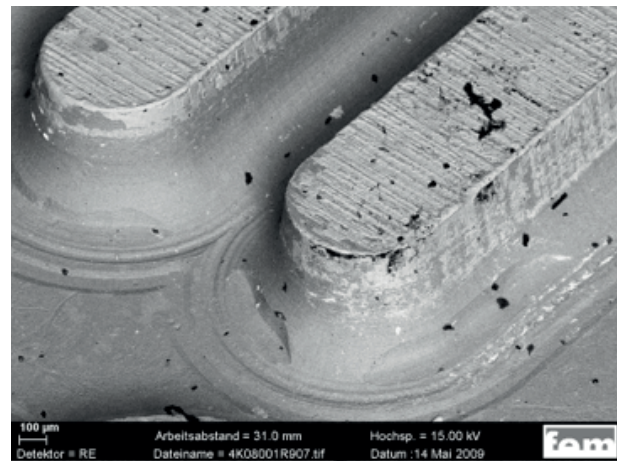


Abb. 1 | Nb-C:H-beschichtet + 2000 Hübe + 2 h KOH (20%)

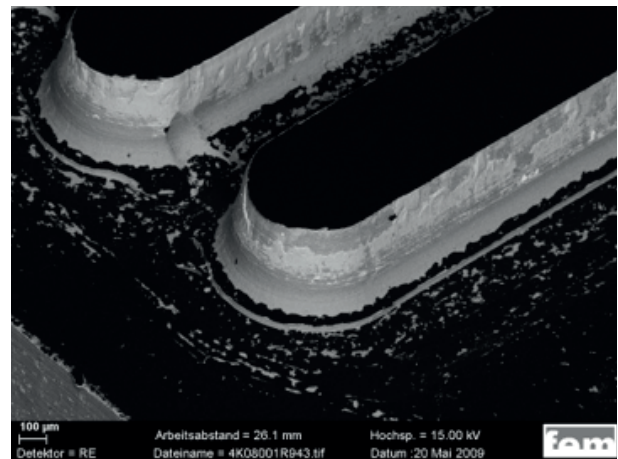


Abb. 2 | a-C:H- (DLC) beschichtet + 4000 Hübe + 2 h KOH (20%)

a-C:H oder DLC-Schichten auf Prägestempeln eingesetzt. Dieses Schichtsystem wurde im Gegensatz zu den übrigen durch Magnetron-Sputtern erzeugten Schichten mittels eines PACVD-Verfahrens aufgebracht. Hierbei stellte sich das Problem, dass a-C:H-Schichten nicht direkt haftfest auf Stahl abgeschieden werden können. Daher wurden verschiedene Zwischenschichtsysteme auf ihre Tauglichkeit als Haftvermittler untersucht. Letztendlich wurde mit einer dünnen, magnetrongesputterten Titanzwischen-schicht gearbeitet. Die damit erreichbare Haftfestigkeit der a-C:H-Schichten war als zufriedenstellend, wenn auch nicht optimal anzusehen. Ferner ergab sich das Problem, dass sich die Flanken der Prägestrukturen nur extrem dünn beschichten ließen. Ursache dafür war, dass bei der PACVD-Beschichtung mit einer Plasmastrahlquelle gearbeitet wurde, die einen mehr oder weniger gerichteten Teilchenstrom erzeugte. Da das Substrat bei der Beschichtung nicht bewegt werden konnte, wurde zwar an den senkrecht zum Plasmastrom ausgerichteten Oberflächen die gewünschte Schichtdicke erreicht, jedoch konnten an den annähernd parallel zum Teilchenstrom ausgerichteten Flankenbereichen geometrisch bedingt nur äußerst geringe Schichtdicken realisiert

werden. Im Einsatztest zeigte sich jedoch, dass a-C:H, trotz der eben aufgeführten Schwächen, sich als das mit Abstand am besten geeignete Schichtsystem für den Einsatz auf Heißprägestempel erwies. Zum einen wuchsen die Zinnoxidverunreinigungen auf diesem System nicht so massiv auf wie auf den zuvor untersuchten Schichten, zum anderen ließen sich diese Kontaminationen mit 20%iger KOH-Lösung nahezu vollständig von den beschichteten Stempelbereichen entfernen (Abb. 2).

Als Grund hierfür ist die sehr geringe Adhäsionsneigung des Zinnoxids zu den metallfreien amorphen Kohlenstoffschichten anzusehen. Die erforderlichen Reinigungszyklen betragen dabei zwischen 2000 und 4000 Prägungen. Insgesamt konnten mit dem a-C:H-beschichteten Stempel 15000 Prägungen durchgeführt werden, bis er aufgrund des dann doch zu unsaubereren Prägebilds verworfen werden musste. Als Hauptursache für das Stempelversagen nach 15000 Hüben ist das inzwischen massive Aufwachsen von Zinnoxid an den relativ ungeschützten Flanken der Prägestrukturen anzusehen. Auch konnten bereits nach ca. 10000 Prägungen im Rasterelektronenmikroskop vereinzelt, kleinere Schichtabplatzungen beobachtet werden, so dass auch die Schneidkanten der Prägestrukturen nicht mehr optimal vor abrasivem Verschleiß bzw. Zinnoxidaufwachsen geschützt waren.

Bei Einsatz eines PACVD-Verfahrens, das ohne gerichteten Teilchenstrom arbeitet, sollte jedoch die im Projekt beobachtete Flankenschwäche der a-C:H-Beschichtung eliminierbar sein, so dass auch mit noch höheren Prägunszahlen gerechnet werden kann.

Ergänzend wurden auch Untersuchungen zur Ent- und Wiederbeschichtbarkeit von mit Hartstoffen beschichteten Prägestempeln durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die auf Prägestempeln eingesetzten Schichten alle mit handelsüblichen Entschichtungsmedien entfernen ließen, ohne den darunter liegenden Stahl nennenswert zu schädigen. Die so entschichteten Stempel konnten anschließend problemlos wiederbeschichtet werden.

Danksagung

Die durchführenden Forschungsvereinigungen und Forschungsstellen danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), das im Rahmen der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) die Arbeiten über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) unter der FV-Nr. 15257 gefördert hat.

Der vollständige Sachbericht kann bei den durchführenden Forschungsstellen angefordert werden.

Projekt: AiF 15257

Partner

HSG-IMAT Hahn-Schickard-Institut für Mikroaufbautechnik

Ansprechpartner

fem | Forschungsinstitut Edelmetalle + Metallchemie | Katharinenstraße 17 | 73525 Schwäbisch Gmünd
Dipl.-Ing. (FH) Herbert Kappl, kappl@fem-online.de