

Via Martiri della Libertà, 28 – 31100 TREVISO
Reg. Imp. di Treviso – REA 325367
cf e p. IVA: 00130830284
e-mail: info@ecometal.org



Flexible automated processes for PVD coatings in new applications

SINTESI E VALUTAZIONE DEI RISULTATI CONSEGUITI a conclusione del 2° anno di progetto

Prot.: 008/09	Documento per la disseminazione	11 marzo 2009
Segreteria	FLEXICOAT: sintesi e valutazione dei risultati	Pagina 1 di 8

1. INTRODUZIONE

In breve FLEXICOAT mira a conseguire i seguenti risultati.

- Un processo di trattamento delle superfici con la tecnica PVD che sia a basso costo, rapido e flessibile, cioè adattabile a diverse esigenze produttive, e la macchina capace di farlo con un ottimo rendimento e che sia affidabile, così da poter ridurre i tempi di lavorazione e i costi, e capace di trattare una ampia gamma di articoli con trattamenti diversi.
- Sviluppo di combinazioni di trattamenti PVD e pre-trattamenti che permettano di applicare i rivestimenti PVD su diversi tipi di materiali.
- Promuovere l'introduzione della tecnica PVD nelle Piccole Medie Imprese.

2. MACCHINA E TRATTAMENTI PVD

2.1. La macchina

Il processo PVD può essere diviso in quattro stadi.

- Produzione del vuoto
- Riscaldamento
- Rivestimento
- Ventilazione

La macchina progettata prevede una camera centrale dove viene applicato il trattamento e due camere laterali per il carico e lo scarico degli articoli. Nella prima camera viene generato il vuoto e avviene il riscaldamento mentre nell'ultima avviene la ventilazione secondo un ciclo continuo che evita i tempi morti (non produttivi).

Tempi di processo

Per un ipotetico ciclo di trattamento decorativo della durata di 90", che corrisponde ad un tempo di processo della durata di 180", sono stati fissati i seguenti tempi.

- Generazione del vuoto: 60"
- Riscaldamento: 40"
- Movimentazione articoli: 5"
- Trattamento decorativo: 90"
- Ventilazione: 10"

Specifiche

In aggiunta ai tempi sono state fissate le seguenti specifiche.

- Sistema di evaporazione. Costituito da 6 evaporatori ad arco circolari da 20-40 V e 60-140 A con la possibilità di installare archi rettangolari e sistemi di sputtering. Gli evaporatori sono stati distribuiti in modo tale da permettere di sfruttare per il rivestimento l'intero volume della camera.
- Alimentazione da 400 V e 12 kW
- Vuoto: 10^{-6} mbar e un tasso di evacuazione inferiore a 10^{-3} mbar/l/s
- Temperatura della superficie da trattare: 150 °C
- Energia per il riscaldamento: 10 kW
- Gas: argon, azoto, acetilene (C_2H_2) e la possibilità di installare ossigeno e ArH_2 (80:20%)
- Volume della camera di trattamento: diametro 200 mm; altezza 300 mm

Generazione del vuoto

Nel modulo di vuoto/riscaldamento/ventilazione il vuoto è ottenuto attraverso due sistemi.

- Pompa meccanica da 630 m³/ora + pompa rotativa da 200 m³/ora + Polycold da 50000 l/s
- Pompa meccanica da 630 m³/ora + pompa turbomolecolare da 2200 l/s

Mentre nel modulo di rivestimento il vuoto è ottenuto dal sistema

- Pompa meccanica da 65 m³/ora + pompa turbomolecolare da 1600 l/s

Riscaldamento

Il progetto permette di utilizzare sistemi riscaldanti diversi prodotti da ditte diverse. E' stato comunque previsto di utilizzare un tipo di lampada alogena della Philips già impiegata nei processi CVD. Ogni lampada ha una potenza di 2000 W e durata di 5000 ore, è dotata di un riflettore per una maggiore efficienza e può essere montata in qualsiasi posizione.

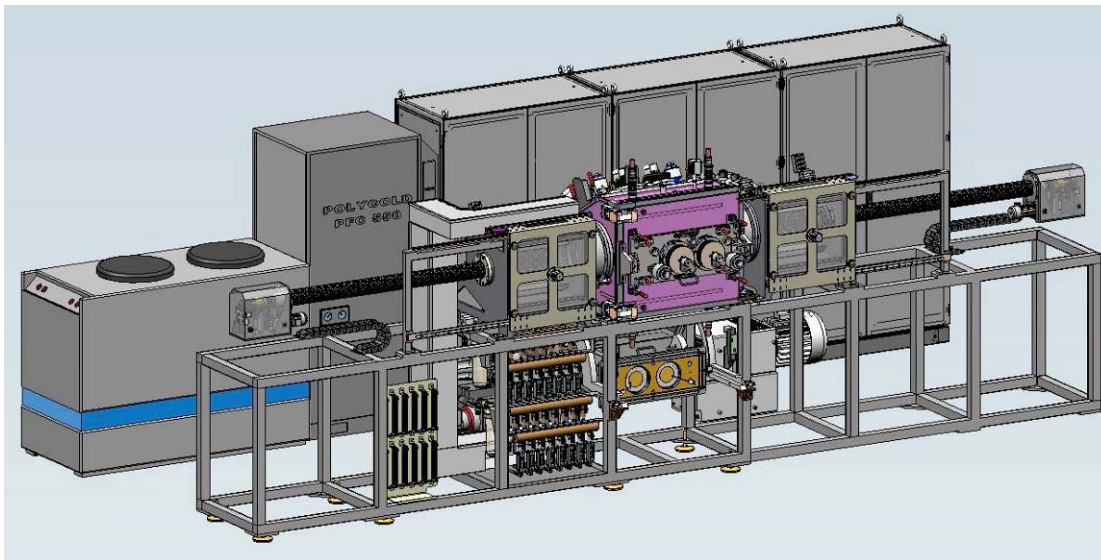
In ogni camera possono essere installati fino a 9 riscaldatori, ciascuno di 3 kW per un potere riscaldante complessivo di 27 kW.

Prot.: 008/09	Documento per la disseminazione	11 marzo 2009
Segreteria	FLEXICOAT: sintesi e valutazione dei risultati	Pagina 2 di 8

Ventilazione

La ventilazione della camera vuoto/riscaldamento/ventilazione è garantita da un sistema flangia KF40, valvola e filtro appositamente progettato. La velocità di ventilazione è regolabile così da far rientrare la rumorosità nei limiti consentiti.

La ventilazione della camera di rivestimento è garantita da un sistema flangia KF40, valvola e filtro. Per la ventilazione di processi ad alta temperatura può essere aggiunta una linea ad azoto con valvola di chiusura.



Bozza del prototipo.

2.2. Processi PVD

Il prototipo è basato sull'utilizzo della tecnica di evaporazione ad arco ma le porte degli evaporatori sono state progettate in modo da consentire l'innesto sia di evaporatori ad arco rotondi e quadrati sia di evaporatori a sputtering.

Rispetto ad altri sistemi PVD, la tecnica ad arco presenta i seguenti vantaggi.

- Migliore adesione
- Tasso di deposizione più elevato
- Livelli di ionizzazione più elevati il che comporta che con una minore quantità di gas reagenti si producono composti stechiometrici
- Maggiore durezza
- Migliori proprietà meccaniche

Questa tecnica comporta però dei limiti relativamente ai materiali dei target (piastre del metallo che viene fatto evaporare) che possono essere utilizzati perché possono emettere piccole gocce. Nonostante ciò permette di realizzare una vasta gamma di diversi rivestimenti e di diverso colore.

Per sfruttare al meglio i target è stata progettata una specifica guida magnetica che consente di controllare la posizione del fascio dell'arco e quindi di ottimizzare il consumo del materiale. Grazie a questa guida più del 50% del target viene fatto evaporare a fronte di valori normali del 10-15%.

Il progetto FLEXICOAT ha considerato le seguenti combinazioni di trattamenti.

2.2.1. Strato di base di PVD

Lo strato PVD ha la funzione di rendere conduttiva la superficie di materiali plastici così da rendere possibili successivi rivestimenti galvanici e riduce anche il numero dei trattamenti richiesti.

Sequenza

Materiale del supporto	PVD	Trattamento galvanico	Possibile trattamento finale
Meloplas, ABS, PE, PP (con un primer), alluminio	*Cr/Cu	Cu, Ni	Verniciatura a polveri trasparente o lacca UV

* il cromo può migliorare l'adesione dello strato.

2.2.2. PVD applicato su verniciatura a polveri

La verniciatura a polveri ha la funzione di livellare la superficie del supporto e di proteggerla dalla corrosione.

Sequenza

Materiale del supporto	Pre-trattamento	Possibile interstrato	PVD	Possibile trattamento finale
Alluminio (o altri metalli: acciaio, rame, leghe di zinco, acciaio zincato)	Trattamento a polveri	Al ₂ O ₃ --->	Cu, Cr Zr, Ti, Zr+Ti Zr, Ti, Zr+Ti Altri colori	Verniciatura a polveri trasparente o lacca UV

2.2.3. PVD applicato su rivestimento galvanico

Combina l'adesione al supporto e la resistenza alla corrosione del trattamento galvanico con la resistenza all'usura dei rivestimenti PVD ceramici o carbonacei. Il trattamento galvanico consente di applicare strati di PVD più sottili e variamente colorati.

Sequenza

Materiale del supporto	Trattamento galvanico	PVD
Acciaio	Ni, Ni-P	ZrCN , CrN, DLC, TiAlN

2.3. Dimensioni e forma degli articoli

Il prototipo previsto dal progetto può trattare una enorme varietà di articoli di forma e misure diverse purché rientrino nelle dimensioni della camera in cui avviene il rivestimento (200 mm di diametro e 300 mm di altezza).

A seconda della forma degli articoli potranno essere progettate opportune rastrelliere capaci di portarli attraverso le camere nelle quali viene effettuato il processo.

Forma e misure degli articoli condizionano anche il numero di pezzi che possono essere trattati nello stesso ciclo.

2.4. Limiti della tecnica

La tecnica PVD in generale e specificamente i processi e il prototipo sviluppati nel progetto, presentano alcune minori limitazioni.

- La superficie da rivestire deve avere una buona finitura ed essere perfettamente pulita poiché il rivestimento PVD replica minuziosamente la superficie e qualsiasi traccia di sporco sarà chiaramente visibile dopo il rivestimento.
- E' difficile rivestire in maniera omogenea l'intera superficie di articoli di forma estremamente complicata (ad esempio con profonde cavità).
- Gli articoli da rivestire devono essere collocati nella camera di trattamento in modo tale da consentire il rivestimento di tutta la superficie che interessa. Per questo scopo si possono progettare specifici supporti.
- Bisogna verificare che i materiali che costituiscono gli articoli possano sopportare il vuoto. Alcuni elementi, come cadmio, selenio e piombo possono creare problemi.
- I supporti costituiti da materiali plastici possono richiedere tempi di trattamento più lunghi per evitare un eccessivo riscaldamento.

3. SUPPORTI E PRE-TRATTAMENTI

La maggior parte dei metalli può essere rivestita con il trattamento PVD, compresi l'acciaio, le sue leghe e l'alluminio. Però i rivestimenti PVD sono sottili (circa 0,5 µm) e pertanto spesso, quando sono depositati sui metalli non offrono una adeguata protezione contro la corrosione. A questo inconveniente si può porre rimedio proteggendo la superficie con un trattamento di verniciatura a polveri o galvanico prima di applicare il rivestimento PVD.

Molti metalli possono essere verniciati a polveri, compresi l'acciaio, l'alluminio, il rame e le leghe di zinco. Il tipo di polveri deve essere selezionato con attenzione per evitare che poi si sviluppino bolle durante la deposizione PVD sotto vuoto. Con questo pre-trattamento è lo strato di verniciatura a polveri che controlla la qualità della pellicola PVD più della superficie metallica originale.

Un altro pre-trattamento è quello di nichelatura che può essere applicato su una vasta gamma di metalli. La nichelatura elettrolitica garantisce resistenza alla corrosione e una buona finitura e costituisce un ottimo sub-strato per il successivo rivestimento PVD che potrà conferire alla superficie un più ampio spettro di colori o migliori proprietà tribologiche.

Prot.: 008/09	Documento per la disseminazione	11 marzo 2009
Segreteria	FLEXICOAT: sintesi e valutazione dei risultati	Pagina 4 di 8

4. CARATTERISTICHE DEI RIVESTIMENTI PVD

➤ Quali sono i vantaggi?

Più ampia scelta di colori, una finitura più attraente, superfici a specchio e, all'occorrenza, migliorate proprietà tribologiche.

➤ Com'è l'adesione al rivestimento galvanico?

Nelle prove di laboratorio si sono ottenuti ottimi risultati per i rivestimenti PVD a base di titanio, zirconio, Zr+Ti, cromo e rame applicati su superfici con pre-trattamenti sia di verniciatura a polveri sia elettrolitici.

➤ La durezza dipende dal pre-trattamento galvanico o il rivestimento PVD la incrementa?

La durezza finale dipende da numerosi fattori: dal tipo e spessore di pellicola PVD, dal pre-trattamento e dal carico applicato. In generale si è constatato che una pellicola PVD dura incrementa la durezza effettiva del substrato galvanico più tenero.

➤ Il rivestimento PVD migliora le proprietà livellanti del trattamento galvanico?

Non è stato osservato nessun effetto livellante significativo della pellicola PVD. D'altro canto non c'era nemmeno da aspettarselo perché le pellicole PVD sono sottili e tendono a replicare fedelmente il profilo della superficie sottostante.

➤ Migliora la lucentezza dei trattamenti galvanici lucidi?

I rivestimenti PVD sono lucidi. Misure di lucentezza effettuate in laboratorio con il gloss-metro hanno permesso di constatare che la lucentezza della superficie di una ramatura galvanica tradizionale è stata incrementata dal valore di 32 al valore di 200 grazie alla applicazione di un rivestimento PVD di Cr-Cu. Non sono però state poste a confronto la lucentezza dei trattamenti PVD e quella dei trattamenti galvanici lucidi.

➤ La resistenza alla corrosione di un rivestimento di nichel galvanico con finitura PVD è migliore di quella di un rivestimento di nichel-cromo tradizionale?

Sono in corso delle prove ma non sono ancora disponibili i risultati tuttavia, in linea di principio, lo spessore del PVD è talmente sottile che non ci si aspetta un miglioramento.

➤ Il rivestimento PVD migliora la resistenza agli agenti chimici e fisici?

E' improbabile che la resistenza agli attacchi chimici sia migliorata in modo sostanziale dalla presenza di pellicole PVD perché sono sottili. I rivestimenti PVD possono invece migliorare la resistenza agli agenti fisici, come l'abrasione e il graffio. Questa proprietà dipende dalla durezza relativa del substrato e della pellicola PVD e anche dal tipo e intensità delle sollecitazioni fisiche, ad esempio spigolosità e carico di un abrasivo o di un punzone. Sono in programma prove specifiche.

Bisogna sottolineare che se si applica una vernice a polveri trasparente, correttamente formulata, o una lacca sulla superficie di una pellicola PVD la sua durezza e altre proprietà quali la resistenza alla corrosione e agli agenti chimici e fisici esterni sono accresciute in modo sostanziale.

5. ANALISI DEI COSTI

Nella tabella seguente viene presentata una analisi preliminare dei costi. Il calcolo è stato fatto relativamente ad un impianto industriale con una velocità di ciclo pari a 90". Il costo complessivo dell'impianto è pari a 800.000 Euro ammortizzabili in 5 anni. Il rivestimento applicato è decorativo a base di zirconio ed ha lo spessore di 0,3 µm. Il calcolo si basa su un solo turno di lavoro giornaliero. Il modello consente di effettuare 34144 cicli per anno ad un costo di 8,60 Euro/ciclo.

Determinato il costo di ciascun ciclo, il costo per pezzo trattato può variare di molto in funzione della sua forma e delle sue dimensioni e quindi del numero di pezzi che possono essere caricati nella macchina e trattati in ogni ciclo. Nel caso, ad esempio, di bottoni di piccole dimensioni se ne possono caricare fino a 540 per ogni ciclo con un costo unitario pari a 0,016 Euro. Nel caso di articoli più grandi, ad esempio di misure 90x70x60 mm se ne possono caricare fino a 9 con un costo unitario pari a 0,96 Euro.

Si deve considerare infine che variando gli anni di ammortamento dell'impianto o il numero di turni giornaliero si possono ottenere sensibili variazioni dei costi e del numero di pezzi trattati.

Prot.: 008/09	Documento per la disseminazione	11 marzo 2009
Segreteria	FLEXICOAT: sintesi e valutazione dei risultati	Pagina 5 di 8

FLEXICOAT			
Reference:		thickness of layer(microns)	
		min:	0,25
		max:	0,35
Nº fuentes de ev.	6	depos. Time (min):	1,50
		heating time (min):	0,70
		total cycle (min):	3
Capital Cost		Manpower Cost	
PVD chamber	800.000,00 €	Cost/person/year	30.000,00 €
Auxiliaries	0,00 €	Shifts/day	1
Amortization	5 años	Person/shift	2
Interest	0%		
Capital costs/year		Cost/cycle	
Capital costs/year	160.000,00 €		4,69 €
Manpower cost/year	60.000,00 €		1,76 €
Total	220.000,00 €		
Cycle/day	160		
Working days/year	220		
Time of stop			
Cleaning/maintenance	3%		
		We understand cleaning and maintenance will be done outside working days	
Cycle/year	34144		
Material Costs			
Targets			
Zr	Target cost p.p.	300,00 €	
	Total target costs	1.800,00 €	
	Cycles/target	2000	0,90 €
	Lifetime targets	0,7 months	
Electricity			
	Cost/kWh	0,07 €	
	Consumption average	53 Kw	
	Time per load	0,05 h	0,19 €
Water			
	Cost/m3	0,83 €	
	Consumption average	0,1 m3/h	0,00 €
Spareparts/Maintenance/year			
	Spareparts and fixtures	16.000,00 €	0,47 €
	Maintenance	18.000,00 €	0,53 €
Gases			
Argon	Cost/m3	8,50 €	0,03 €
	Consumption Ar	30,0 m3/year	
Nitrogen	Cost/m3	9,00 €	0,05 €
	Consumption N	40,0 m3/year	
Total Cycle Cost		8,60 €	

Analisi preliminare dei costi.

6. CENNI SU SALUTE, SICUREZZA, AMBIENTE

6.1. Salute e sicurezza dei lavoratori

La sicurezza sul posto di lavoro è al centro dell'interesse politico in Europa e nel nostro Paese. Uno dei vantaggi della tecnica PVD, rispetto ad altri processi utilizzati nel trattamento delle superfici è che elimina il rischio derivato dall'aver a che fare con sostanze pericolose.

- Il trattamento PVD non utilizza sostanze chimiche pericolose.
- Nessuna delle materie prime impiegate nei processi PVD comporta rischi per i lavoratori.

Targets (sono le piastre dei materiali che vengono fatti evaporare). Sono allo stato solido e quelli utilizzati nell'ambito del Progetto sono metalli puri (zirconio, titanio, cromo, alluminio, rame) o loro semplici combinazioni (Ti-Al). La loro manipolazione non comporta rischi per i lavoratori.

Gas. Quelli impiegati nel Progetto, ovvero argon, azoto e acetilene non sono pericolosi e se manipolati in modo appropriato non dovrebbero comportare rischi per i lavoratori. Devono essere adottate solo le ordinarie misure di precauzione come riporre le bombole di gas in ambienti ben ventilati, lontano da sorgenti di calore eliminando così i rischi in caso di perdita di gas. Il prototipo permette inoltre di installare ossigeno e ArH₂ (80:20%), il primo permette di produrre ossidi e il secondo di pulire accuratamente le superfici da trattare già all'interno della macchina mediante una glow discharge (brillatura).

Trattamenti di pulizia. Prima di sottoporle al processo PVD le superfici devono essere pulite per rimuovere limatura, oli protettivi, polvere di magazzino. La pulizia viene effettuata in bagni alcalini o acidi e le precauzioni da prendere sono quelle normalmente adottate quando si lavora con prodotti chimici corrosivi.

Al lavoro con la macchina. Le precauzioni da prendere al lavoro con la macchina sono semplici misure di prevenzione.

- Controllare l'impianto elettrico
- Verificare la pressione interna prima di aprire la macchina ed è raccomandato l'utilizzo di occhiali e maschera di sicurezza
- Se il processo è stato eseguito ad alta temperatura si devono utilizzare guanti termici

6.2. Salute del consumatore

Una delle principali caratteristiche delle pellicole PVD applicate con la tecnica dell'arco catodico è la buona adesione. La tecnica ad arco catodico è largamente applicata nell'industria per rivestire una varietà di articoli di uso quotidiano come maniglie, rubinetteria, occhiali, arnesi da taglio etc. La tecnica PVD è ampiamente utilizzata anche nei campi alimentare e biomedico che per il consumatore sono i più delicati. Esempi sono il rivestimento in alluminio dell'interno dei sacchetti di patatine o certe protesi.

Non si conoscono al momento problemi di salute dei consumatori riconducibili alla tecnica PVD. Fundación TEKNIKER segnala il caso di un proprio cliente, a cui ha fornito un impianto PVD, che garantisce l'adesione dei rivestimenti per 20 anni.

In ogni caso l'adesione dei rivestimenti PVD è garantita da prove molto accurate effettuate sui prodotti prima della loro commercializzazione ed impiegate anche nell'ambito del Progetto per verificare l'adesione dei nuovi trattamenti.

6.3. Tutela dell'ambiente

La tecnica PVD è ecologicamente più pulita di altre tecniche di trattamento delle superfici.

- La PVD riduce al minimo la produzione di rifiuti e la loro gestione. Le emissioni e i rifiuti prodotti dalla tecnica PVD sono infatti pari a zero.
- La PVD riduce al minimo il consumo di materie prime e di acqua. La tecnica PVD infatti non utilizza acqua se non nell'impianto di refrigerazione a circuito chiuso. Considerando che grazie alla speciale guida magnetica più del 50% del materiale dei target viene fatto evaporare, ciascun target ha una vita media di 2000 processi di trattamento decorativo PVD rapido. Considerando un consumo di circa 300 cm³/min e che ciascun trattamento richiede 90", una bombola di azoto o di argon basterà per più di 22200 trattamenti.
- La PVD riduce al minimo le emissioni. Il sistema PVD utilizza un impianto di pompaggio turbo-molecolare e pertanto non produce emissioni.

Prot.: 008/09	Documento per la disseminazione	11 marzo 2009
Segreteria	FLEXICOAT: sintesi e valutazione dei risultati	Pagina 7 di 8

FLEXICOAT è un progetto ammesso a fruire del finanziamento della Commissione Europea nell'ambito del
6° Programma Quadro
Attività di ricerca orizzontale che coinvolgono le piccole e medie imprese (SME)
Progetti di ricerca collettiva

Contratto: COLL-CT-2006-030409 FLEXICOAT
Data d'inizio: 1 marzo 2007; durata: 36 mesi

Dieci tra associazioni di categoria (IAG), piccole e medie imprese (SME) e centri di ricerca (RTD) di 5 paesi dell'Unione Europea, che rappresentano insieme la metà del settore europeo dei trattamenti superficiali si sono consorziati per sviluppare e raggiungere lo scopo del progetto.

Fundaci3n Tekniker (RTD, Spagna) – www.tekniker.es
TNO Science and Industry (RTD, Paesi Bassi) – www.tno.nl
LSBU (RTD, Regno Unito) - www.lsbu.ac.uk
HERRAMEX (IAG, Spagna) – www.herramex.es
KP.OT (IAG, Paesi Bassi) – www.kpot.nl
UITS (IAG, Francia) – www.sats-france.com
ECOMETAL (IAG, Italia) – www.ecometal.org
DEKRACOAT B.V. (SME, Paesi Bassi) – www.dekracoat.nl
EMBEGA S. Coop. (SME, Spagna) – www.embega.com
GRIP-ON TOOLS S.A. (SME, Spagna) – www.grip-on.com

Traduzione in italiano e adattamento del documento
D93-Mid-Term-Review-report-18-months-Annex - December 2008
Realizzato per la diffusione da
Fundaci3n TEKNIKER - Avda Otaola 20, Apdo. 44 - 20600 Eibar - Spagna

Prot.: 008/09	Documento per la disseminazione	11 marzo 2009
Segreteria	FLEXICOAT: sintesi e valutazione dei risultati	Pagina 8 di 8