

ATMOSPHERIC-PRESSURE PLASMA ENSURES CORROSION RESISTANCE

Il plasma a pressione atmosferica assicura resistenza alla corrosione



photo: Plasmatreat

1

1

What was previously only achievable in the vacuum chamber is now possible in-line under normal atmospheric pressure: The functional coating of aluminium by means of plasma.

Ciò che prima era possibile ottenere solo nella camera in vuoto è ora possibile in linea a normale pressione atmosferica: il rivestimento funzionale di componenti in alluminio con il plasma.

Whether for corrosion protection, as an adhesion agent prior to bonding, or for ease of surface cleaning – a newly developed method allows for selective coating of metal surfaces with different functionalised layers based on atmospheric-pressure plasma technology.

Higher requirements on the corrosion resistance of, for example, bonded metallic components demand for innovative solutions. One of the global players from the subcontractors to the automotive industry was faced with the challenge of retrofitting an enhanced anticorrosive treatment for an aluminium component into an existing production line. The use of the atmospheric-pressure plasma coating process makes this possible.

Che sia per la protezione dalla corrosione, come agente di adesione prima dell'incollaggio, o per facilitare la pulizia superficiale, un metodo sviluppato di recente consente di rivestire in modo selettivo superfici metalliche con differenti strati funzionalizzati, basati sulla tecnologia del plasma a pressione atmosferica. Requisiti più elevati di resistenza alla corrosione di, ad esempio, componenti metallici incollati richiedono soluzioni innovative. Uno degli attori principali del settore della subfornitura per l'industria automobilistica dovette affrontare la sfida di ammodernare un trattamento anticorrosivo potenziato per un componente di alluminio in una linea produttiva esistente. L'utilizzo del processo di rivestimento con plasma a pressione atmosferica lo ha reso possibile.

Nanocoating at atmospheric pressure

Until just recently plasma polymerisation was a process that could only be carried out in vacuum. However, in close collaboration with the research institute Fraunhofer IFAM, Plasmamatreat developed and patented a new technology allowing for a nanometer thick coating of material surfaces at atmospheric pressure (Fig. 1).

It is only a few years ago that this technique found its way into an industrial application for the very first time. A special feature of this process is its high cost efficiency, since in contrast with low-pressure techniques, it does not require a low-pressure chamber. The principle of this method is based on the fact that an organosilicon compound is admixed with the atmospheric-pressure plasma to produce a layer. Due to the high-energy excitation in the plasma, this compound is fragmented and deposited as a vitreous layer on the surface to be treated. The chemical composition can be varied according to the type of application to achieve the best possible results on the various materials.

Corrosion protection of aluminium

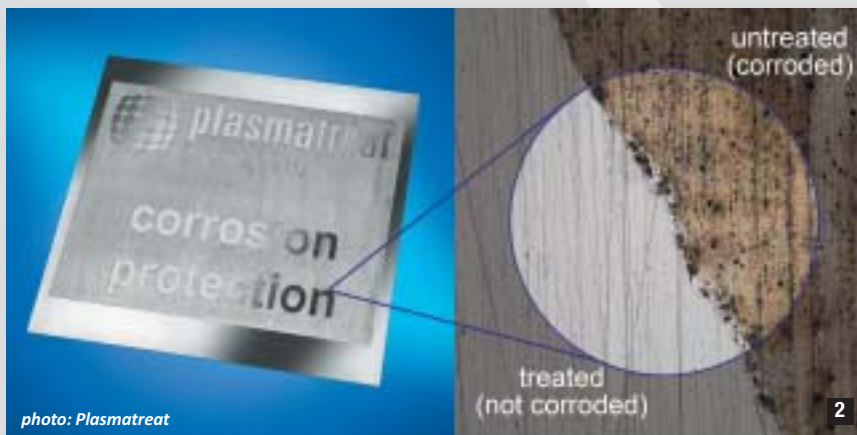
Using this system, for example, as a corrosion protection for aluminium surfaces brings about a number of advantages:

In contrast with other coating techniques, it is suited for in-line use on the one hand and for the solution of selective coating tasks on the other. The anticorrosive effect is particularly marked in aluminium alloys. The layer is capable of protecting aluminium against direct salt spray (DIN 50021) for several days without the visual appearance of the metal being affected. By means

Nanorivestimento a pressione atmosferica

Fino a poco tempo fa la polimerizzazione al plasma era un processo che poteva essere effettuato solamente in vuoto. Tuttavia, in stretta collaborazione con l'istituto di ricerca Fraunhofer IFAM, Plasmamatreat ha sviluppato e brevettato una nuova tecnologia in grado

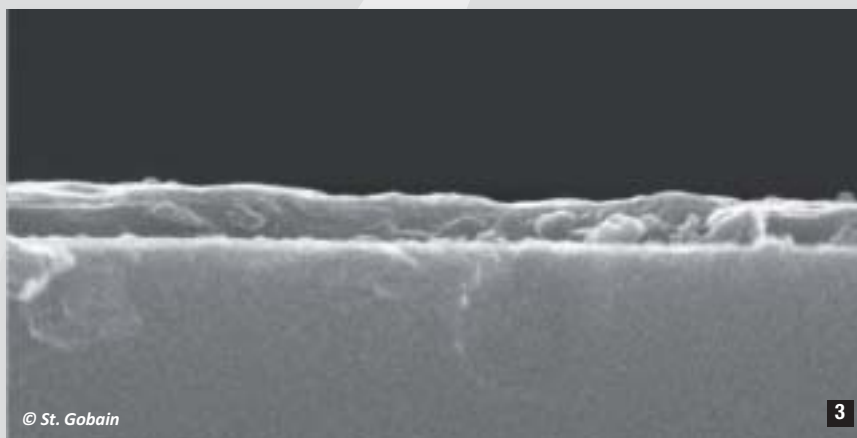
di consentire un rivestimento a pressione atmosferica con spessore nanometrico delle superfici dei materiali (fig. 1). È da pochi anni che questa tecnica ha trovato applicazione industriale. Una delle peculiarità di questo processo è la sua elevata efficienza in termini di costo, dal momento che, rispetto alle tecniche a bassa pressione, non richiede una camera a bassa pressione. Questa tecnologia si basa sulla miscelazione di un composto organico-siliconico con plasma a pressione atmosferica per produrre uno strato. Grazie all'eccitazione ad alta energia nel plasma, questo composto si frammenta e si deposita sotto forma di strato vitreo sulla superficie da trattare. La composizione chimica può variare a seconda del tipo di applicazione in modo da ottenere i risultati migliori possibili sui vari materiali.



2

Under the microscope the area protected by the new method exhibits no sign of corrosion even after direct exposure to the salt spray test for 96 hours.

Al microscopio l'area protetta con il nuovo metodo non mostra alcun segno di corrosione anche dopo diretta esposizione al test di nebbia salina per 96 ore.



3

Cross-section through an approx. 100 nm thick layer (50,000 times magnification by scanning electron microscope).

Intaglio a croce in uno strato di circa 100 nm di spessore (ingrandimento 50.000 volte con microscopio elettronico a scansione).

Protezione dalla corrosione dell'alluminio

Usare questo sistema, ad esempio, come protezione dalla corrosione di superfici in alluminio, porta con sé una serie di vantaggi: ri-

spetto ad altre tecniche di rivestimento è adatto, da un lato all'utilizzo in linea, e dall'altro come soluzione a esigenze di rivestimento selettivo. L'effetto anticorrosivo è particolarmente marcato sulle leghe di alluminio. Lo strato depositato è in grado di proteggere l'alluminio contro nebbia salina diretta (DIN 50021) per svariati giorni senza alcuna apparente ripercussione sul metallo. Attraverso il pla-

of plasma from a jet system, corrosion protection is applied without contact with the surface of the aluminium (Fig. 2). Since the new method operates under normal atmospheric pressure, it does not require a vacuum to deposit a layer.

Another special features of the process are its environmental friendliness and its great flexibility: In particular the film thickness and the speed of the process can be matched in line with requirements to the anticorrosive effect needed (Fig. 3). Typical processing speeds vary from 5 to 30 m/min. Directly after application of the coating, the component can be processed further. The coating affords not only high resistance to corrosion but also a stable, peel-resistant substrate for adhesives and sealants. The process is furthermore very environmentally friendly and there is no need for disposal or treatment of chemicals.

Plasma coating in the automotive sector

The atmospheric plasma coating process described here was used for the first time in an industrial application by TRW Automotive, world market leader in the development of integrated safety systems for the automotive industry. The company has employed the PlasmaPlus technique for applications with highest requirements for resistance against environmental conditions such as corrosion resistance, thermal resistance and splash water resistance, since early in 2007. The task was to reliably protect an aluminium pressure die cast motor pump housing for a power-assisted steering system against corrosion. These units are integral components of servo steering systems for a multitude of vehicles and subjected to high reliability requirements. The corrosion protection is achieved by selective in-line coating of the bonded joints on the metallic component surfaces with atmospheric-pressure plasma.

The coating ensures greatest possible protection against penetration of moisture. In this way it can be safely avoided that microscopically small leaks occur causing corrosion and resulting in a short-circuit and failure of the power-assisted steering system. Coating with atmospheric-pressure plasma therefore assumes a key role here (Table).

sma applicato con un sistema a getto, la protezione anticorrosiva è applicata senza contatto con la superficie dell'alluminio (fig. 2). Dal momento che il nuovo metodo opera in pressione atmosferica normale, non richiede alcun vuoto per depositare lo strato.

Un'altra peculiarità del processo è la sua eco-compatibilità e la sua grande flessibilità: in particolare, lo spessore del film e la velocità del processo possono essere accoppiati in linea con i requisiti anticorrosivi richiesti (fig. 3).

Le velocità tipiche di processo variano da 5 a 30 m/min. Il pezzo può essere ulteriormente lavorato direttamente dopo l'applicazione del rivestimento. Il rivestimento fornisce non solo un'elevata resistenza alla corrosione ma costituisce anche un substrato stabile e resistente alla pelatura per adesivi e sigillanti. Il processo inoltre è a bassissimo impatto ambientale e non implica smaltimento o trattamento di prodotti chimici.

Rivestimento al plasma nel settore auto

Il processo di rivestimento al plasma qui descritto è stato utilizzato per la prima volta in un'applicazione industriale dalla TRW Automotive, leader mondiale nello sviluppo di sistemi di sicurezza integrati per l'industria automobilistica. Fin dall'inizio del 2007 l'azienda ha impiegato la tecnica PlasmaPlus per applicazioni che pongono i più alti requisiti di resistenza alle condizioni ambientali, quali resistenza alla corrosione, resistenza termica, resistenza agli spruzzi d'acqua. Il compito era proteggere in modo affidabile dalla corrosione l'alloggiamento di una pompa motorizzata in alluminio pressofuso per un meccanismo di servosterzo. Queste unità sono componenti integranti di meccanismi di servosterzo per una moltitudine di veicoli e hanno requisiti di alta affidabilità. La protezione dalla corrosione si ottiene con il rivestimento selettivo in linea con plasma a pressione atmosferica dei giunti saldati sulla superficie metallica dei pezzi. Il rivestimento assicura la maggior protezione possibile contro la penetrazione di umidità. In questo modo si può evitare senza problemi l'insorgenza di microscopiche crepe che portino alla corrosione e che risultino in un corto-circuito e successivo guasto del meccanismo del servosterzo. Il rivestimento con plasma a pressione atmosferica riveste quindi un ruolo fondamentale (Tabella).

SWAAT-Test	Test duration [hours]			
	50	250	500	750
Without corrosion protection	leak-free	leaky	leaky	leaky
Anticorrosion grease sprayed on	leak-free	leak-free	leak-free	leaky
Coating with PlasmaPlus® plasma	leak-free	leak-free	leak-free	leak-free

Leak-proofness check by the salt spray (SWAAT) test:

Green: Housing shows no leaks

Red: Housing is leaky (corrosion on flange with breakthrough towards the inside).

Controllo di resistenza alla crepe con test di nebbia salina (SWAAT):

In verde: l'alloggiamento non mostra crepe

In rosso: l'alloggiamento è crepato (la corrosione è sulle flange con avanzamento verso l'interno).

Subsequent integration into the process chain

In new developments when all quality requirements are known, implementation with the aid of appropriate influencing factors, such as design, process chain planning or anticorrosion measures, etc. is achievable using commonly available technical solutions. Incomparably more difficult are subsequently arising customer demands in projects already under way with existing global process chains. In such cases commonly available technical solutions are frequently no longer capable of integration or this can only be done by making enormous changes in association with high investment costs. Moreover, changes in production processes including reconstruction measures give rise to downtimes in production. Nevertheless, due to new demands from a customer and

renowned automotive manufacturer, TRW decided in 2006 to take the challenge. The possibilities for protecting a current TRW generation C motor pump unit having an aluminium pressure diecast housing against environmental effects were limited to the following options: improvement of the material, anodisation, passivation or plasma coating at low or atmospheric pressure.

A: *Improving the material, i.e. interfering with the quality of the aluminium material, is a dramatic change since this is also typically accompanied by other effects, such as a decrease in tensile strength. This would have entailed completely new product validation involving great effort and costs.*

B: *Much the same applies to the anodisation. The formation of the coating on the surface on which the principle of this method is based results in significant changes in dimensions and therefore in an impact on the fitting system. The lamellar structure also carries risks with regard to contamination of the hydraulic steering system and critical changes in friction at highly stressed screwed joints. Anodisation, therefore, would also make extensive product validation necessary.*

Successiva integrazione nel flusso di processo

Nelle installazioni nuove, quando tutti i requisiti di qualità sono noti, l'implementazione con l'aiuto di fattori quali progettazione, pianificazione del flusso produttivo, o misure anticorrosive, ecc. si può ottenere utilizzando le soluzioni tecniche già disponibili. È molto più difficile invece soddisfare le richieste dei clienti che sorgono successivamente, nell'ambito di progetti già in corso di realizzazione o con flussi di produzione già esistenti.

In tali casi le soluzioni tecniche comuni spesso non sono utili all'integrazione o quest'ultima può essere effettuata solo realizzando enormi cambiamenti che richiedono grossi investimenti di denaro. Inoltre, variazioni nei processi produttivi che implicano parziali riedificazioni causano fermi impianto.

Nonostante ciò, a seguito delle nuove richieste di un importante produttore di auto, TRW decise nel 2006 di accettare la sfida. Le opzioni per proteggere dagli effetti ambientali le pompe motorizzate TRW generazione C con alloggiamento in alluminio pressofuso erano limitate: miglioramento del materiale, anodizzazione, passivazione o rivestimento al plasma in bassa pressione o a pressione atmosferica.

A: miglioramento del materiale. Interferire con la qualità dell'alluminio rappresenta un cambiamento drammatico dal momento che è tipicamente accompagnato da altri effetti,

quali diminuzione nella resistenza alla trazione. Questo implica la validazione completa del nuovo prodotto con notevoli sforzi e costi.

B: lo stesso vale per l'anodizzazione. La formazione del rivestimento su cui si basa questo metodo sfocia in cambiamenti significativi nelle dimensioni del pezzo e quindi impatta sul sistema di tolleranze. La struttura lamellare comporta anche rischi di contaminazione del sistema idraulico dello sterzo e cambiamenti critici nell'attrito fra i giunti altamente sollecitati. L'anodizzazione implicherebbe anch'essa, quindi, un'estesa validazione del prodotto.



4 **Prior to plasma coating TRW motor pump housings are pre-cleaned with Openair plasma to a microfine level.**

Prima del rivestimento al plasma gli alloggiamenti delle pompe motorizzate TRW sono puliti molto bene con plasma Openair.

C: Passivation affords good protection against corrosion and has the advantage that no layer of appreciable thickness is formed. However, its heat resistance was not sufficient for the applications and internal production processes at TRW so that this method had to be excluded as well.

D: The possibility of low-pressure plasma finally presumes some readiness to invest in corresponding plant technology. When there is requirement for high capacity and/or complicated component geometries, high investment costs may be necessary.

All variants considered so far have one thing in common: they are highly cost-intensive and would have to be capable of integration into the process chain in such a way that quality control would lie in the responsibility of global suppliers. Subsequent quality control on finished components ready for delivery is very costly and considerably reduces the reliability of the process (see also the "Cost efficiency comparison").

Conclusion

Compared to other corrosion protection methods, the green atmospheric-pressure plasma coating process could be integrated into TRW's final assembly with little expense and without disturbances in production. At the same time the process could be ideally incorporated into the in-house quality assurance processes (**Fig. 4**). Due to the possibility of applying plasma coatings selectively, critical areas remain unaffected so that new validations are not necessary. The low investment and maintenance costs are also of advantage. The low requirement for space and maintenance effort together with short cycle times were further criteria for the integration into the here described application.

C: la passivazione fornisce una buona protezione contro la corrosione e ha il vantaggio di non formare alcuno strato di spessore apprezzabile. Tuttavia, la sua resistenza al calore non è sufficiente per le applicazioni e i processi produttivi interni alla TRW, quindi si è escluso anche questo metodo.

D: l'opzione del plasma a bassa pressione, infine, presuppone un investimento in una tecnologia impiantistica corrispondente. Quando ci sono esigenze di elevata capacità produttiva e/o geometrie complesse dei pezzi, possono essere necessari investimenti elevati.

Tutte le opzioni fin qui considerate hanno una cosa in comune: sono ad alto costo e la loro integrazione nel processo avrebbe dovuto essere fatta in modo che il controllo qualità fosse di responsabilità di fornitori globali. Il successivo controllo qualità sui pezzi finiti pronti per la consegna è molto costoso e riduce considerevolmente l'affidabilità del processo (vedere anche la comparazione dell'efficienza in termini di costo).

Conclusioni

Rispetto ad altri metodi di protezione dalla corrosione, è stato possibile integrare il processo "verde" di rivestimento con plasma atmosferico nella linea finale di assemblaggio delle TRW con una spesa contenuta e senza scomodare la produzione. Allo stesso tempo il processo ha potuto essere idealmente incorporato nei processi di assicurazione qualità interni (**fig. 4**). Grazie alla possibilità di applicare in modo selettivo il rivestimento al plasma, le aree critiche restano inalterate quindi non sono necessarie nuove validazioni di prodotto. Il ridotto investimento e i ridotti costi di manutenzione costituiscono un altro vantaggio. Infine, il poco spazio e la scarsa manutenzione richiesta insieme a tempi ciclo ridotti sono stati ulteriori criteri di integrazione nell'applicazione qui descritta.

At one glance

Openair plasma offers TRW the following advantages:

- Highly efficient anticorrosion coating
- High resistance against environmental conditions
- New quality standards for the components
- Local application of the coating with no effect on critical areas
- Long-term stable adhesion of the adhesive
- Environmentally friendly process
- Little space required by the plasma installation
- Subsequent integration into the process chain
- Low maintenance effort
- Short cycle times
- No need for removing the coatings before the recycling process.

A prima vista

Openair plasma offre a TRW i seguenti vantaggi:

- rivestimento anticorrosivo altamente efficiente
- elevata resistenza alle condizioni ambientali
- nuovi standard di qualità per i pezzi
- applicazione locale del rivestimento senza effetti sulle aree critiche
- adesione stabile a lungo termine dell'adesivo
- processo a basso impatto ambientale
- poco spazio richiesto dall'apparecchiatura al plasma
- integrazione nella catena produttiva
- bassa manutenzione
- tempi ciclo ridotti
- non è necessario rimuovere il rivestimento prima del riciclo.

Cost-effectiveness

Surface pretreatment and coating with Openair atmospheric-pressure plasma compared to low-pressure plasma and other methods:

- Compared to low-pressure methods, the atmospheric-pressure plasma technology is far more efficient since the pre-treatment process does not require a costly low-pressure chamber and takes place in-line in the production line under normal air conditions.
- Components treated at low pressure, i.e. in vacuum, are limited in size and number by the constraints of the required chamber. Production processes must be interrupted for pretreatment, and assembly is usually carried out manually.
- The described atmospheric-pressure plasma technology is suitable for robotic and in-line applications without restriction. The system can be very easily integrated "inline" into new or already existing production lines. Production rates are increased by a significant multiple and the deployment of manpower is considerably reduced.
- With low-pressure plasma neither cleaning processes for strip materials, as in the coil coating process, nor large-area pretreatment for adhesive bonding processes can be implemented.
- Atmospheric-pressure plasma technology is compatible with the use of robots.
- Chemical treatments require consumables and often leave behind residues that are difficult and very costly to dispose of. The Openair process completely replaces chemical methods used for fine pre-cleaning purposes.
- Mechanical pretreatment methods (scoring) are very difficult to implement reliably and also operate with consumables.

Atmospheric-pressure plasma technology is not suitable, however, when surfaces are not accessible to the atmospheric plasma beam due to very complex geometries or when the production approach is already designed for chamber-based processes. ■

Rapporto costo-efficacia

Pretrattamento superficiale e rivestimento con plasma a pressione atmosferica Openair comparato con il plasma a bassa pressione e con altri metodi:

- Rispetto ai metodi a bassa pressione, la tecnologia al plasma atmosferico è di gran lunga più efficiente dal momento che il processo di pretrattamento non richiede una costosa camera a bassa pressione e avviene in linea nella catena produttiva in condizioni atmosferiche normali.
- I pezzi trattati a bassa pressione, ad esempio in vuoto, sono limitati nelle dimensioni e nel numero dai limiti stessi della camera necessaria al processo. I cicli produttivi devono essere interrotti per il pretrattamento e l'assemblaggio è solitamente eseguito manualmente.
- La tecnologia del plasma a pressione atmosferica è adatta ad applicazioni con robot e in linea senza alcuna limitazione. Il sistema può essere facilmente integrato in linea all'interno di linee produttive nuove o pre-esistenti. I ritmi produttivi aumentano in modo significativo e l'impiego di manodopera si riduce in modo considerevole.
- Con il plasma a bassa pressione non possono essere implementati né i processi di pulizia per materiali a nastro, come il *coil coating*, né il pretrattamento di grosse aree per i processi di adesione.
- La tecnologia del plasma a pressione atmosferica è compatibile con l'utilizzo di robot.
- I trattamenti chimici richiedono consumabili e spesso lasciano reflui che richiedono uno smaltimento difficile e costoso. Il processo Openair sostituisce completamente i metodi chimici utilizzati per ottenere un'eccellente pulizia superficiale.
- I metodi di pretrattamento meccanico sono difficili da implementare in modo affidabile e lavorano anch'essi con prodotti chimici.

La tecnologia del plasma a pressione atmosferica non è adatta, comunque, quando le superfici non sono accessibili al raggio di plasma atmosferico a causa di geometrie molto complesse o quando la produzione è già settata per utilizzare processi basati su camera in vuoto. ■