

AN INTRODUCTION TO THERMAL SPRAY - PART 1

Introduzione alla termospruzzatura - Parte 1



© Oerlikon Metco

This is the Part 1 of a four-part article. The three parts remaining will be published respectively in *ipcm*[®]_Protective Coatings n. 16 (December 2015), *ipcm*[®]_Protective Coatings n. 17 (April 2016) and *ipcm*[®]_Protective Coatings n. 18 (June 2016).

1. Introduction

In all sectors of industry today, the catchphrase “better, faster, cheaper” is a common and valid phrase, as it seems that production demands are ever-increasing. Highly demanding requirements and aggressive service conditions often lead to the premature loss of function.

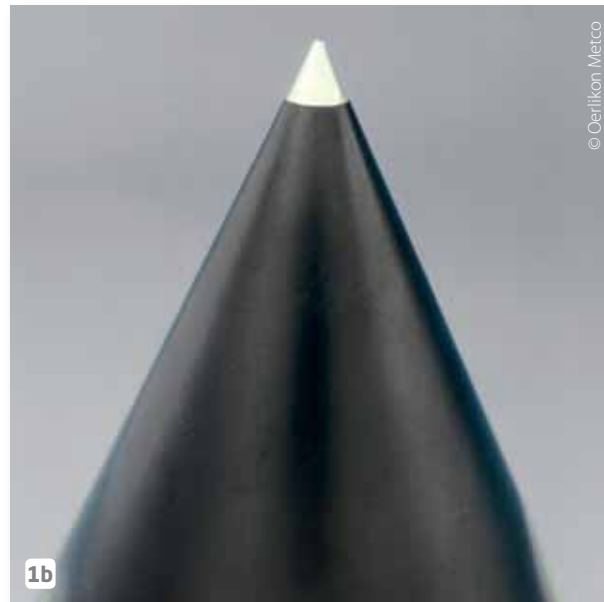
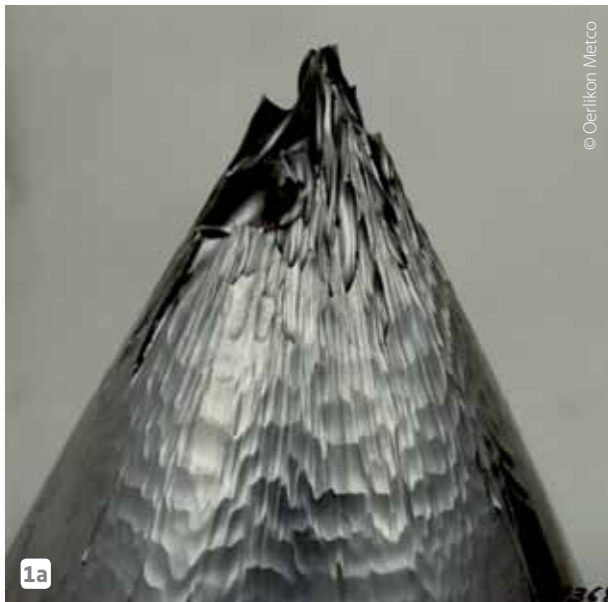
*Shown in **Figure 1a** is a completely worn Pelton turbine nozzle needle after some thousand*

Questa è la prima delle quattro parti in cui sarà diviso questo articolo. Le tre parti rimanenti saranno pubblicate rispettivamente su *ipcm*[®]_Protective Coatings n. 16 (dicembre 2015), *ipcm*[®]_Protective Coatings n. 17 (aprile 2016) e *ipcm*[®]_Protective Coatings n. 18 (giugno 2016).

1. Introduzione

Oggi, in tutti i settori dell'industria lo slogan “meglio, più velocemente e più economico” è un concetto valido e comune, poiché sembra che le esigenze produttive siano in continuo aumento. Requisiti sempre più stringenti e condizioni di servizio aggressive portano spesso a una perdita prematura di funzionalità.

La **figura 1a** mostra la punta dell'ugello di una turbina Pelton completamente consumata dopo migliaia di ore di



1a

Chrome plated, 13/4 steel pelton turbine nozzle needle after service.

Punta cromata in acciaio 13/4 dell'ugello di una turbina Pelton a fine vita di servizio.

1b

Nozzle needle with a chrome oxide coating to prevent wear.

Punta di un ugello rivestita con ossido di cromo per prevenirne l'usura.

hours of actual service. If this service life is deemed unacceptable, either the entire component must be made of a more wear resistant material, or the area where the wear occurs must be protected. For cost reasons, the usual decision is the latter. This leads to the use of surface coatings. Either the entire component can be coated or just the area prone to attack, whichever best fulfils the requirements (**Fig. 1b**).

servizio. Se la vita di servizio è giudicata inaccettabile, ci sono due possibilità: l'intero componente deve essere costituito da un materiale più resistente all'usura, oppure l'area dove questa si verifica deve essere protetta. Per motivi di costo, in genere si opta per la seconda possibilità, che porta all'uso di rivestimenti superficiali. Il riporto può applicarsi all'intero componente oppure soltanto all'area sottoposta all'attacco usurante, a seconda delle esigenze specifiche (**fig. 1b**).

1.1 Surface Properties

The necessary surface requirements for a component vary considerably depending on its service environment. The range of surface requirements include sufficient protection against wear, corrosion resistance, thermal insulation, electrical insulation, and even improved aesthetic appearance.

In practice, it is quite rare components are only exposed to a single condition. Usually a combination is present: For example, abrasive wear combined with high thermal stress. Wear and corrosion resistance are the most frequent conditions the surface coating must withstand.

1.1 Proprietà della superficie

I requisiti superficiali necessari per un componente variano considerevolmente a seconda dell'ambiente in cui esso opererà. La gamma di requisiti superficiali include adeguata protezione contro l'usura, resistenza alla corrosione, isolamento termico, isolamento elettrico e migliore aspetto estetico.

In pratica, è piuttosto raro che i manufatti siano esposti a una singola condizione. Di solito, infatti, è presente una combinazione di fattori, ad esempio usura dovuta all'abrasione unita a stress termico elevato. La resistenza all'usura e alla corrosione sono le condizioni più frequenti che un rivestimento superficiale deve soddisfare.

1.2 Coating Processes

There are quite a number of processes to apply coatings, as well as a nearly unlimited number of coating materials. To select the correct combination for the respective application, the knowledge of specialists is usually required.

Table 1a lists principal coating processes, the typical coating thicknesses attainable, common coating

1.2 Processi di rivestimento

I processi per applicare un rivestimento sono numerosi, e i materiali di rivestimento sono pressoché infiniti. Per scegliere la corretta combinazione in relazione all'applicazione, di solito è necessaria la consulenza di specialisti. La **tabella 1a** illustra i principali processi di verniciatura, gli spessori di rivestimento tipici ottenibili, i materiali di rivestimento più comuni e gli esempi applicativi. Alcu-

materials, and sample applications. Some processes are not suitable for certain coating materials; also, the necessary coating thicknesses are not attainable with all methods. Beyond that, the equipment necessary for some processes can be quite complex and, therefore, costly. The use of cost analysis can determine whether a coating is a practical solution. Today's regulations require that ecological criteria of the respective coating processes must also be examined, as not all methods are environmentally equal.

ni processi non sono adatti con certi materiali di rivestimento; inoltre, gli spessori di verniciatura necessari non sono raggiungibili con tutti i metodi. Oltre a questo, le attrezzature necessarie per alcuni processi possono essere molto complesse e, quindi, costose. L'analisi dei costi può permettere di determinare quale sia la soluzione di rivestimento praticabile. Le normative odierne obbligano inoltre a considerare anche gli aspetti ecologici dei processi di verniciatura, i quali mostrano delle differenze a livello ambientale.

Table 1a: Principal coating processes and characteristics.

Coating process	Typical coating thickness	Coating material	Characteristics	Examples
PVD	1 - 5 μm (40 - 200 μin)	Ti(C,N)	Wear resistance	Machine tools
CVD	1 - 50 μm (40 - 2000 μin)	SiC	Wear resistance	Fiber coatings
Baked polymers	1 - 10 μm (40 - 400 μin)	Polymers	Corrosion resistance, aesthetics	Automobile
Thermal spray	40 - 3000 μm (0.0015 - 0.12 in)	Ceramics and metallic alloys	Wear resistance, corrosion resistance	Bearings
Hard chrome plate	10 - 100 μm (40 - 4000 μin)	Chrome	Wear resistance	Rolls
Weld overlay	0.5 - 5 mm (0.02 - 0.2 in)	Steel, Stellite	Wear resistance	Valves
Galvanize	1 - 5 μm (40 - 200 μin)	Zinc	Corrosion resistance	Steel sheet
Braze overlay	10 - 100 μm (40 - 4000 μin)	Ni-Cr-B-Si alloys	Very hard, dense surface	Shafts

Tabella 1a: i principali processi di rivestimento e le loro caratteristiche.

The coating process having the greatest range of coating materials, coating thicknesses and possible coating characteristics is thermal spray (**Table 1b**), which will be further examined more in detail.

Il processo di rivestimento con la più ampia gamma di materiali, spessori e caratteristiche possibili del rivestimento è la termospruzzatura (*Thermal Spray*) (**tabella 1b**), che sarà esaminata più dettagliatamente in seguito.

Table 1b: Comparison of coating processes (Substrate Temperature [°C]; Coating Thickness [μm]).

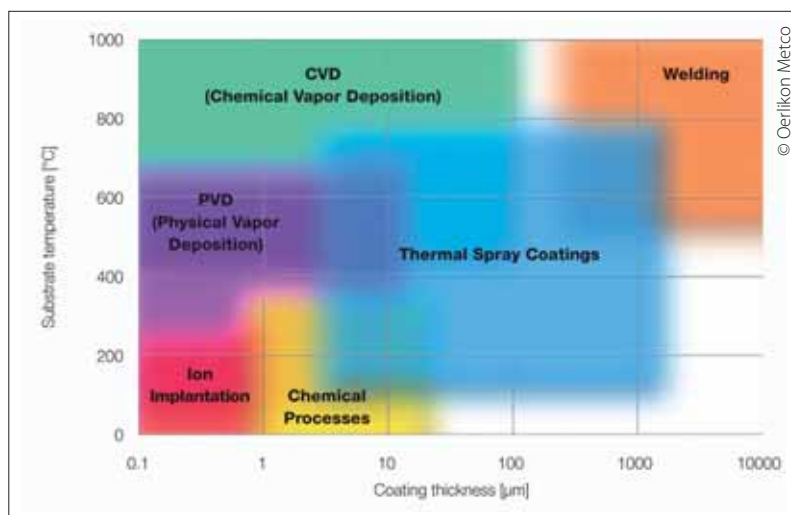
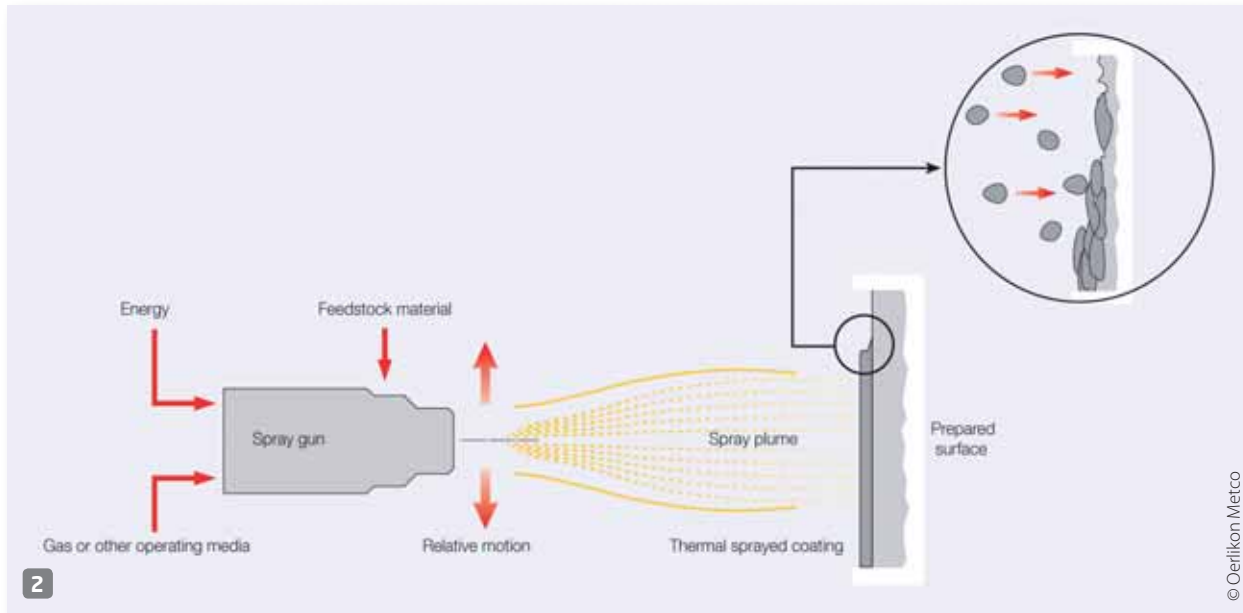


Tabella 1b: confronto tra processi di rivestimento (temperatura del substrato [°C]; spessore del rivestimento [μm]).



2

Principle of thermal spraying.

Il principio della termospruzzatura (Thermal Spray).

© Oerlikon Metco

2. Thermal Sprayed Coatings

2.1 Definition

The definition according to DIN 657 [1]: "...applying these coatings takes place by means of special devices/systems through which melted or molten spray material is propelled at high speed onto a cleaned and prepared component surface..." This definition does not sufficiently describe the thermal spray process.

Figure 2 is a diagram showing the principle of thermal spray. The coating material is melted in a heat source. This liquid or molten material is then propelled by process gases and sprayed onto a base material, where it solidifies and forms a solid layer.

The individual aspects of a thermal sprayed coating follows.

2. Rivestimenti termospruzzati

2.1 Definizione

La definizione secondo DIN 657 [1]: "...l'applicazione di rivestimenti mediante termospruzzatura (*Thermal Spray*) ottenuta per mezzo di dispositivi/sistemi speciali che fondono il materiale di apporto e lo proiettano ad alta velocità sulla superficie pulita e preparata da rivestire...". Questa definizione non è sufficiente a descrivere il processo di termospruzzatura (*Thermal Spray*).

La Figura 2 è un diagramma che descrive il principio della termospruzzatura. Il materiale d'apporto è fuso da una fonte di calore, accelerato dai gas di processo propri del dispositivo utilizzato e il getto risultante spruzzato su un materiale di base dove solidifica e forma uno strato solido. A seguire, i singoli aspetti di un rivestimento termospruzzato.



REPAIR

metal, rubber and mortars

PROTECT

against erosion and corrosion

IMPROVE

asset design and operation

For more information visit belzona.com



PROTECTIVE LININGS



SPECIALIST COATINGS



COMPOSITE REPAIRS



COLD BONDING

Unico Distributore Italiano
 Indipendente Autorizzato



BS SRL - BELZONA SERVICE ITALIA

Via XV Febbraio 1945, N° 21A
 19020 Follo - La Spezia (ITALIA)

Ph: +39 0187 599109

F: +39 0187 519731

www.bsitalia.net

info@bsitalia.net

2.2 Substrate Materials

Suitable substrate materials are those that can withstand blasting procedures to roughen the surface, generally having a surface hardness of about 55 HRc or lower. Special processing techniques are required to prepare substrates with higher hardnesses. Because the adhesion of the coating to the substrate

predominantly consists of mechanical bonding, careful cleaning and pretreatment of the surface to be coated is extremely important.

After the removal of surface impurities by chemical or mechanical methods, the surface is usually roughened using a blasting procedure. This activates the surface by increasing the free surface energy and also offers the benefit of increased surface area for bonding of the sprayed particles.

The liquid or molten coating particles impact the surface at high speed. This causes the particles to deform and spread like "pancakes" on the substrate. Heat from the hot particles is transferred to the cooler base material. As the particles shrink and solidify, they bond to the roughened base material. Adhesion of the coating is therefore based on mechanical "hooking".

This procedure is represented schematically in **Figures 2 and 3**. The amount of metallurgical bond caused by diffusion between the coating particles and base material is small and can be neglected for discussions about bonding mechanisms (exception: Molybdenum).

Surface roughening usually takes place via grit blasting with dry corundum. In addition, other media, such as chilled iron, steel grit or SiC are used for some applications. Besides the type of grit, other important factors include particle size, particle shape, blast angle, pressure and purity of the grit media.

2.2 Materiali di substrato

I materiali di substrato sono quei materiali che possono sopportare le procedure di sabbiatura per irruvidire la superficie, in genere con una durezza superficiale di circa 55 HRc o più bassa. Sono necessarie speciali tecniche di processo per preparare i substrati con una durezza più alta. Poiché l'adesione del rivestimento è dovuta principal-

mente all'incastro meccanico nella rugosità del substrato, l'attenta pulizia e il pretrattamento della superficie da rivestire sono aspetti estremamente importanti.

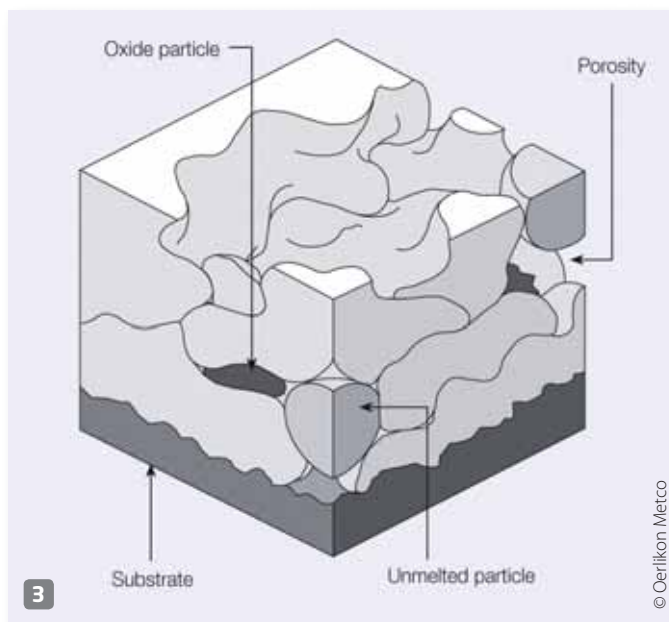
Dopo la rimozione delle impurità superficiali con metodi chimici o meccanici, la superficie viene generalmente irruvidita per mezzo della sabbiatura. Questa operazione attiva la superficie aumentando l'energia libera superficiale, offrendo inoltre il beneficio di aumentare l'area su cui le particelle spruzzate si ancoreranno.

Le particelle liquide o fuse impattano sulla super-

ficie ad alta velocità e, deformandosi, si appiattiscono come delle "frittelle" sul substrato.

Il calore delle particelle calde si trasferisce al materiale di base, più freddo. Le particelle, restringendosi e solidificando, si legano al materiale di base irruvidito. L'adesione del rivestimento si basa quindi sostanzialmente su un "aggrappaggio" meccanico. La procedura è rappresentata schematicamente in **Figura 2 e 3**. L'entità del legame metallurgico tra le particelle del rivestimento e il materiale di substrato è piccola e può essere trascurata nelle discussioni sui meccanismi del legame (eccezione: Molibdeno).

L'irruvidimento della superficie avviene di solito attraverso la sabbiatura con corindone secco. Altri media, come ghisa temprata, graniglia d'acciaio o carburo di silicio (SiC), sono utilizzati per alcune applicazioni. Oltre al tipo di graniglia, sono importanti anche altri fattori come dimensione e forma delle particelle, angolo del getto, pressione e purezza della graniglia.



3 Schematic diagram of a thermal sprayed coating.
Schema di un rivestimento per termospruzzatura (*Thermal Spray*).



2.3 Coating Materials

In principle, any material that does not decompose as it is melted can be used as a thermal spray coating material. Depending on the thermal spray process, the coating material can be in wire or powder form.

In **Table 2**, some of the most frequently used classes of materials are listed, along with a typical example, characteristics and sample applications. Choosing a coating material that is suitable for a specific application requires special knowledge about the service environment as well as knowledge about the materials. Apart from the physical characteristics, such as coefficient of expansion, density, heat conductivity and melting point, additional factors, such as particle shape, particle size distribution and manufacturing process of powder material (i.e., agglomerated, sintered, composited) will influence coating performance. As most spraying materials are available as alloys or blends, this leads to a nearly unlimited number of combination options, and only through many years of experience and broad know-how can a proper selection be made.

Table 2: Common classes of thermal spray powder materials.

Material class	Example composition	Characteristics	Example application
Pure metals	Zn	Corrosion protection	Bridge construction
Self-fluxing alloys	Fe-Ni-B-Si	High hardness, fused, minimal porosity	Shafts, bearings
Steel	Fe-Cr13	Economical, wear resistance	Repair
MCrAlY	NiCrAlY	High temperature, corrosion resistance	Gas turbine blades
Ni-graphite alloys	Ni-25C	Anti-fretting	Compressor inlet ducts
Oxides	Al ₂ O ₃	Oxidation resistance, high hardness	Textile industry
Carbides	WC-Co12	Wear resistance	Shafts

The second part of this article will be published in the next issue (ipcm®_Protective Coatings n. 16, December 2015). [←](#)

Literature references

- [1] DIN EN 657; Thermal Spray – Begriffe, Einteilung; Beuth-Verlag, Berlin (1994)
- [2] H.D. Steffens, J. Wilden: "Moderne Beschichtungsverfahren", DGM-Verlag, ISBN 3-88355-223-2, (1996)
- [3] P. Huber: "Vakuumpulverstrahlen", Oberfläche surface, 10 (1992), 8
- [4] H. Simon, M. Thoma: "Angewandte Oberflächentechnik für metallische Werkstoffe", Hanser-Verlag, München (1985)
- [5] E. Lugscheider, H. Reymann: "Hochgeschwindigkeitsflamngespritzte Chromschichten zum Verschleiss- und Korrosionsschutz", Schweißen und Schneiden, 50 (1998), 44
- [6] DIN 50600; Metallographische Gefügebilder, Beuth-Verlag, Berlin
DIN EN 582 Ermittlung der Haftzugfestigkeit, Beuth-Verlag, Berlin (1994)
DIN EN 10109 Teil 1; Härteprüfung, Beuth-Verlag, Berlin (1995)
DVS 2310 Teil 2; Anleitung zur Schliffherstellung, DVS, Düsseldorf, (1989)

2.3 Materiali di rivestimento

In linea di principio, qualsiasi materiale che non si decomponga con la fusione, ovvero che abbia una fase liquida stabile (cioè che non sublimi), può essere utilizzato come materiale di rivestimento tramite termospruzzatura (*Thermal Spray*). In base al processo di termospruzzatura utilizzato, il materiale di rivestimento può essere in forma di filo o polvere.

La **Tabella 2** elenca alcune delle classi di materiali utilizzati con maggiore frequenza, unitamente alla loro composizione tipica, alle caratteristiche e ad esempi di applicazione. La scelta del materiale di rivestimento adatto per un'applicazione specifica richiede una conoscenza particolare dell'ambiente di utilizzo e competenze sui materiali.

Oltre alle caratteristiche fisiche, quali il coefficiente di espansione, la densità, la conduttività termica e il punto di fusione, anche altri fattori, come la forma delle particelle, la granulometria e il processo di fabbricazione del materiale in polvere (ovvero, agglomerato, sinterizzato, composito) influenzeranno le prestazioni del rivestimento. Poiché la maggior parte dei materiali per spruzzatura sono disponibili come leghe o miscele, il numero di possibili combinazioni è quasi illimitato: solo con molti anni di esperienza e una vasta competenza è possibile effettuare una scelta corretta.

Tabella 2: classi comuni di materiali in polvere per la termospruzzatura (*Thermal Spray*).

La seconda parte di questo articolo sarà pubblicata nel prossimo numero (ipcm®_Protective Coatings n. 16, dicembre 2015). [←](#)

Riferimenti bibliografici

- [1] DIN EN 657; Thermal Spray – Begriffe, Einteilung; Beuth-Verlag, Berlin (1994)
- [2] H.D. Steffens, J. Wilden: "Moderne Beschichtungsverfahren", DGM-Verlag, ISBN 3-88355-223-2, (1996)
- [3] P. Huber: "Vakuumpulverstrahlen", Oberfläche surface, 10 (1992), 8
- [4] H. Simon, M. Thoma: "Angewandte Oberflächentechnik für metallische Werkstoffe", Hanser-Verlag, München (1985)
- [5] E. Lugscheider, H. Reymann: "Hochgeschwindigkeitsflamngespritzte Chromschichten zum Verschleiss- und Korrosionsschutz", Schweißen und Schneiden, 50 (1998), 44
- [6] DIN 50600; Metallographische Gefügebilder, Beuth-Verlag, Berlin
DIN EN 582 Ermittlung der Haftzugfestigkeit, Beuth-Verlag, Berlin (1994)
DIN EN 10109 Teil 1; Härteprüfung, Beuth-Verlag, Berlin (1995)
DVS 2310 Teil 2; Anleitung zur Schliffherstellung, DVS, Düsseldorf, (1989)