

Mono- or Multilayer, That is Here the Question!

Coatings for rotating cutting tools for the 3rd millennium

T. Cselle, Sigmaringen, Germany
cselle@netlane.com

While the current boom in the cutting tool industry appears headed for a slowdown within the next few years, not so with coatings. More and more components and wear parts, as well as cutting tools, will be coated. The latter category will continue to expand primarily in the area of reground and recoated cutting tools. This article discusses the important application technology trends and questions regarding layers for symmetrical rotating cutting tools.

- Will CVD or MTCVD become more strongly established for symmetrical rotating cutting tools?
- Will multi- and nanolayer coatings replace "good old" TiN coating?
- How can decoating determine the performance of coating centers?
- What are nanolayers and why are they important?
- What are the implications for the further development of carbide tooling?
- What problems do droplets present during the ARC process?
- How can you compare the different glide coatings?
- Is it possible to make a "Lotus" coating?
- Why will ion implantation become established?
- Which trends will lead the coatings market in the next years?

Introduction

When one looks at the typical coatings firm [Fig. 1], it becomes immediately understandable why so many investors are interested in coating technology. There is no shortage of sales potential, as currently more than one out of every two tools is being coated [Fig. 2]. This number is so high, as nearly all indexable inserts now come with a coating. However, among all solid symmetrical rotating cutting tools only every seventh or eighth tool is coated. If one adds the 5- to 10-time recoatability of solid cutting tools, one can recognize the great promise of the coating technology market.

**Fig.1: Turnover Growing
of a Typical Medium Size Coater**

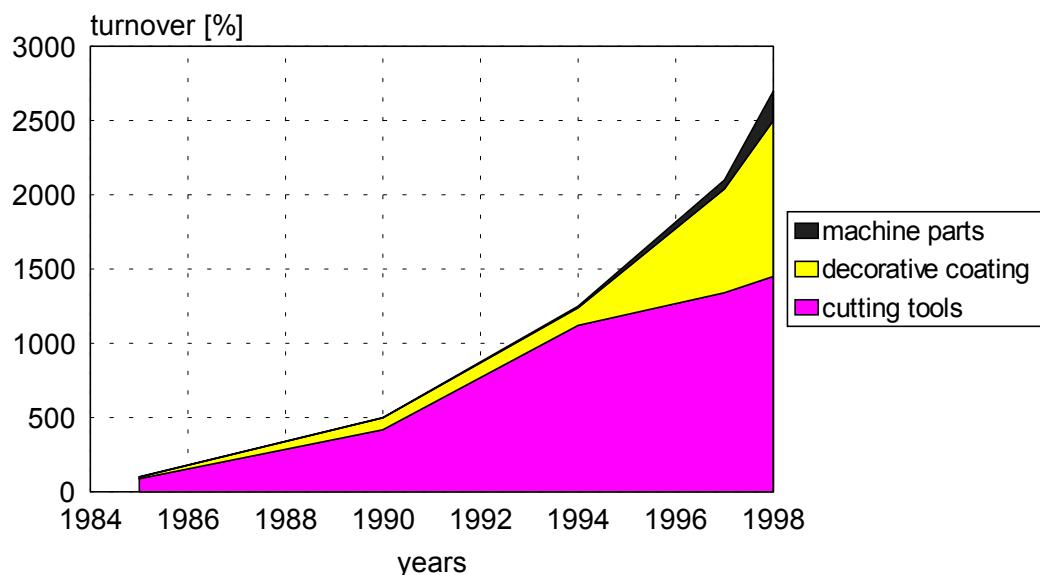
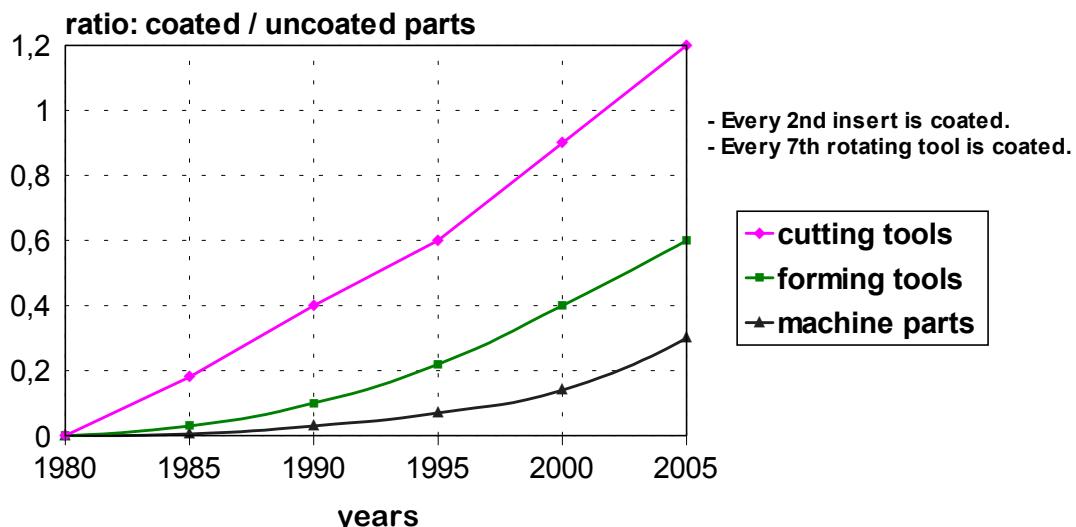


Fig. 2: Forecast for Coatings Market

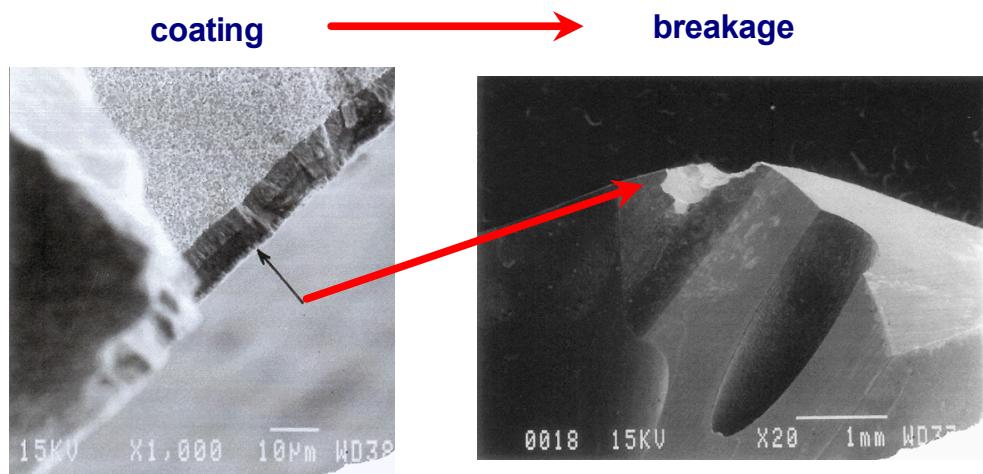


Only PVD for symmetrical rotating cutting tools

The CVD (chemical vapor deposition) process is cost effective and offers excellent coating adhesion, but does even enter into the equation for symmetrical rotating cutting tools. These tools need to be tough and sharp. The high temperature of the CVD process ($>1100^\circ\text{C}$) reduces the toughness of hard metals, while the comparative thickness of CVD coatings dulls the cutting edges. While a lower temperature ($600\text{-}800^\circ\text{C}$) alternative, MTCVD coatings tend to be brittle, which often results in rapid chipping along the cutting edge [Fig. 3]. And this with very good coating adhesion.

As such, the PVD (physical vapor deposition) process dominates the coating scene for symmetrical rotating cutting tools. With application temperatures from 80°C to 500°C , PVD coatings can be applied to HSS and HSCO tooling as well. With coating thicknesses from 0 μm (with ion implementation) to 4 μm , PVD coatings leave the cutting edges practically unchanged.

Fig.3: Breakage on MTCVD Coated Carbide Drill



Source: Eucotooling, Brite-Euram-Project, Cerametal, Luxemburg

Will multi- and nanolayer coatings replace "good old" TiN coating?

Despite the great market enthusiasm of the last three years over TiAlN coating, TiN remains the clear leader among cutting tool coatings [Fig. 4]. Because of its poor recoatability, interest in TiCN coating is clearly on the downswing.

Fig.4: Coating Market Shares at Rotating Tools

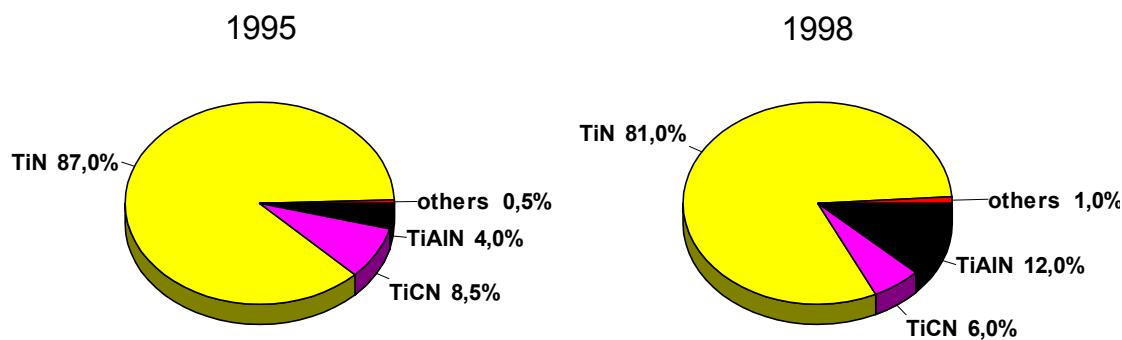
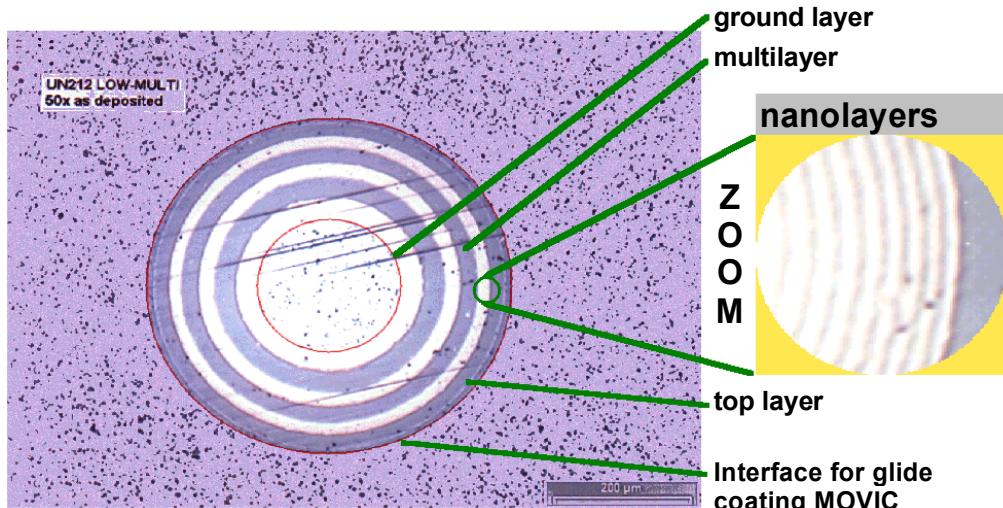


Fig. 5: TiAlN-TiN - Multilayer Coating Structure



Source: Platin, Grenchen, CH

The latest developments in coating technology are focused on combining the performance features of these three top cutting tool coatings in a single, multilayer coating [Fig. 5]:

- To guarantee optimal adhesion, the multilayer coating begins with a base layer of TiN. As regards coating productivity it is also advantageous, as the etching and the true coating can partially overlap.
- To combat the challenge of coating cracking and flaking in high stress, high shock applications such as interrupted cutting, a multilayer structure of distinct TiAlN and TiN is built on top of the TiN base layer. The finer the sub-layers, the better the fissure deflection [Fig. 6]. Gradient coatings, which resemble mono-layer coatings, are far less stress and crack resistant, allowing fissures to break directly through to the tool substrate.
- Every coating has pores. In a multilayer structure, however, it is very unlikely that two layers have pores at the same location. Therefore, the different layers close the pores in a multilayer structure, while the pores stay open with a monolayer coating.

- To provide optimum heat resistance, the multilayer structure typically features TiAlN as the final or outer layer. TiAlN's low thermal conductivity can be attributed to the formation of an aluminum oxide layer during cutting, which serves as a heat shield.
- To prevent chemical reactions from occurring between the cutting tool and workpiece, an outer layer of TiAlN is again vital. This is particularly true when working with ultra-fine grain carbide cutting tools. These substrates contain a high cobalt content (10-13%) for toughness. During cutting, the high heat generated can cause cobalt leaching, with cobalt transferring from an uncoated tool to the workpiece [Fig. 7]. With its low thermal conductivity, the outer TiAlN layer can help prevent this chemical reaction from taking place. This avoidance of chemical and physical reactions [as built up edge Fig. 8] is one of the main reasons [Fig. 9] for using coatings on cutting tools.

A multilayer coating constructed in this way offers significant productivity improvements over traditional TiN coating [Fig. 10 and 11] – improvements which go beyond longer tool life.

Fig.6: Crack Absorbtion by Multilayer-Coatings

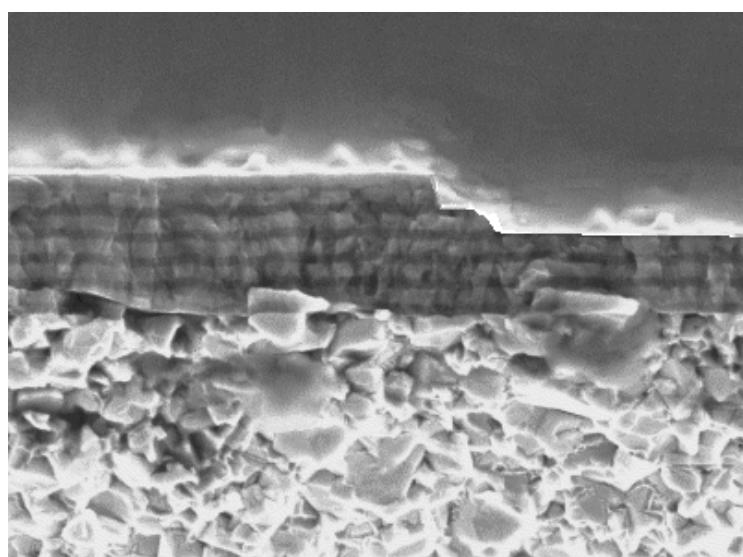


Fig. 7: Cobalt-Leaching at Higher Temperatures

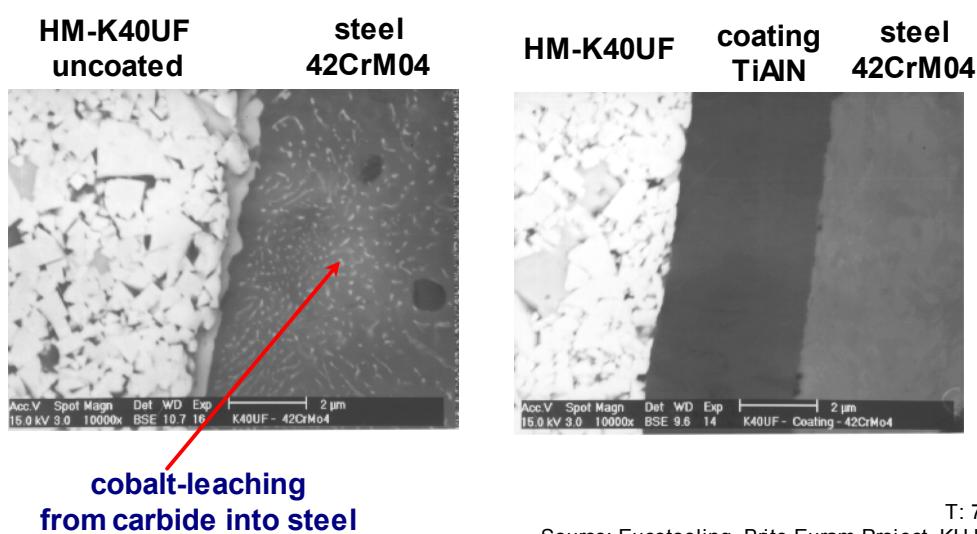
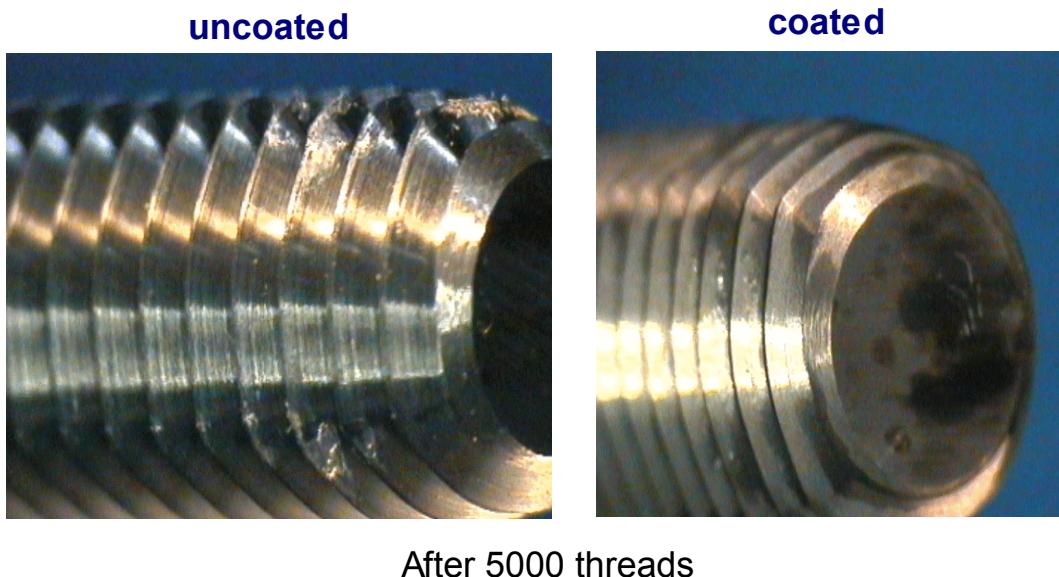


Fig.8: Built Up Edge on Fluteless Taps



After 5000 threads

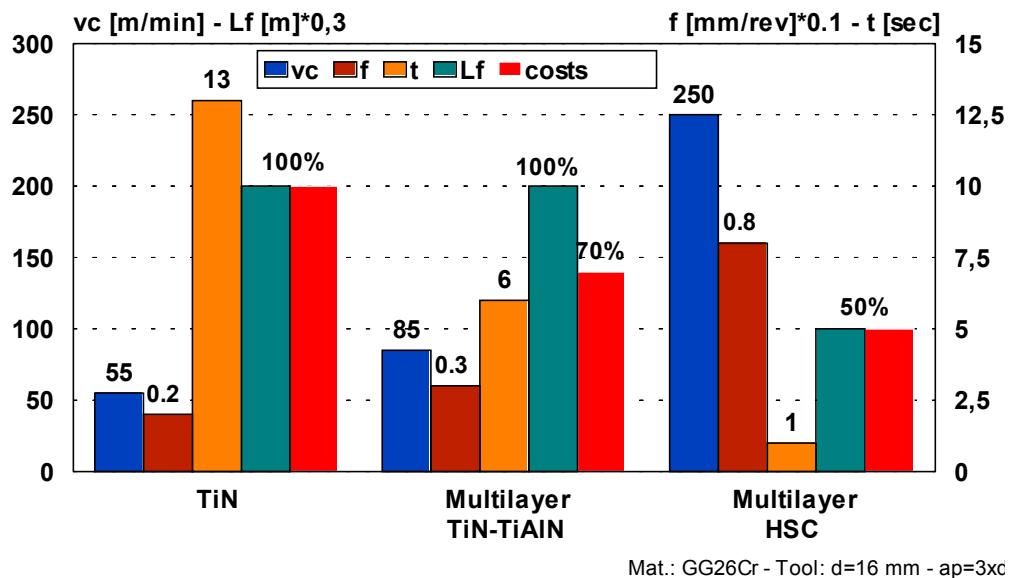
Fig.9: Why Coatings for Cutting Tools?

- **Higher wear resistance**
-> higher tool life, higher cutting parameters
- **Lower friction between tool and chips**
-> deeper drilling
- **Fancy surface**
-> easy wear measurement
- **Heat and contact insulation**
-> no chemical reaction
-> no physical reaction

Fig.10: Cast Iron Motor Block to be Machined Dry



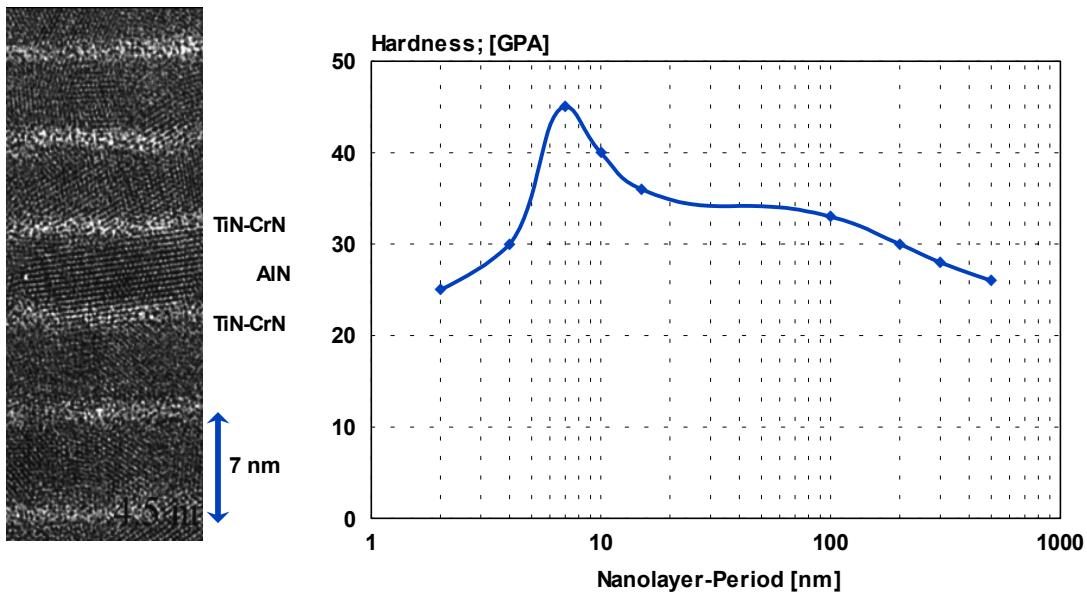
Fig.11: Increase of Productivity at Dry Drilling



Nanolayers

Nanolayer coating technology promises further significant improvements in cutting tool hardness and associated wear resistance [Fig. 12]. In specific, this technology could one day replace CBN- and PCD-brazed tooling! Nanolayer coating technology already exists, but it requires ultra-precise synchronization of electronic ignition and tool rotation within the coating chamber. This can only be achieved when coating a large number of tools all with the same geometry. At a typical coating service company, however, where habit and demand continue to fill machines with mixed loads, this is not possible.

Fig.12: Superlattice Nanolayer

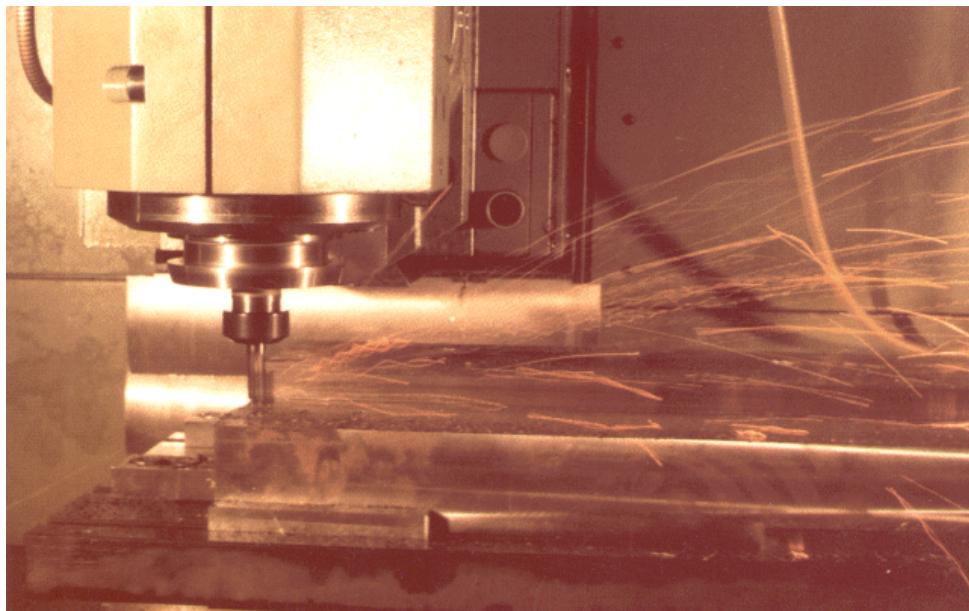


Source: Northwestern University, IL, USA

Decoating

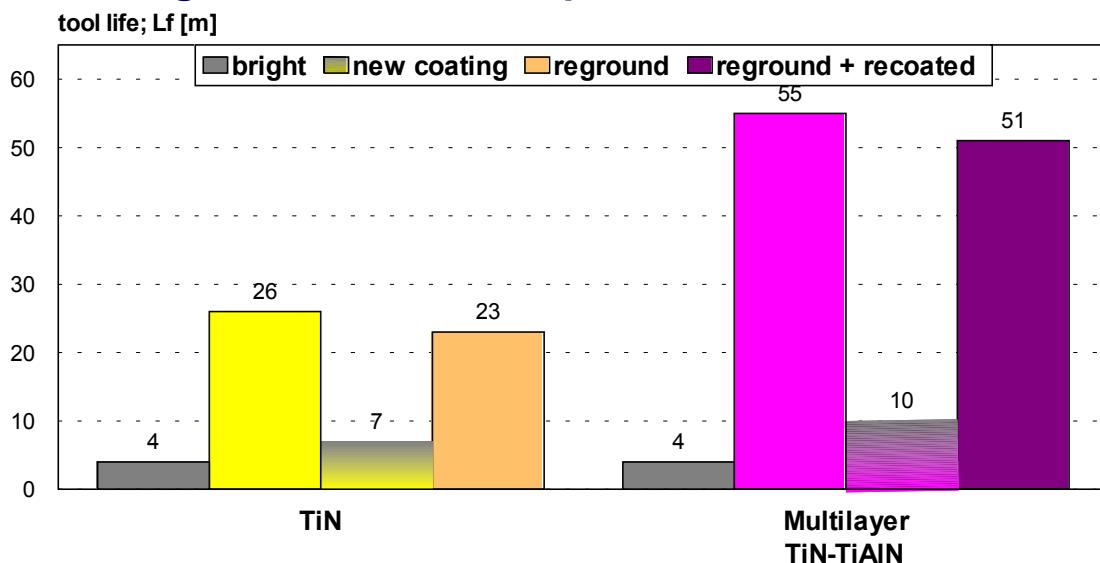
The recoating after regrinding is essential for the tool performance [Fig. 13 and 14]. The simple recoating of multilayer coating is not recommended because of the high internal strength [Fig. 15]. Looking ahead, the ability to properly decoat multilayer coatings will be vitally important for coating service companies. Mandatory for achieving good adhesion when recoating, this ability, or lack thereof, will ultimately determine the future viability of individual coating service companies. Interestingly, few coating service companies today are capable of properly decoating multilayer-coated carbide cutting tools.

Fig.13: Dry HSC End Milling



Source: Fraisa, Bellach, CH

Fig.14: Tool Life Comparison for End Mills



Mat.: 42CrMo4V - heat treated steel - Rm=1000 N/mm² - external coolant with emulsion 7

The process required for properly removing a multilayer coatings from carbide tooling results in carbide leaching, which leaves a cobalt-depleted surface comprising loose tungsten carbide particles [Fig. 16 middle]. Prior to recoating, these loose particles must be removed utilizing an electro-chemical microblasting process to restore the strength and density of the substrate surface and the homogeneity of the entire substrate [Fig. 16b right]. HSS and carbide tools require different stripping processes. Therefore the selective decoating is especially difficult [Fig. 17]. The re-solidified, re-smoothed surface greatly facilitates the recoating process, producing a recoated tool that rivals the performance of the original grind and coating [Fig. 18].

**Fig.15: Because of Internal Strength
-> No Recoating without Stripping**

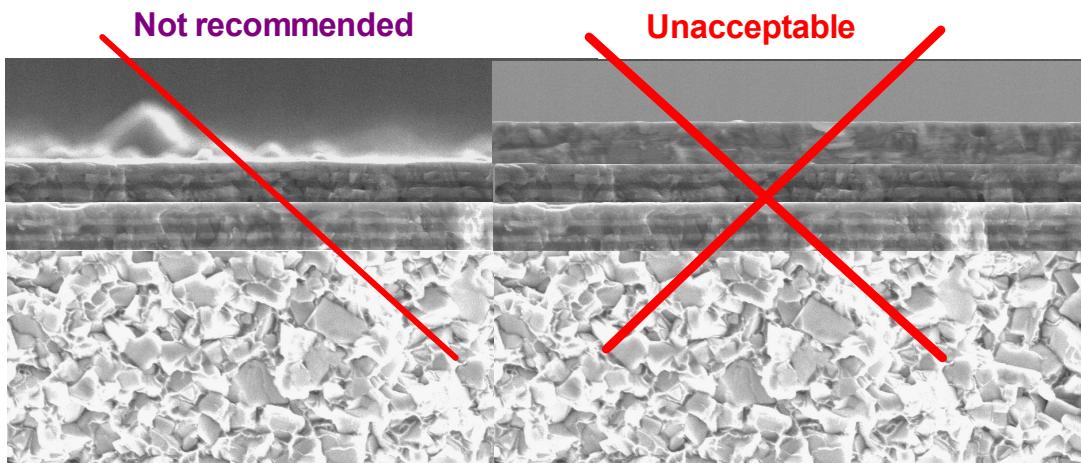
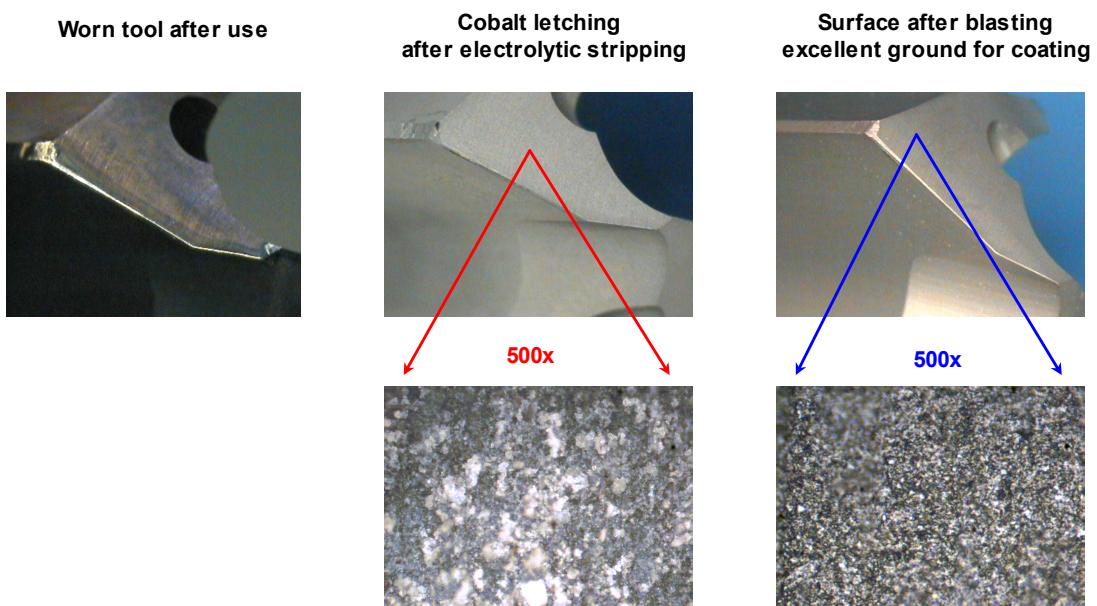
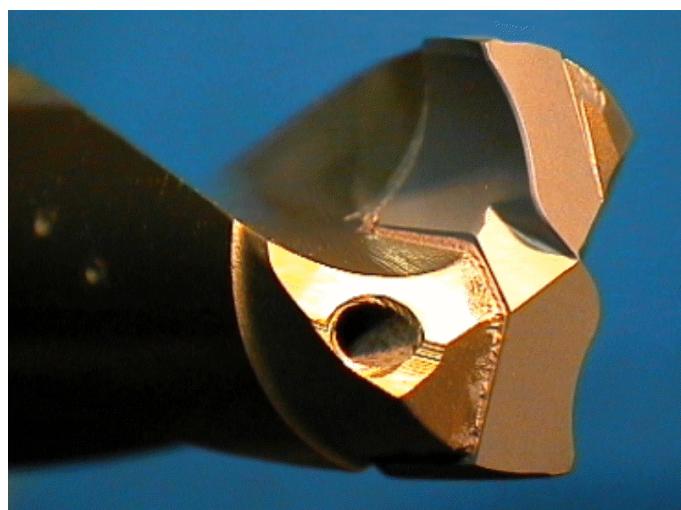


Fig.16: Stripping (Decoating) of Carbide Tools

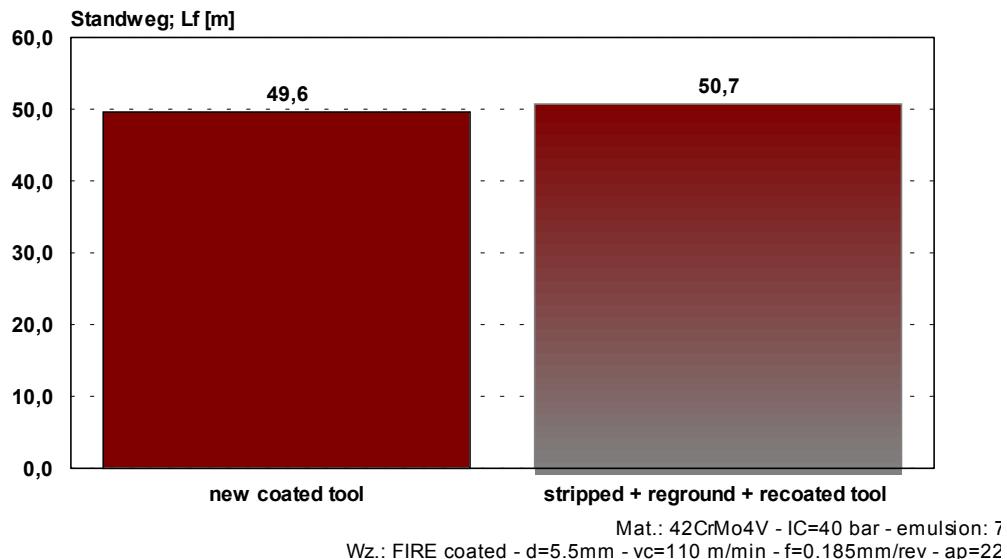


**Fig.17: Selective Stripped Brazed Drill
with Carbide Tip**



Source: Platin, Grenchen, CH

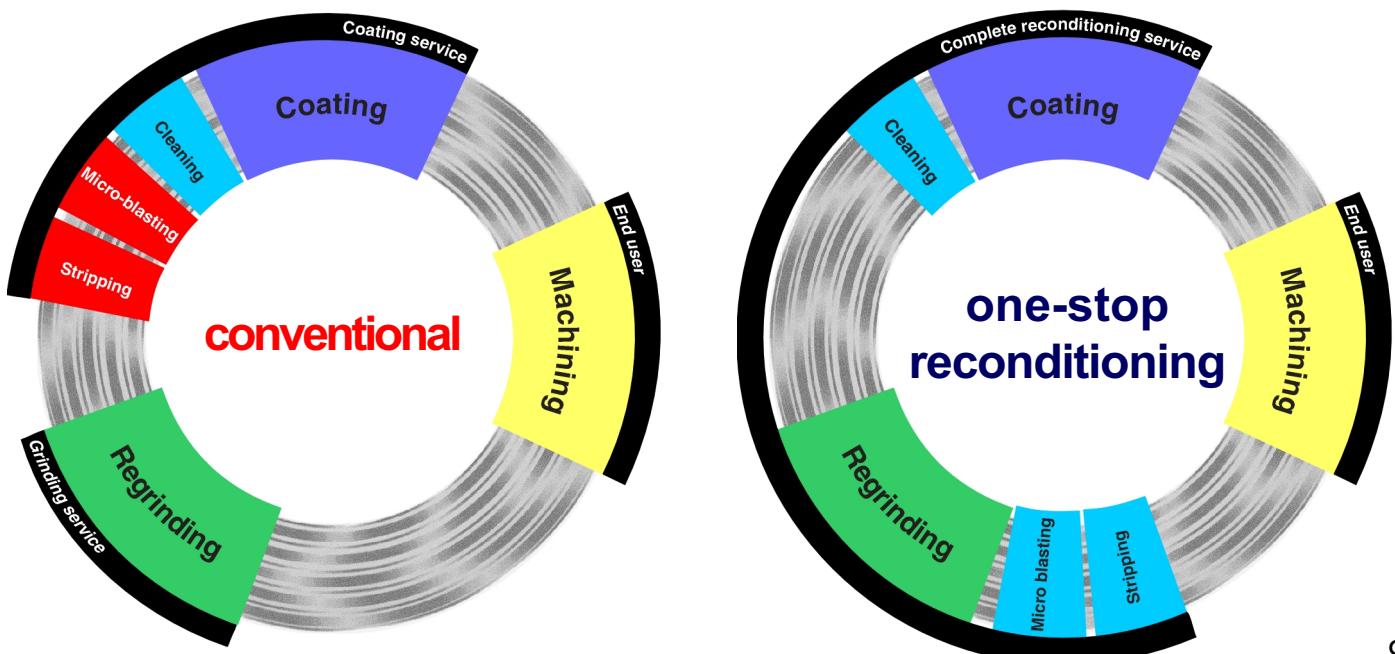
**Fig.18: Tool Life Comparison for Solide Carbide Drills
Original Coating <-> Stripped + Recoated**



However, a note of caution: The electro-chemical microblasting process can both round the cutting edges and reduce the outer dimensions of the tool (approximately 1-2.5µm in radius). Matching the performance of the original grind and coat is only possible if the tool's cutting edges are not overly rounded by the decoating-resurfacing-recoating process. Here, the key lies in the exact sequence of steps in the reconditioning process.

Today, tool reconditioning services fall into one of two camps: 1. working partnerships between an independent regrind service company and an independent coating service company, and 2. one-stop, regrind-recoat reconditioning service companies [Fig. 19]. Under the reconditioning partnership, the regrind service first regrinds the tools and then sends them on to the coating service for decoating, resurfacing and recoating. With the one-stop reconditioning service company, the sequence is different: The tools are first decoated and resurfaced, then reground and recoated. Obviously, given the geometry-altering side-effects of the resurfacing process, the latter method – where the tools are reground after the microblasting resurfacing process – is far more effective in reproducing the true geometry and performance of the original grind and coating.

Fig. 19: Logistics of Grinding and Coating Services



Not limited to used tooling which has been electro-chemically stripped, cobalt leaching can be a problem for new tools as well. Intense cutting or aggressive coolant supply can cause cobalt leaching in new tooling. In response, more and more coating companies are starting to treat all tools, including new ones, with microblasting prior to coating. But as mentioned above, while this does improve coating adhesion, it also rounds the cutting edges and alters the tool's outer dimensions – unwelcome characteristics, particularly in new tooling.

The reluctance of the majority of independent coating companies to embrace the challenge and expense of mastering the multilayer decoating process will also ensure that "good old" monolayer TiN stays around for the foreseeable future.

Mono- or Multilayer TiAlN?

Multilayer coating's comparatively higher pricetag has prompted the question: Might a mono-layer TiAlN coating not prove more cost effective? Hypotheses based on this question have fueled market interest in a quasi-monolayer TiAlN coating. These coatings begin with a base coating of TiN in order to accelerate the bonding process and improve coating adhesion. The following table shows the most important features of the quasi-mono- and multilayer TiAlN coatings:

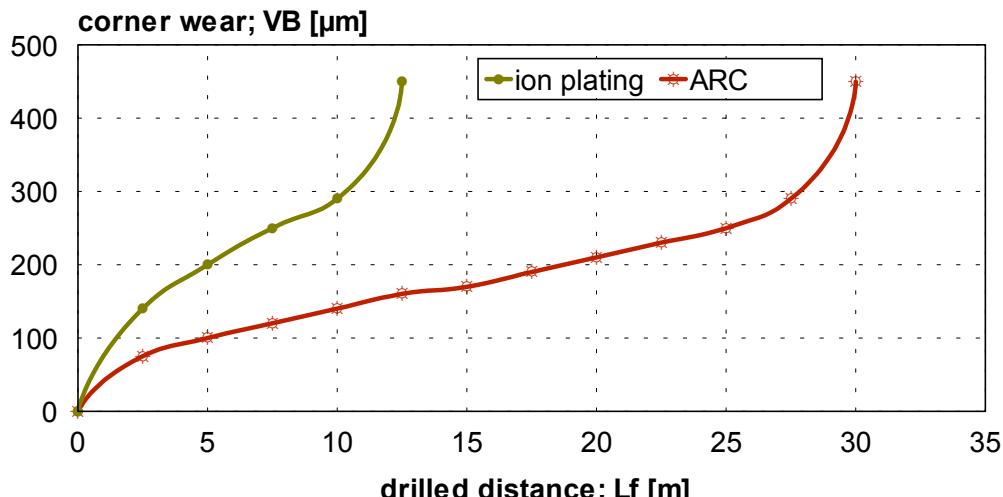
	Quasi-Monolayer TiAlN	Multilayer TiAlN
Coating Time	100%	~ 140%
Fissure Absorption	None	Yes
Pore Closure	None	Yes
Life	100%	~ 100%-300%
Recoatability	approx. 3x without decoating	Only after decoating

The figures shown above cloud the question of "Mono- or Multilayer". Based on purchase price and ease of recoatability, multilayer coatings will have a difficult stand in the future. But is this the complete picture?

Droplets

Both mono- and multilayer TiAlN coatings will benefit from new developments in the previously "damned" cathodic arc coating process. Far more wear resistant than conventional reactive ion-plating coatings [Fig. 20], cathodic arc coatings have suffered from one key obstacle – "droplets". Formed during the coating process, these droplets [Fig. 21] can create an uneven surface, reducing coating lubricity, impeding chip evacuation and making deeper drilling impossible [Fig. 22].

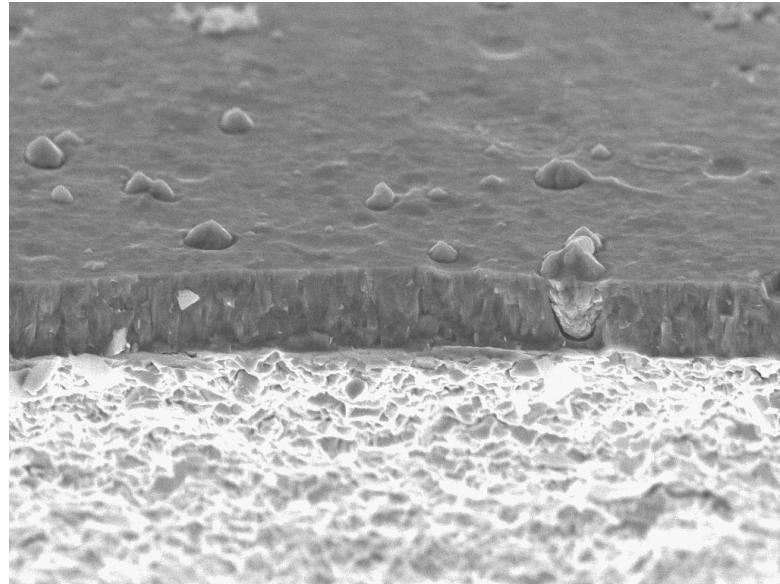
Fig.20: Tool Life Comparison for Drills with Brazed Carbide Tips
Conventional Reactive Ion Plating <-> ARC Coating



Mat.: 42CrMo4V - Rm=1000 N/mm²
Tool: d=12,5mm - RT80 - vc=110 m/min - f=0.25mm/rev - ap=3xd - IK: 30 bar - emulsion 7%

Based on the depth to which a coated tool can drill smoothly (as measured by axial feed force), a "glide factor" [Fig. 23] can be assigned to differentiate among coating qualities. In the case of an ARC coating, the better the coating process; the smaller and fewer the droplets [Fig. 24]. The smaller and fewer the droplets; the better the lubricity and chip evacuation. The better the lubricity and chip evacuation; the deeper the tool can drill with a steady axial feed force. The greater the drillable depth; the higher the "glide factor". Worthy of note is the effect that "self-polishing" has on increasing the "glide factor" over the life of the coating [Fig. 25].

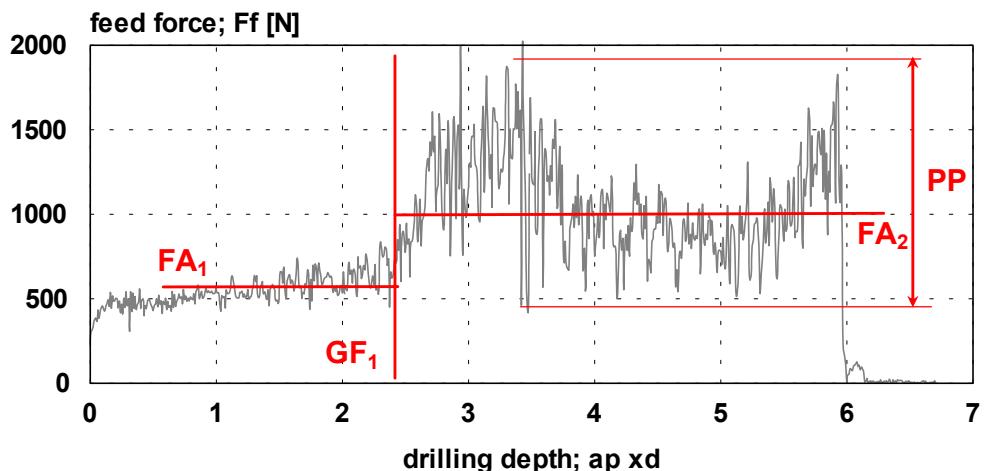
Fig.21: Droplets of ARC Coating



Source: APTODRY, Brite-Euram Project, ICN, Ispra

Fig.22: Interpretation of the Coating Gliding Factor

Conventional ARC-TiAlN-Coating - GF=2,3



Mat.: GGG40 - Tool.: HSS-DIN 338 - d=6mm - ap=6xd - vc=30m/min - f=0.18mm/r
 FA: Floating Average - PP: Peak to Peak= max vibration amplitud
 Gliding Factor: GF=2.3 - GF1=2,3xd - GF2=0 - GF3=0

Fig.23: Flow Chart for Calculation of Coating Gliding Factor

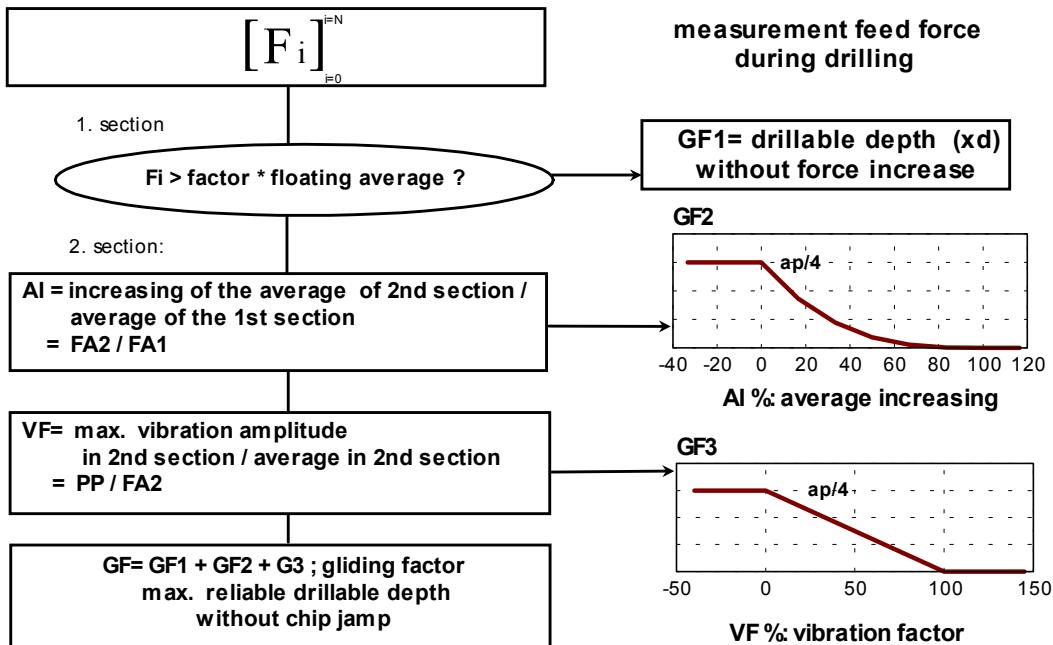


Fig.24: Comparison of the Coating Surface with and without Special Treatment

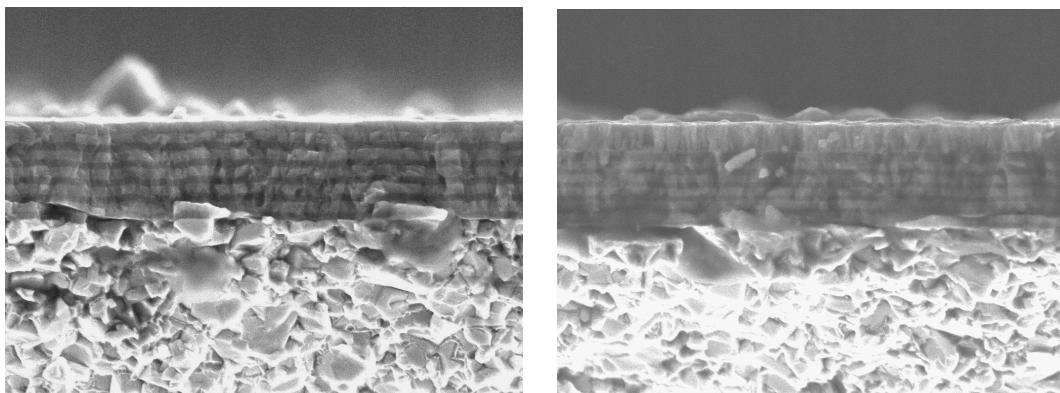
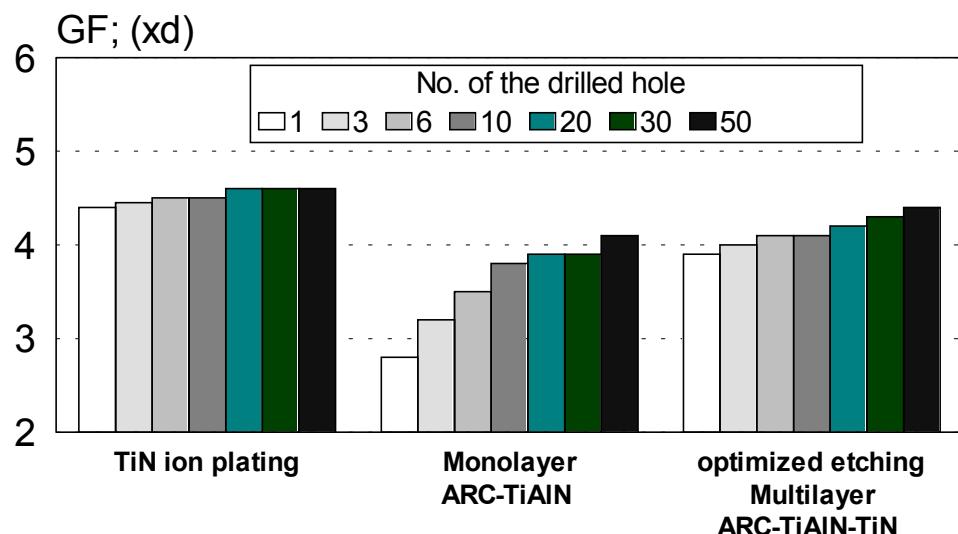


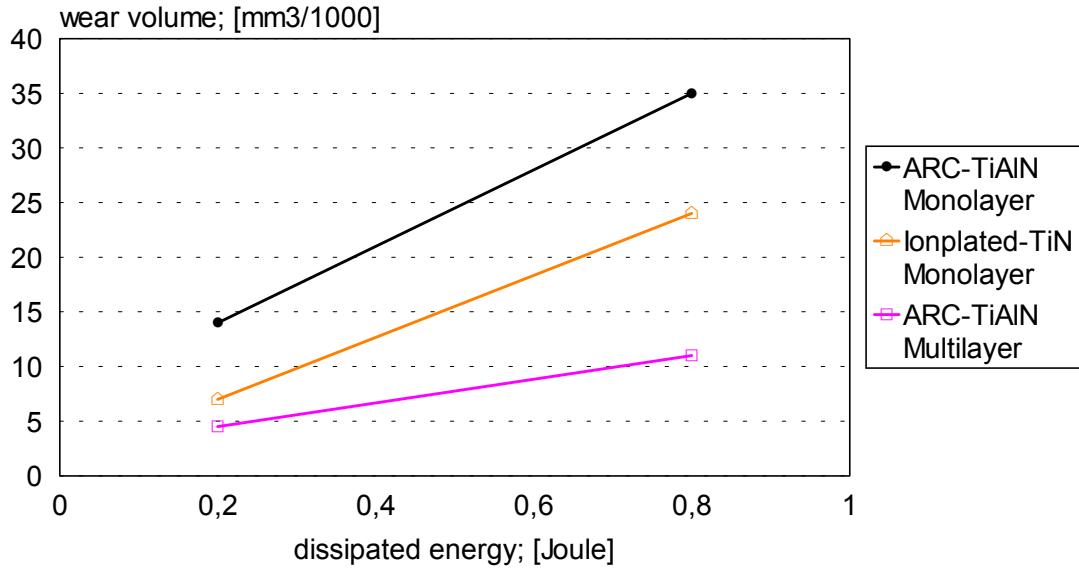
Fig.25: Coating Glide Factor for Different Coatings



HSS-drill - d=6mm - ap=6xd - GGG40 - v c=30m/min - f=0,18mm/rev

Results of abrasion tests [Fig. 26] often used by coaters should be interesting even for end users. Conventional ARC-TiAlN multilayer wears off faster, because its higher roughness causes higher friction. However, the optimized multilayer coating has even lower wear values than ion-plated TiN, because its hardness more than equals out the higher roughness.

Fig.26: Comparison of Wear Volumes at Fretting Test



Fretting test with Alumina on coated steel specimen, ASP23;
Load:1N, f=10Hz, D=100um, Humidity 50%; Source: KU Leuven, B

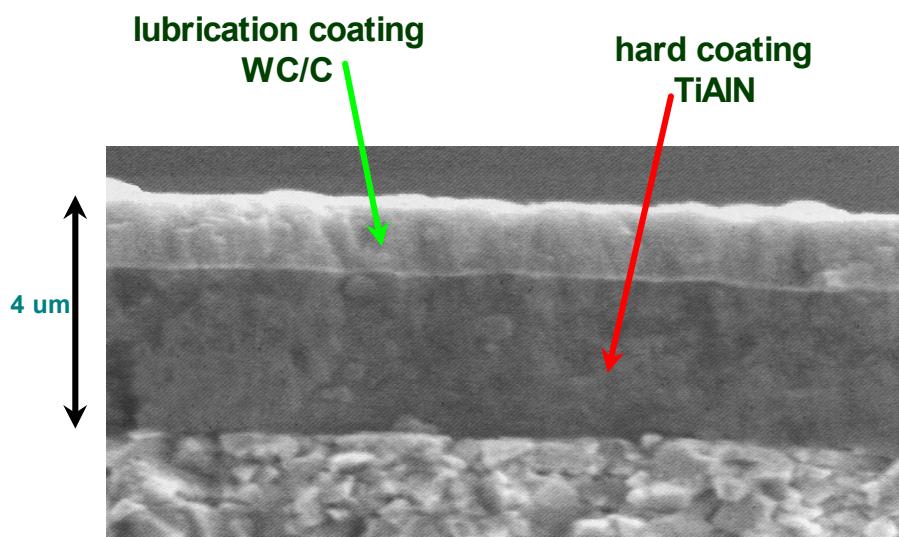
Glide coatings

Soft or glide coatings have an important goal: To reduce the friction between the cutting tool and workpiece, and thereby prevent edge buildup. However, glide coatings must be combined with hard coatings to realize their full benefit. Here, three key development directions have appeared:

- The spread of conventional diamond coatings hindered by 3 main handicaps:
 - very rough outer coating layer,
 - too large coating thickness
 - above all the maximum permissible cobalt content (approximately 6%) no tungsten carbide could be coated.

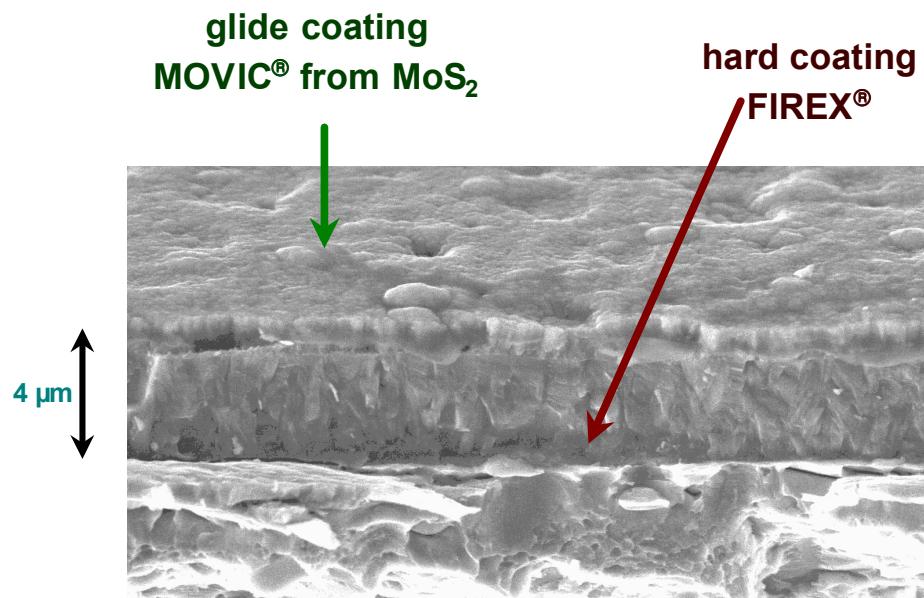
The latest ARC technology makes it possible to apply amorphous diamond-like carbon (DLC) coatings at very low temperatures. As such, any carbide, steel or even aluminum wear part can be coated. In addition to high hardness, these coatings exhibit extremely low thermal conductivity, which, for example, promises to make the dream of "gear boxes without oil" a reality.

Fig.27: Lubrication Coating with Medium Hardness



Source: Hardlube[®]Balzers, Lichtenstein

Fig.28: Double Coating; Hard + Soft



Source: Platin, Grenchen, CH

- Glide coatings of average hardness, e.g. WC/C-based glide coatings [Fig. 27], exhibit a high friction value upon entrance. While WC/C-based coatings do have a longer "rub down time" than MoS₂-based coatings, the latter's performance improves over the life of the tool due to the effect of self-polishing.
- Completely soft coatings are primarily MoS₂-based [Fig. 28]. These coatings are so effective in improving cutting tools' entrance behavior that they prevent the droplets of the hard ARC undercoat from causing chip packing [Fig. 29]. Ultimately, top performance depends on whether the chip flow polishes the droplets away before the MoS₂ coating is worn away [Fig. 30].

Fig.29: Feed Force with Using Different Coatings

Opt. Multilayer ARC-TiAlN <-> Opt. ARC-TiAlN+MoS₂

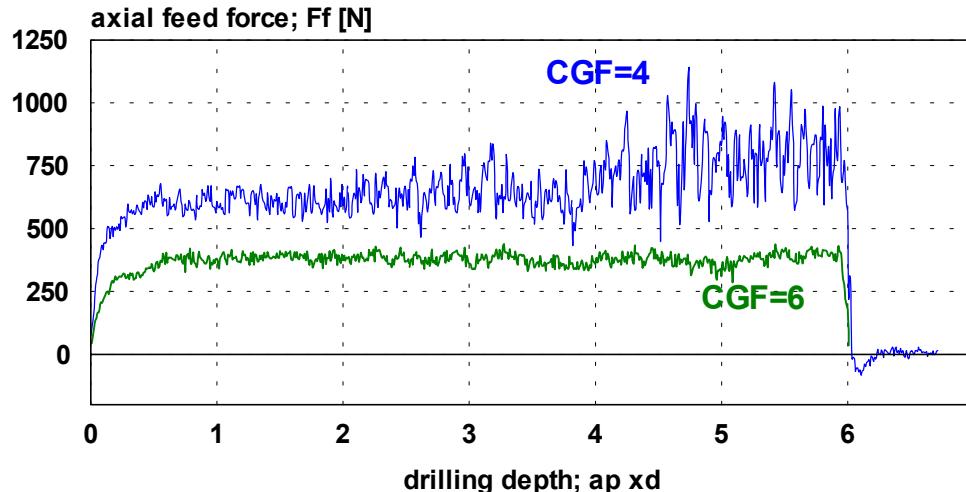
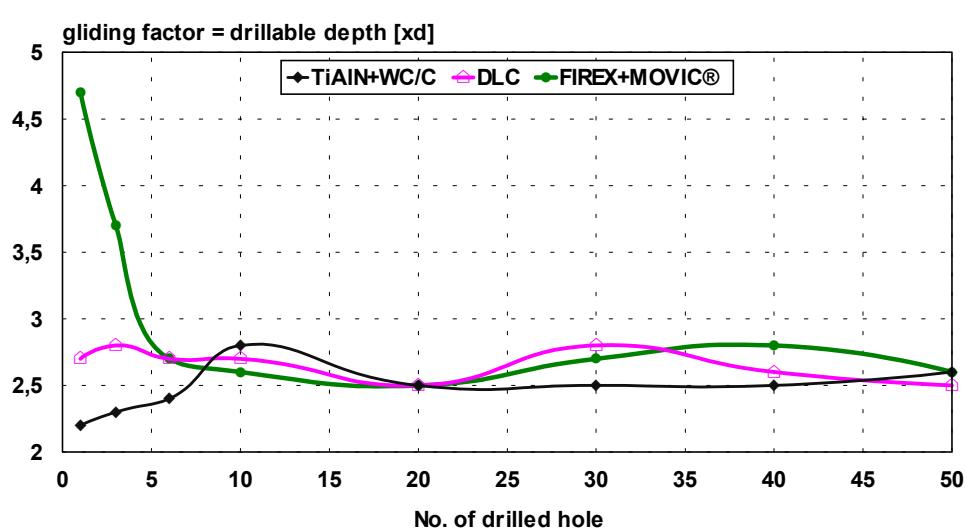


Fig.30: Comparison of Gliding Factor Changes

TiAlN+WC/C <-> Diamond Like <-> Multilayer TiAlN+MoS₂



Combined coatings, hard plus soft, are now making it possible to perform desired operations which previously could not be achieved, such as near-dry deep hole drilling [Fig. 31]. A common misperception is that minimum lubrication systems are a key competitor to glide coatings – that these systems can prevent both chip packing and corner wear and therefore a tool utilizing minimum lubrication no longer needs a glide coating. The reality is that this perception could not be further from the truth: Namely, that soft coatings are vital for optimum performance when using minimum lubrication systems. Together the special tool geometry [Fig. 32], the double coating, the minimum lubrication (beam sprakling) and the high cutting parameters [Fig. 33] make the avoidance of the built -up edges [Fig. 34] possible.

The huge potential that integrated lubricants pose for cutting and forming tools as well as components (e.g. bearings, pumps, motors, cog-wheels [Fig. 35] promises a very bright future [Fig. 36] for glide coatings [Fig. 37].

Fig.31: Gun Drilling with Internal Beam Sparkling and Double Coating

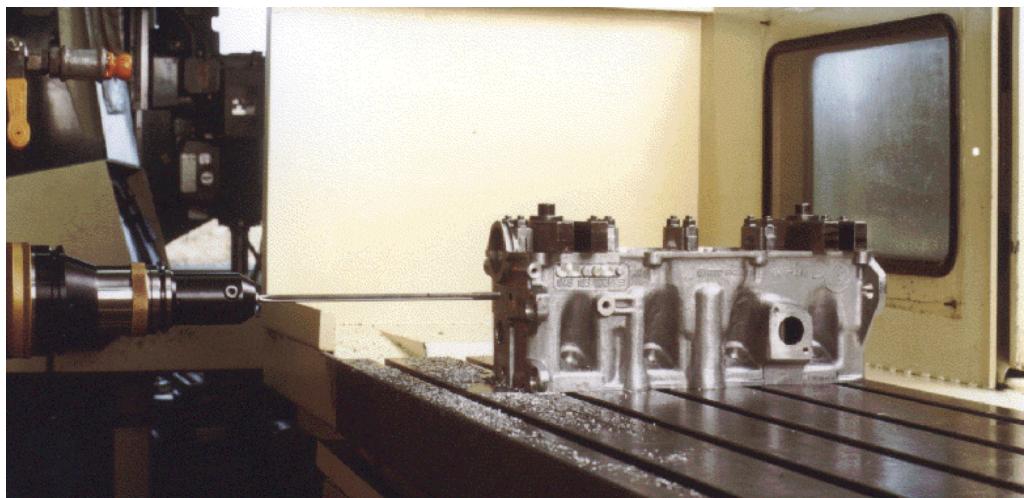


Fig.32: Special Gun Drill Geometry for Internal Beam Sparkling

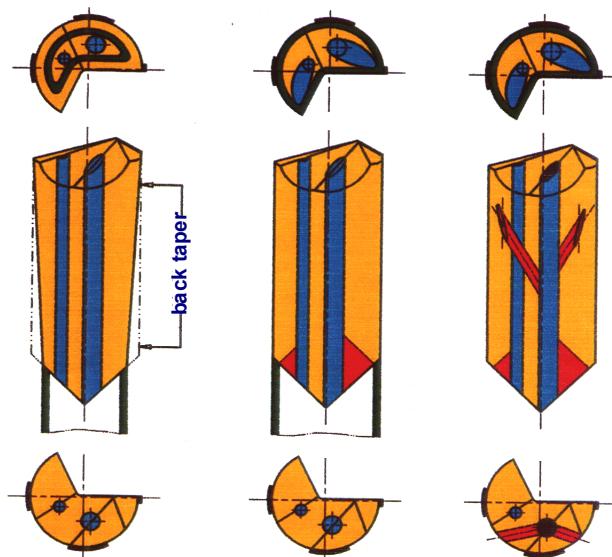


Fig.33: Gun Drilling in Cylinder Head with Minimum Lubrication

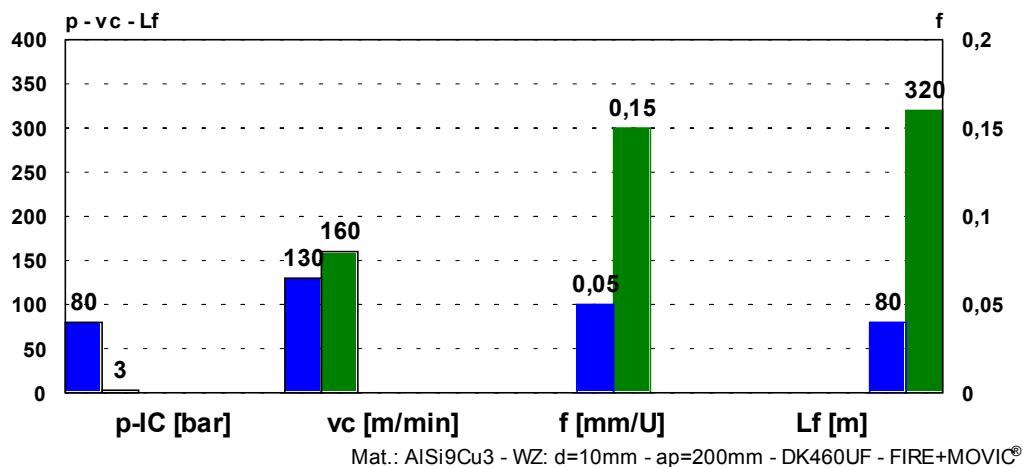


Fig.34: Built Up Edge on Gun Drills with Different Feed

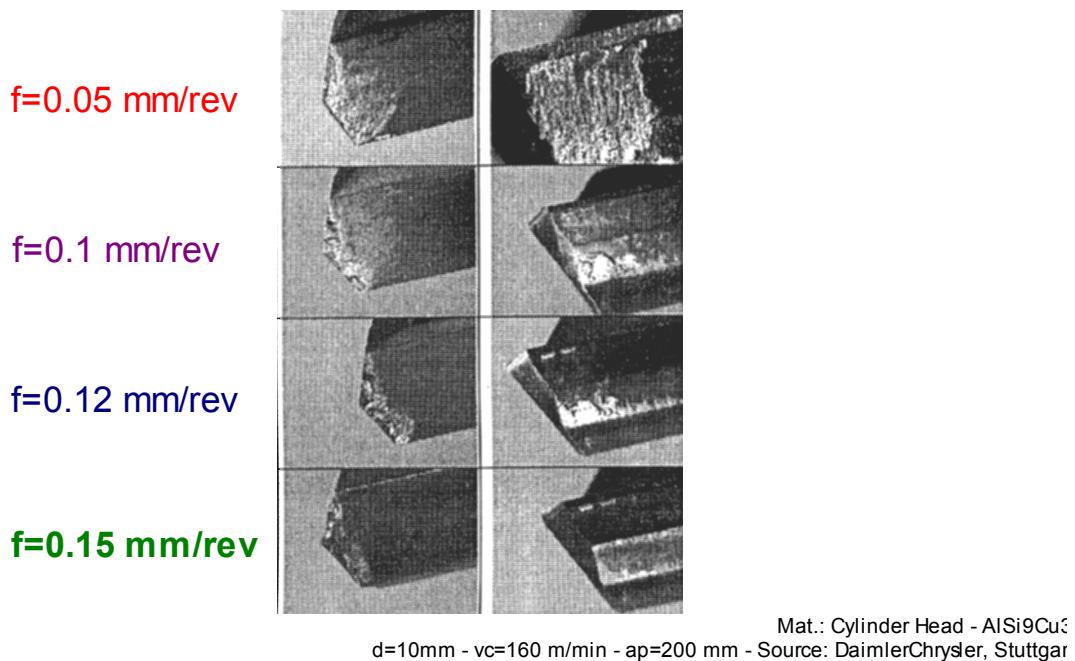


Fig.35: Applications of Lubrication Coatings

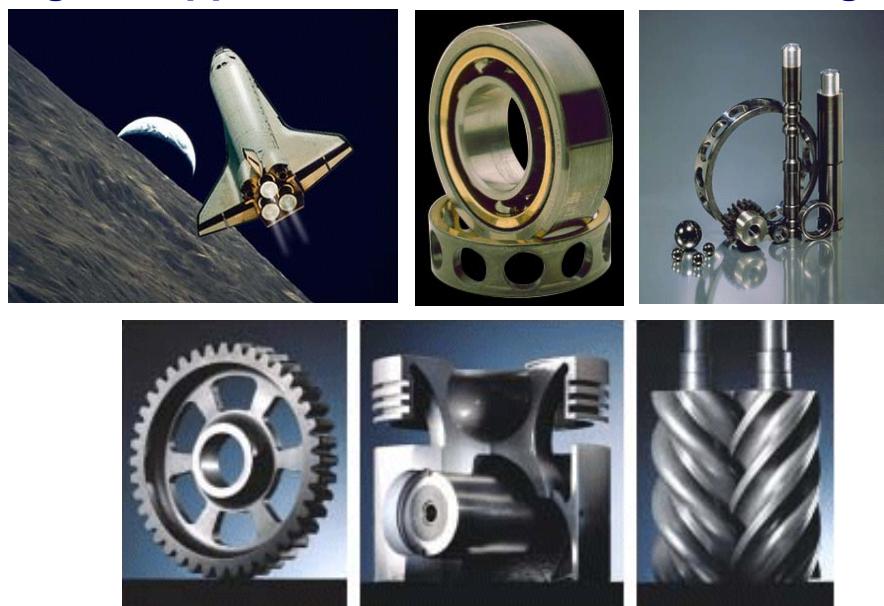
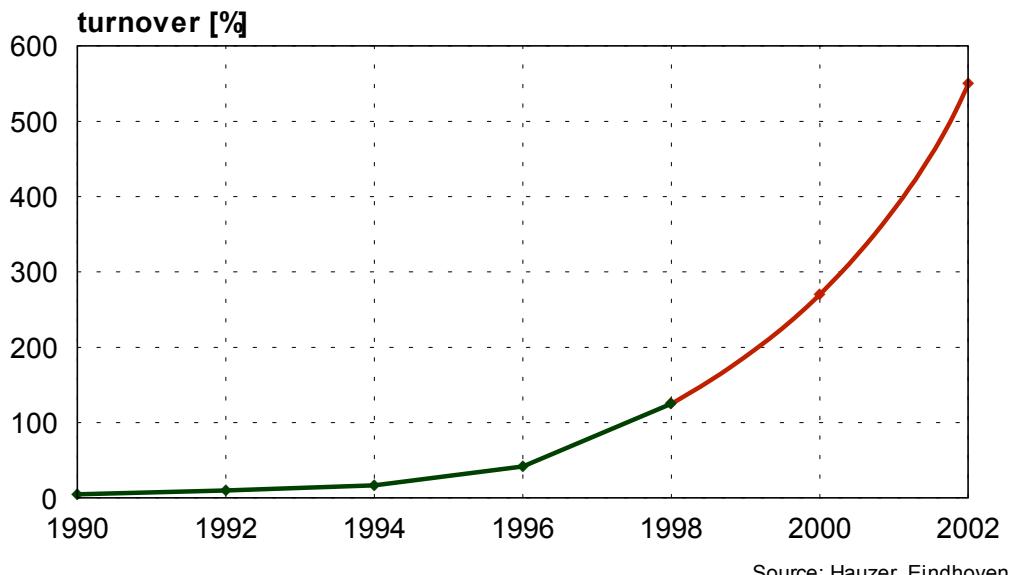


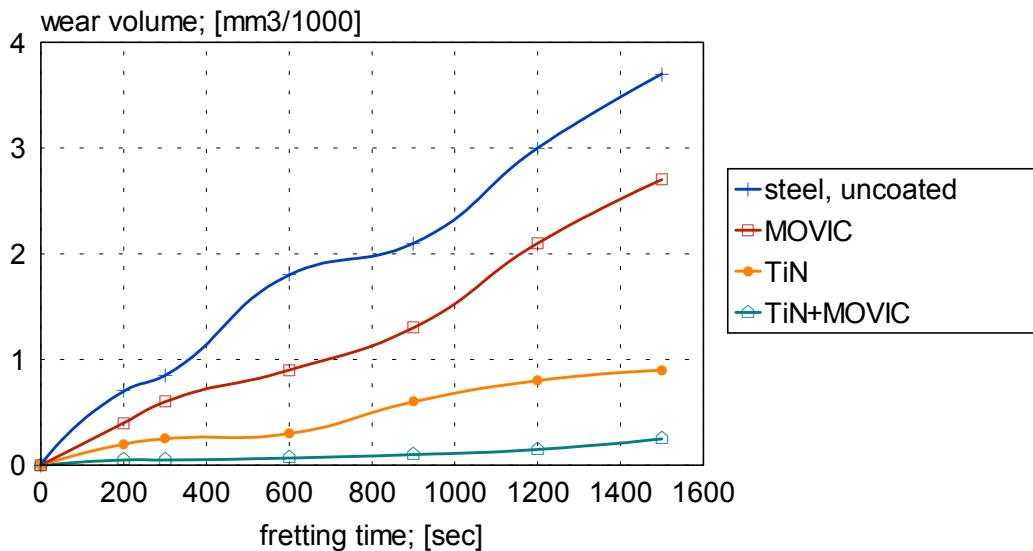
Fig.36: Turnover and Forecast for Lubrication Coatings



Source: Hauzer, Eindhoven, NL

The examples above show that glide coatings are very useful in combination with hard coatings. A glide coating alone would be worn off very quickly [Fig. 37]. A hard coating as the base provides the necessary wear durability, while the soft coating reduces friction. In effect, the double coating minimizes tool wear.

Fig.37: Comparison of Wear Volumes at Fretting Test



Fretting test with Alumina on coated steel specimen, ASP23; Load:1N, f=10Hz, D=100um, Humidity 50%; Source: KU Leuven, B

Lotus Coating

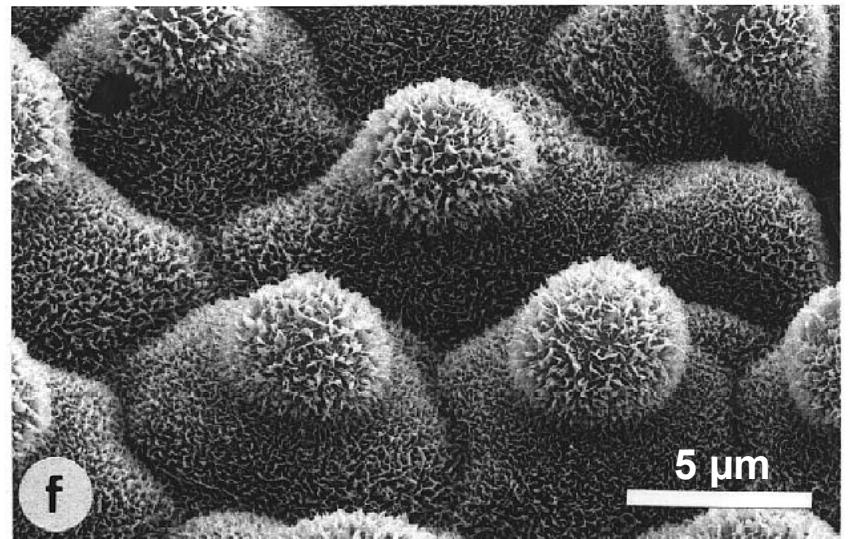
Whenever a new glide coating was developed, it was always tried to make it as smooth as possible. However the latest biological research showed us that in the nature the opposite proves to be more effective. Like with the self-cleaning Lotus flower [Fig. 38] the surface must be rough with small, but stable droplets [Fig. 39] On a smooth, flat surface a water ball moves the dust (the chips) just a short distance further [Fig. 40 left]. The adhesion of the chips on a rough surface with droplets is lower than on the water [Fig. 40 right]. Therefore, even a small amount of water is able to take the chips away [Fig. 40 bottom]. The droplets could, in fact, be very useful, if they are rigid parts of the ground coating. Unfortunately, the ARC-droplets are metallic and so softer than the ceramic coating. So the hinder the chip evacuation because the chips move them from the surface of the tools. Therefore, the Lotus coating must be developed in a different way.

Fig.38: Self-Cleaning Lotus Flower



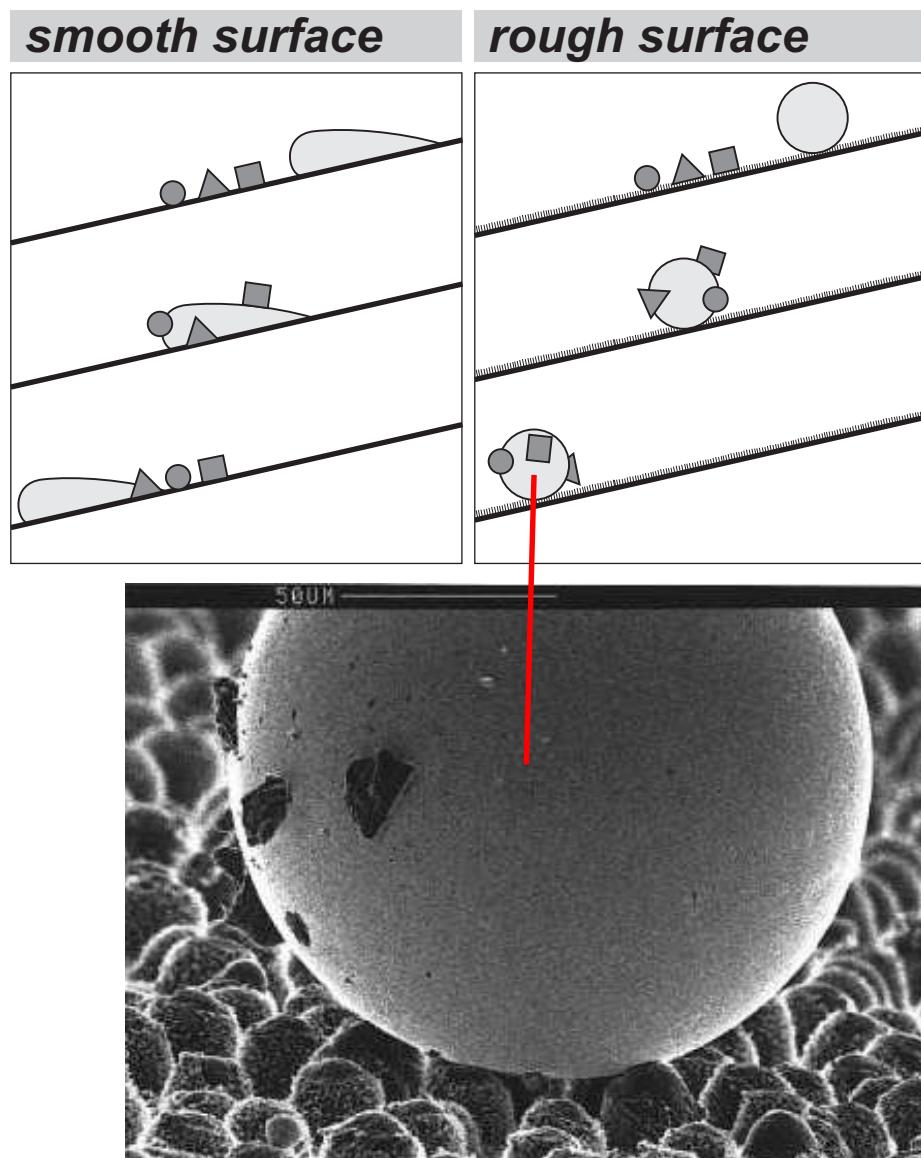
Source: University of Bonn

Fig.39: Surface of the Lotus Flower



Source: University of Bonn

Fig. 40: Water Drop Cleaning Smooth / Rough (Lotus) surface



Ion implantation

Another highly promising coating technology is plasma-ion implantation, or PII. Involving the "shooting" of metal ions into the substrate to buttress its lattice structure, this process promises to increase tool hardness without altering the tool's geometry or mass, which could prove especially valuable for both medical and micro-precision tooling applications.

Further development of key aspects of PII technology could also foster the creation of a hybrid coating process: Utilizing ion implantation to grow the "roots" of a hard wear-resistant coating directly in the substrate, thereby achieving optimal adhesion.

Outlook

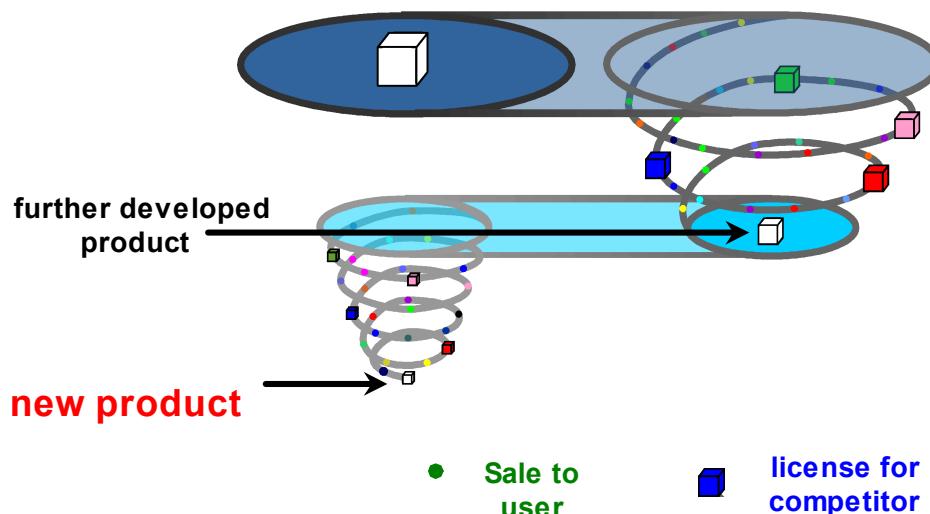
The prognosis points to enormous growth for all branches of the coating field [Fig. 2].

Corresponding to these chances big coating centers grow like mushrooms out of the ground. In time, the market for cutting tools alone will not be able to support all of them. Therefore, they will have to enter the wear part coating market, which demands considerably lower price levels. By contrast, opportunities abound for small coating service companies, given pre-existing sales support from reground service companies.

The final question is: How will these new (and certainly patented) coatings be introduced to the market? The options generally fall into one of two categories, or a combination of the two:

- Going it alone. From the outset, this is extremely difficult, given end-users general aversion to purchasing from a monopolistic supplier. However, going it alone can succeed, but only if the coating is extremely good and unique, with short turnaround times and very strong, on-site technical support. Otherwise, the coating will be copied (or imitated) in spite of the patent, and the market will disappear. Legal action is an option, but by the time legal recourse is secured the product is often no longer new and has been overtaken by newer technologies.
- Licensing. Longer-term in both its perspective and execution, this approach enlists the support of competitors to both develop and grow the market. It employs what Microsoft's Bill Gates has termed the "distribution spiral" [Fig. 41]. The manufacturer introduces its new, patented product to the market. Shortly thereafter, the product and accompanying technology is offered to competitors in exchange for licensing fees. With more suppliers involved and each treating the product as their own, market awareness, support, demand and sales grow. Eventually, competitive products are introduced, narrowing the market. At that time, the original manufacturer introduces a new, superior product. Benefiting from the name recognition earned by the proceeding product, the new product enjoys a much larger initial market base. The product is again licensed to competitors and a larger distribution spiral is created.

Fig.41: Distribution Spiral



Expert readers will be able to adapt and blend these two models to arrive at the course of action most appropriate for their product. Methods will vary with company size, product, market conditions and other key factors. However, in today's global economy, more and more companies are finding it difficult to succeed by going it alone. A growing consensus confirms that the latter course, which once set in motion is nearly autonomous, is proving to be the wiser path to follow.

References

- [1] Cselle,T., Barimani, A.: Today's Applications and Future Development of Coatings
Surface&Coatings Technology/76-77, San Diego, p.712-728
- [2] Jungblut,F., Brändle,H., Klotz,A., Schulz,H.: Futura - Multilayered TiAIN
Annals of the Society of Vacuum Coaters, San Diego, 1997, p.93-98
- [3] F-Werkzeuge mit FIRE-Schicht, *Bohrmeister*, Gühring KG, Albstadt, 43/97, S.1-15
- [4] Schwenck, M. (Projektleiter): APTODRY, Brite-Euram-Projekt, 1997-1999
- [5] Barnett, S., Madan, A.: Superhard Superlattices, *Physics World*, 1/98, p.45-48
- [6] Münz, W-D., Smith, I.J.: TiAIN Based Tailored Coatings,
Annals of the Society of Vacuum Coaters, San Diego, 1997, p.89-92
- [7] Leyendecker, T. u.a.: Beschichtungen für die Trockenzerspanung,
Spanende Fertigung, Vulkan Verlag, Essen, 1997, S.221-230
- [8] Cselle,T., Schwenck, M., Hampel, U.: Gleitfaktor für beschichtete Werkzeuge
Stahl, Springer Verlag, Freiberg, Nr.6, 12/98, S. 49-51
- [9] Dimigen, H. u.a.: Die künftige Rolle der Oberflächentechnik in der Zerspanung
VDI Berichte, Nr.1399, Düsseldorf, 1998, S.199-214
- [10] Linke, H. (Projektleiter):Getriebe ohne Öle, Stiftung Umwelt-TU Dresden, '98
- [11] Hardlube, Produkt-Präsentation, Balzers AG, Stuttgart, Sep/98
- [12] Rechberger, J. Curtins, H.: Hard-Soft: A New Age of Industrial Coatings
Annals of the Society of Vacuum Coaters, San Diego, 1997, p.99-105
- [13] Cselle,T. (Projektleiter): EUCOTOLLING, Brite-Euram-Projekt, 1997-2001
- [14] Barthlott, W., Neinhuis, C.: Purity of the Sacred Lotus or Escape from Contamination in Biological Surfaces, *Planta* 202; 1-8, University of Bonn, 1998
- [15] Celis, J.P. (Projektleiter): PIII, EU-Forschungsprojekt, Brite-Euram, 1997-2001
- [16] Cselle,T.: Are You Ready for Y2K Tooling?
American Machinist, Penton Pub, Cleveland, 4/99, p.66-71

All pictures without source identification: Gühring oHG, Sigmaringen, D

Mono- oder Multilayer, das ist hier die Frage!

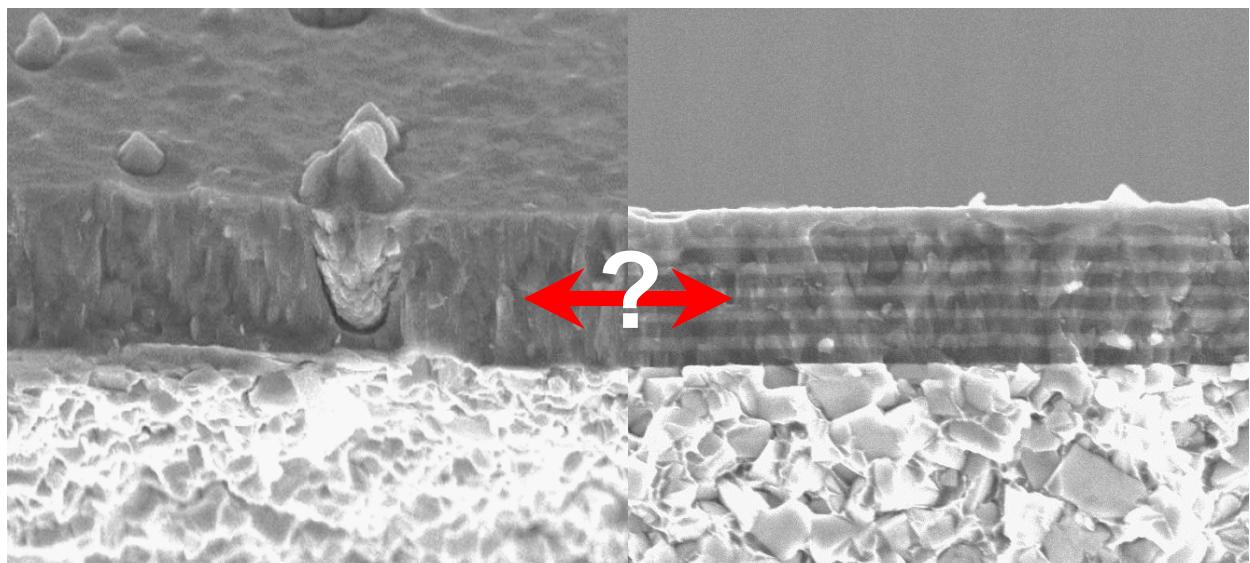
Beschichtungen für rotierende Werkzeuge um 2000

T.Cselle, Gühring oHG, F&E, Sigmaringen, 15.2.99
eMail: cselle@netlane.com

Inhalt

Die Hochkonjunktur der Werkzeugindustrie schwächt sich angeblich im nächsten Jahr ab. Nicht so der Beschichtungstechnik. Es werden immer mehr Bau- und Verschleissteile und auch Werkzeuge beschichtet. Bei den letzteren erweitert sich der Markt in erster Linie in die Richtung nachgeschliffener Werkzeuge. Der Artikel behandelt wichtige anwendungstechnische Entwicklungsrichtungen und Fragen der Schichten für rotationssymmetrische Werkzeuge:

- Lösen Mono- und Multilayer-TiAlN-Schichten die alte, aber marktführende TiN ab?
- Welche Probleme bereiten Droplets?
- Wie kann man die verschiedenen Schmierschichten für Werkzeuge vergleichen?
- Wofür kann Ionenimplantation eingesetzt werden? Und vor allem;
- Welche Tendenzen beherrschen den Beschichtungsmarkt für Werkzeuge?



Einführung

Wenn man sich die typische Umsatzentwicklung einer Beschichtungsfirma (**Bild 1**) anschaut, wird es sofort klar verständlich, warum sich so zahlreiche Investoren für Beschichtungstechniken interessieren.

Am Umsatzpotential mangelt es wahrlich nicht, da momentan nicht mal jedes zweite Werkzeug beschichtet wird (**Bild 2**).

Diese Zahl ist nur deswegen so „hoch“, da die Wendeschneidplatten fast ausnahmslos beschichtet zum Einsatz kommen. Aus allen rotationssymmetrischen Vollwerkzeugen wird nur jedes 7-8. beschichtet. Wenn man die 5- bis 10-fache Nachbeschichtungsmöglichkeit der nachgeschliffenen Vollwerkzeuge dazuzählt, ergibt sich ein weiterer vielversprechender Markt für die Beschichtungstechnik.

Für rotationssymmetrische Werkzeuge nur PVD

Die CVD-Technik (Chemical Vapour Deposition) ist kostengünstig, bietet eine exzellente Schichthaftung, aber für rotationssymmetrische Werkzeuge kommt sie praktisch nicht in Frage. Diese Werkzeuge müssen zäh und scharf sein. Die hohe Temperatur der CVD (>1100 °C) mindert die Zähigkeit des Hartmetalls und die verhältnismäßig dicke CVD-Schichten machen die Schneiden stumpf. Sogar die bei den niedrigeren Temperaturen (600-800 °C) durchgeführten MTCVD-Beschichtungen führen oft zu einer „zu guten“ Schichthaftung und zu sofortigen Ausbrüchen der Werkzeugschneiden (**Bild 3**).

So beherrscht die PVD-Technik (Physical Vapour Deposition) die Beschichtungsszene der rotationssymmetrischen Werkzeuge [1]. Die Beschichtung bei den Temperaturen zwischen 80 und 500°C ermöglichen sogar die Beschichtung von Stahlwerkzeugen. Die Schichtdicken zwischen 0 (kein Irrtum, siehe Ionenimplantation) und 5 µm lassen die Schneiden praktisch scharf.

Lösen die Multi- und Nanolayer-Schichten die gute alte TiN ab?

Die TiN-Schicht ist, trotz der „Verluste“ der letzten 3 Jahre gegenüber der TiAlN, der mehr als eindeutige Marktführer auf dem Gebiet der Werkzeugbeschichtungen (**Bild 4**).

Die TiCN-Schicht ist in erster Linie wegen der schlechten Nachbeschichtbarkeit eindeutig auf dem Rückmarsch.

Die neuesten Schichtentwicklungen versuchen die Vorteile dieser 3 wichtigsten Werkzeugbeschichtungen (TiN + TiCN + TiAlN) in sich zu vereinigen (**Bild 5**):

- Die Multilayer-Schichten bauen sich mit einer TiN-Grundschicht auf, damit eine optimale Haftung gewährleistet wird. Bezuglich Beschichtungsproduktivität ist es auch sehr vorteilhaft, da sich das Ionenätzen und das eigentliche Beschichten dadurch z.T. überlappen können.
- Die auf diese TiN-Grundschicht abgeschiedene Multilayer-Struktur aus TiAlN und TiN hat (wie die konventionelle Multilayer-TiCN-Schicht) als wichtigste Aufgabe die Absorption der Risse. Sie entstehen üblicherweise durch einen unterbrochenen Schnitt. Das Ablenken dieser Risse funktioniert desto besser, je schärfer die Übergänge in der Multilayer-Struktur zwischen den Subschichten sind (**Bild 6**). Gradienten (oder Monolayer ähnliche) Schichten sind zwar weniger spannungsgeladen und einfacher abzuscheiden, aber sie leiten die Risse zum Substrat direkt weiter.
- Die Deckschicht der Multilayer-Struktur ist heute fast ausnahmslos TiAlN. Dies wird oft als Hitzeschild bezeichnet, da TiAlN die schlechteste Wärmeleitfähigkeit aufweist.

Anderseits wäre das bei der Oxidation der TiN-Deckschicht entstehende Oxid viel spröder als das Korund als Oxid der TiAlN-Deckschicht.

- Bei rotationssymmetrischen Werkzeugen werden heute immer stärker Feinstkornhartmetalle mit viel Kobalt (10-13 %) verwendet. Die hohe Zerspanungswärme führt bei diesen Hartmetallen schnell zu Kobaltauwaschungen, d.h. das Kobalt diffundiert bei unbeschichteten Werkzeugen relativ schnell in den Stahl (**Bild 7 links**). So wird die schlechte Wärmeleitfähigkeit der TiAlN-Schicht noch wichtiger. Mit ihrer Hilfe können diese chemischen Reaktionen zwischen dem Werkstück und Werkzeug vermieden werden (**Bild 7 rechts**).

Die so aufgebaute Multilayer-Schichten ([2], [3], [4]) ermöglichen gegenüber der herkömmlichen TiN-Schicht enorme Produktivitätserhöhungen (**Bild 8**). Sie sind wesentlich wichtiger als jegliche Standzeiterhöhung.

Die Herstellung von Nanolayers (**Bild 9**) kann die Härte und damit die Verschleißfestigkeit der Werkzeuge weiter steigern (**Bild 10**, [5], [6]). Dies ergibt eine zukünftige Möglichkeit auf die gelöteten CBN/PKD-Werkzeuge zu verzichten! Nanolayers sind schon heute abscheidbar, wenn man die elektronische Zündungssteuerung und die mechanische Drehung der zu beschichtenden Werkzeuge genau synchronisieren kann. Praktisch durchführbar ist es nur bei einer grossen Anzahl von Werkzeugen gleicher Geometrie. Für den Lohnbeschichter, der seine Anlage mit verschiedenen Objekten füllen muss, besteht dafür keine Chance. Viel wichtiger ist es für ihn, die Multilayer-Schichten entschichten zu können. Da die Multilayer-Schichten nur sehr begrenzt nachbeschichtet werden können, entscheidet morgen dieses Entschichtungs-Know-How über die wahre Leistungsfähigkeit des Lohnbeschichters. Da viele Lohnbeschichter dieses Entschichtungs-Know-How nicht beherrschen, wird die einfach nachbeschichtbare TiN-Schicht noch lange im Geschäft bleiben.

Mono- oder Multilayer-TiAlN?

Die Probleme der Nachbeschichtbarkeit der Multilayer-Schichten führten wieder zu der Frage: Wäre ein Monolayer-TiAlN für die Praxis doch nicht besser? So erschienen die Quasimonolayer-TiAlN-Schichten auf dem Markt. Sie werden mit einer TiN-Grundschicht abgeschieden, um den Ätzprozess zu beschleunigen und um eine bessere Schichthafung zu erzielen. Hier seien die wichtigsten Merkmale der Multi- und Quasimonolayer-TiAlN-Schichten tabellarisch verglichen:

Merkmal	Monolayer	Multilayer
Beschichtungszeit	1	1,4
Rissabsorption	Keine	Ja
Standzeit	1	~1,3
Nachbeschichtbarkeit	~3x ohne Entschichtung	Nur nach Entschichtung

Die Frage; Mono- oder Multilayer ist also noch nicht eindeutig zu beantworten. Da die kostengünstigere Produktion und die einfache Nachbeschichtbarkeit für die Praxis enorm wichtig sind, wird der Multilayer einen immer schwierigeren Stand haben.

Droplets

Die Mono- und Multilayer-TiAlN-Schichten werden heute immer mehr mit Hilfe der früher „verdammten“ ARC-Technologie abgeschieden. Die Leistungsfähigkeit dieses Verfahrens war nie eine Frage. Doch die Probleme der durch die ARC-Technologie zwangsläufig entstehenden Droplets (**Bild 11**) bestehen heute noch. Die Droplets behindern den Spanfluss (**Bild 12**), und machen z.B. die Herstellung tieferer Bohrungen unmöglich. Zur quantitativen Bewertung der Auswirkung der Droplets kann der Schicht-Gleitfaktor [7] herangezogen werden. Er beschreibt die Güte der Vermeidung der Droplets durch die zuverlässig bohrbare Tiefe, mit Hilfe der speziellen Auswertung der während des Zerspanungsvorganges gemessenen Vorschubkraft (**Bild 13**). Ein optimiertes Ätzen und die durch die Multilayer-Struktur kleineren Droplets ermöglichen für die mit ARC-Verfahren abgeschiedene Schicht ein wesentlich besseres Gleitverhalten. Interessant ist dabei die Erhöhung des Gleitfaktors durch Selbstpoliereffekte (**Bild 14**).

Schmierschichten

Schmierschichten haben als wichtigstes Ziel: die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück zu vermindern, sowie die Aufbauschneide zu verhindern.
Bei den Schmierschichten, die in Verbindung mit Hartschichten ihre volle Wirkung ausüben können, sind drei Entwicklungsrichtungen zu sehen:

- Die rauhe Oberfläche, die zu grosse Schichtdicke und vor allem der maximal zulässige Co-Gehalt (~6%) des zu beschichtenden Hartmetalls verhinderten die Verbreitung der Diamant-Schichten. Neuartige ARC-Technologien ermöglichen die Abscheidung von amorphen DLC-Schichten bei sehr niedrigen Temperaturen. Dadurch können beliebige Hartmetalle, Stähle oder sogar Bauteile aus Aluminium beschichtet werden [8]. Neben der hohen Härte weisen diese Schichten extrem niedrige Reibkoeffizienten auf, was z.B. den Traum „Getriebe ohne Öl“ verwirklichen könnte [9].
- Die Schmierschichten mittlerer Härte z.B. auf WC/C-Basis (**Bild 15** [10]) weisen beim Einlaufen höhere Reibwerte auf (**Bild 18**). Sie haben aber eine höhere Abreißfestigkeit als die MoS₂-Schichten. Dies kann nur dann wichtig sein, wenn sich die niedrigen Reibwerte in der späteren Phase der Werkzeugstandzeit durch Selbstpoliereffekte nicht ergeben würden [7].
- Die ganz weichen Schichten sind in erster Linie auf MoS₂-Basis verfügbar (**Bild 16**). Sie begünstigen das Einlaufverhalten der Werkzeuge so wirkungsvoll, daß sogar die Droplets der harten ARC-Grundschicht keinen Spänestau verursachen können (**Bild 17**) [11], [12]. Die Frage ist bloß, ob die Späne die Droplets wegpolieren, bevor das MoS₂ abgerieben wird (**Bild 18**).

Die Integration der Schmierung in die Zerspan- und Umformwerkzeuge sowie in Bauteile (z.B. Lager, Pumpen, Motoren, Zahnräder usw.) ist so vielversprechend, daß den Schmierschichten eine enorm rosige Zukunft prophezeit wird (**Bild 19**).

Die Doppelbeschichtung, hart plus weich, ermöglicht schon heute vorher für nicht möglich gehaltene Bearbeitungen, wie z.B. das quasitrockene Tieflochbohren (**Bild 20 + 21**).

Ionenimplantation

Eine weitere, sehr vielversprechende Beschichtungstechnologie ist die Plasma-Ionen-Implantation (PII, [13]). Die Idee, durch „Einschießen“ von metallischen Ionen die Gitterstruktur zu verspannen, verspricht die Erhöhung der Härte ohne Veränderung der Maße des Werkzeuges. Dies kann für Feinstzerspanungs-Werkzeuge besonders wichtig werden.

Die teilweise Anwendung der PII-Technologie könnte auch eine Hybrid-Beschichtung ermöglichen: Die Ionen-Implantation lässt zunächst „Wurzeln“ für eine konventionelle Deckschicht ins Substrat „wachsen“, wodurch eine optimale Haftung erreicht wird.

Ausblick

Die Prognosen sagen, wie schon erwähnt, einen enormen Zuwachs der ganzen Beschichtungsbranche voraus (**Bild 2**). Dementsprechend schiessen die grossen Beschichtungszentren, wie Pilze aus dem Boden. Ausschliesslich von Werkzeugbeschichtungen werden sie nicht leben können. Deswegen werden sie in das Bauteilgeschäft einsteigen, was aber ein wesentlich niedrigeres Preisniveau erfordert. Im Gegensatz dazu ist das Feld der kleinen Beschichtungsanlagen, die bei den Nachschleifern wirtschaftlich einsetzbar wären, noch völlig offen.

Die abschließende Frage ist, wie werden diese neuen (sicherlich patentierten) Schichten vermarktet [14]? Ohne die Mittelwege zu detaillierten, seien hier die zwei Extremwege aufgezeichnet.

- Die Vermarktung im Alleingang ist enorm schwierig, da grundsätzlich kein Einkäufer gerne von einem Monopolisten kauft. Der Weg, das Patent allein mit Erfolg zu vermarkten, hat nur dann eine Chance, wenn man eine extrem gute Schicht, mit kurzen Lieferzeiten und mit einem extrem starken, technischen Vorortservice anbietet. Ansonsten wird die Schicht trotz Patente kopiert (oder nahezu kopiert) und der Markt schwindet. Gerichtliche Schritte sind höchstens nach langer Zeit wirksam, wonach das Produkt öfters gar nicht mehr aktuell ist.
- Der andere Weg ist länger und wesentlich kurvenreicher (**Bild 22**). Er ist die weiterentwickelte Vermarktungsspirale von Bill Gates [14]. Zunächst steht die Schicht als (wacklige) Ausgangsbasis da. Sie wird Kunden, und kurz darauf (unter der Voraussetzung von Lizenzzahlungen) Konkurrenten angeboten. So wird der Anwendungskreis größer, die Spirale breiter. Wenn die ausgeschlossene Konkurrenz versucht, mit Kopien oder mit angeblich besseren Schichten auf den Markt zu kommen, muss man das weiterentwickelte Produkt vorstellen. Mit Hilfe des eingeführten Namens soll es die neue breite Basis zur weiteren Verbreitung der Spirale schaffen (**Bild 22**, rechter Teil).

Die Fachleserschaft kann sicherlich selber die entsprechenden Beispiele zu diesen Vermarktungsmöglichkeiten zufügen. Welcher (Mittel-) Weg, für welches Unternehmen der richtige ist, muss das Management in Abhängigkeit der Unternehmensgröße, des Produktes und zahlreicher anderen Bedingungen entscheiden. In der Zeit der Globalisierung ist der Autor der Meinung, dass nur sehr sehr wenige Unternehmen den ersten Weg mit der Chance auf Erfolg bestreiten können. Der zweite Ansatz ist der Weg der verteilten Intelligenz. Dadurch, dass die einzelnen Verbraucher als Partner die Schicht als eigene betrachten und pflegen, wird es immer besser. Vor allem; das neurale Netz der verteilten Intelligenz lebt und organisiert sich logistisch (fast) selbst.

Referenzen

- [1] Cselle,T., Barimani,A.,.: Today's applications and future development of coatings for rotating tools, ICMCTF, San Diego, CA, 1995
- [2] Jungblut,F., Brandle,H., Klotz,A., Schulz,H.: Futura - Multilayered TiAlN ICMCTF'97, San Diego, CA, 1997
- [3] F-Werkzeuge mit FIRE-Schicht, Bohrmeister, Nr.43, Gühring KG, Albstadt, 1997
- [4] Schwenck, M. (Projektleiter): APTODRY, Brite-Euram-Projekt, 1997-1999
- [5] Barnett, S., Madan, A.: Superhard Superlattices, Physics World, Jan 1998
- [6] Münz, W-D., Smith, I.J.: TiAlN Based PVD Coatings Tailored for Dry Cutting ICMCTF, San Diego, 1997
- [7] Cselle,T., Schwenck, M., Hampel, U.: Gleitfaktor für beschichtete Werkzeuge Stahl, Springer Verlag, Freiberg, Nr.6, 12/98
- [8] Dimigen, H. u.a.: Die künftige Rolle der Oberflächentechnik in der Zerspanung VDI Berichte, 1399, Düsseldorf, 1998
- [9] Linke, H. (Projektleiter): Getriebe ohne Öle
Forschungsbericht, Bundesstiftung Umwelt – TU Dresden, 1998
- [10] Brändle, H., Jungblut, M.: Hardlube, Balzers AG, Stuttgart, Sept 98
- [11] Rechberger, J. Curtins, H.: Hard-Soft: A New Age of Industrial Coatings ICMCTF, San Diego, 1997
- [12] Cselle,T. (Projektleiter): Eucooling, Brite-Euram-Projekt, 1997-2001
- [13] Celis, J.P. (Projektleiter): PIII, EU-Forschungsprojekt, Brite-Euram, 1997-2001
- [14] Cselle, T.: Know Important from Urgent, American Machinist, 4/99