

Anno 12 n° 44

L'AMANTE

APPLICAZIONI & TECNOLOGIA

Publicazione trimestrale - Marzo 2006 - Spedizione in A.P. 45% - Art. 2 - comma 20/b Legge 662/96 - Filiale di Milano



中 南
ZHONGNAN

NANYANG ZHONGNAN
DIAMOND CO. LTD.

Un metodo standard per classificare gli utensili diamantati impiegati nel campo della costruzione

P.M. Amaral, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Materiais, Lisboa, Portugallo
D. Pozo, POMDI, Herramientas de Diamante S.A., Spagna

S. Pinto, FrontWave, Serviços de Engenharia Lda., Lisboa, Portugallo

J. Cruz Fernandes, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Materiais, Lisboa, Portugallo

L. Guerra Rosa, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Materiais, Lisboa, Portugallo

1. Introduzione

I nuovi prodotti diamantati non vengono sottoposti spesso a prove standard di caratterizzazione prima di essere impiegati in un'ampia gamma di mercati; ciò riguarda particolarmente quelli utilizzati nel campo della costruzione. Per affrontare il problema un test standardizzato, sviluppato da alcuni degli autori presso l'Istituto Superior Técnico (IST) in Portogallo, è stato utilizzato come base per proporre un metodo di classificazione standard degli utensili diamantati per il taglio di un'estesa varietà di materiali (principalmente con applicazione nella costruzione). In generale, il metodo riguarda i parametri chiave che consentono una caratterizzazione completa della prestazione dell'utensile (durata, consumo energetico reale, forze di taglio ecc.) quando è sottoposto a determinate condizioni di taglio (velocità di taglio e di avanzamento, flusso d'acqua ecc.). Inoltre, sono trattati altri parametri affinché gli utilizzatori siano aiutati ad ottimizzare la scelta dell'utensile, delle condizioni di lavorazione ecc. Questi parametri consistono nell'analisi qualitativa di alcuni effetti del taglio (crepe generate nei materiali lavorati, ruvidità superficiale e altri qui descritti). Gli autori, inoltre, presentano un caso pratico, in cui il metodo è stato

A standard test method to characterise diamond tools used in the construction field

P. M. Amaral, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Materiais, Lisboa, Portugal
D. Pozo, POMDI, Herramientas de Diamante S.A., Spain

S. Pinto, FrontWave, Serviços de Engenharia Lda., Lisboa, Portugal

J. Cruz Fernandes, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Materiais, Lisboa, Portugal

L. Guerra Rosa, Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia de Materiais, Lisboa, Portugal

1. Introduction

New diamond tool products are not often submitted to standard characterisation tests before being used in a wide range of markets, particularly the diamond tools used in the construction field. To address this problem, the classification test method developed by some of the authors at the Instituto Superior Técnico (IST) in Portugal, was used to outline a suggested test method for classifying standard diamond tools for cutting a broad variety of materials (mostly materials applied in the construction industry). In general, the standard test method addresses key parameters that will allow a complete characterisation of the tool performance (such as tool life, real energy consumption, and cutting forces) when submitted to given cutting conditions (cutting speed, in-feed rate, water flow, etc.). Additionally, the applied methodology addresses several other parameters helping users finding their best tool, working condition, etc. These parameters consist in the qualitative analysis of some cutting effects (such as generated cracks in the processed materials, surface roughness, among others described in this work).

The authors also present a case-study, which has applied the standard method presented here for classifying the cutting performance effect of different binding systems for grinding glass. The results indicate that not only the tool manufacturer (a Spanish diamond tool manufacturer) is able to optimise its own production line (by applying a far

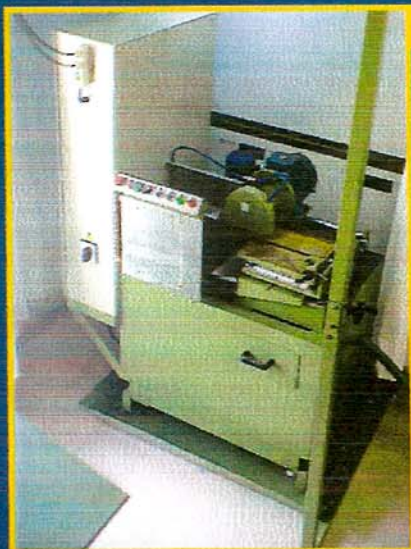
applicato nella lavorazione del vetro per classificare le prestazioni di taglio di diversi sistemi leganti. I risultati indicano che non solo il fabbricante dell'utensile (di origine spagnola) è stato in grado di ottimizzare la propria linea di produzione (applicando una migliore metodologia di selezione), ma anche che la metodologia applicata aiuta a sviluppare nuovi prodotti e/o ad accrescere la qualità del servizio alla clientela. Nell'insieme si ritiene che questo lavoro possa facilitare la ricerca di applicazioni differenti, utilizzando parametri standard per stimare e valutare ogni progetto: non solo la prestazione dell'utensile ma anche gli obiettivi gestionali.

2. Metodologia standard di classificazione

IST ha iniziato i suoi primi progetti di ricerca relativi al settore lapideo nel 1995. Questi studi preliminari (sempre portati avanti con il supporto delle aziende), hanno comportato la decisione di sviluppare un'apparecchiatura che riproducesse, il più fedelmente possibile, un'operazione di lavorazione lapidea industriale.

rotazione dell'utensile, come pure il flusso di refrigerante, vengono tenuti costanti durante le prove e i loro valori vengono controllati per ogni ciclo di test. Così la metodologia delle prove consiste nelle seguenti fasi:

1. Misurazione della massa iniziale del campione (m_o). Questo valore viene inserito nel software.
2. Misurazione della massa iniziale dell'utensile ($m_{o,tool}$). Anche questo valore viene inserito nel programma.
3. Il campione viene posizionato sulla tavola e bloccato meccanicamente.
4. Nel software tutti i contatori si azzerano.
5. L'operatore avvia il test dal pannello di controllo.
6. Dopo la conclusione della prova, l'indicazione nel contatore energetico viene esposta nella finestra del software.
7. Misurazione della massa finale del campione (m_f). Questo valore viene inserito nel programma.
8. Occorre condurre diverse (n) prove ripetendo i passaggi da 1 a 7.
9. Il consumo energetico specifico (Parametro Z) si calcola in base all'espressione:



a

Fig.1 Stato attuale dell'impianto per la classificazione degli utensili:

- a) vista generale;
b) dettaglio del sistema per la misurazione del carico;
c) dettaglio del software di controllo

Fig.1 Current state of the classification equipment for characterising tools:

- a) general view;
b) detail of the load measuring system;
c) detail of the controlling software



b

Il prototipo dell'IST utilizza attrezzature speciali di controllo per misurare tutti i parametri operativi con una precisione ottimale. Il primo obiettivo è stato raggiunto sviluppando un metodo per quantificare e spiegare il comportamento dei dischi diamantati nel taglio di pietre ornamentali. La versione attuale dell'apparecchiatura dell'IST (Fig.1), ha consentito di includere la misurazione dei carichi applicati sull'utensile, in relazione alla pietra durante il processo di taglio.

Così è stato possibile caratterizzare diverse pietre a seconda della loro capacità di essere tagliate da un disco diamantato ben definito in condizioni di taglio standard.

Classificazione della pietra

Il campione di pietra deve avere dimensioni standard ($300 \times 300 \times 20$ mm³). Il software comprende un contempo programmato per condurre il test fino allo spostamento massimo della tavola (intorno a 160 mm). Per consentire il confronto fra i risultati ottenuti da diversi materiali, la velocità della tavola e quella di

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Cons_i}{\sum_{i=1}^n (m_o^i - m_f^i)}$$

Così si ottiene, dopo n prove, un valore medio di consumo energetico per unità di massa del materiale lapideo asportato dall'utensile. Questo risultato viene esposto immediatamente nella finestra del software.

10. Dati i valori relativamente bassi della perdita di massa subita dall'utensile in ogni singola prova, il consumo specifico per utensile (parametro ϕ) si calcola solo dopo la n ma prova ed è dato dall'espressione:

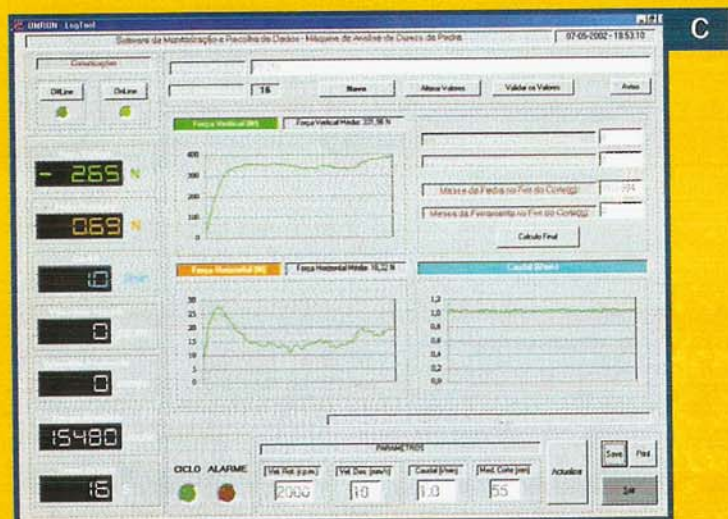
$$\phi = \frac{m_{o,tool} - m_{f,tool}}{\sum_{i=1}^n (m_o^i - m_f^i)}$$

dove $m_{f,tool}$ è la massa finale dell'utensile (dopo l' n ma prova). Tutte le pesate sono eseguite con una bilancia digitale con una risoluzione almeno di 0,002 g. Durante i cicli si misurano e si registrano le componenti verticali ed orizzontali del carico.

better selection methodology), but likewise, the methodology applied helps to develop new products and/or improve the service quality towards the client. Overall, it is expected that the current work will facilitate the research of different applications by applying the standard parameters to assess and evaluate any project goals: not only tool performance, but also management achievements.

2. Classification standard methodology

IST started its first research works related with the stone industry around 1995. These preliminary studies (always carried out with industrial advice) led to a decision to have a pre-industrial test equipment in order to reproduce as closely as possible an industrial stone processing operation. The actual made-in Portugal prototype machine (named, IST classification equipment) uses



special controlling equipment for measuring all the operation parameters with optimum precision. As far as we know, at the time it was built, it was the first equipment of the kind ever built in the world. The first objective of such equipment was obtained by developing an ad-hoc method to quantify and account for the behaviour of diamond discs when cutting ornamental stones. The present version of the test apparatus (IST classification equipment – Fig.1) has allowed to include the measurement of the applied loads on the tool in relation to the stone during the cutting process. Through this method, IST research team was able to characterize different stones according to their ability to be cut by a fixed and determined diamond disc, using standard cutting conditions:

Stone classification

The test procedure used to classify stones is straightforward and works for almost all applications. As mentioned previously, the stone specimen (modular

tile) must have standardised dimensions (300 x 300 x 20 mm³). In the software a timer is programmed to conduct the test up to the maximum allowable displacement of the worktable (around 160 mm).

To allow for the comparison of results obtained from different materials, the worktable velocity and the rotational speed of the tool, as well as the coolant flow are kept constant during the tests and their values controlled for each test cycle.

Consequently, the testing methodology (as it is established at the present time) consists on the following steps:

1. Measurement of the initial mass of the specimen (m_o). This value is inserted in the software program.
2. Measurement of the initial mass of the tool ($m_{o,tool}$). This value is inserted in the software program.
3. The specimen is positioned in the worktable and clamped mechanically.
4. All counters are zeroed in the software.
5. The operator starts the test in the equipments controlling panel.
6. After the test conclusion, the indication in the energy counter (which can be expressed in Watt-hour or Joule) is displayed in the software window. It is considered the value of "energy consumption".
7. Measurement of the final mass of the specimen (m_f). This value is inserted in the software program.
8. Several (n) tests should be conducted (repeating all steps from 1 to 7).
9. The specific energy consumption (Parameter Z) is calculated according to the expression:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n Cons_i}{\sum_{i=1}^n (m_o^i - m_f^i)}$$

It is thus obtained after n tests, an average value of energy consumption per unit mass of stone material removed by the tool. This result is immediately displayed in the software window.

10. Due to the relatively low values of mass loss suffered by the tool in each test, the specific tool consumption (Parameter ϕ) is calculated only after completion of the nth grinding test, and is given by the expression:

$$\phi = \frac{m_{o,tool} - m_{f,tool}}{\sum_{i=1}^n (m_o^i - m_f^i)}$$

where $m_{f,tool}$ is the final mass of the tool (after the nth test). Again, this result is immediately displayed in the software window. All the mass measurements performed using this procedure are carried out using a digital weighting machine

with a resolution of, at least 0.002 g.

During the test cycles both horizontal and vertical components of the load are measured and stored by the software, allowing, at the end of the nth test, a mean value for each load component to be obtained. Using this new methodology it is possible to follow in real time the cutting process (either sawing or grinding),



Con questa metodologia si può seguire il processo (di taglio o di molatura) in tempo reale per misurare e controllare i parametri operativi principali (velocità di rotazione e di avanzamento, flusso del refrigerante) e misurare i parametri del processo (consumo energetico e carichi orizzontali e verticali). La procedura richiede anche la misurazione precisa della perdita di massa dei materiali (pietra e utensile).

Questo consente di determinare quattro parametri:

- Z , il consumo energetico per unità di massa della pietra asportata;
- ϕ , la perdita di massa dell'utensile per unità di massa di pietra asportata;
- la forza F_v , valore medio del carico verticale durante l'operazione di taglio;
- la forza F_h , valore medio del carico orizzontale.

La Fig.2 mostra un test completo di molatura su un granito portoghese (parte di un più ampio programma di lavoro), dove è possibile osservare la condizione della superficie. In qualsiasi operazione di taglio, si osservano delle velocità di consumo che dipendono da tre fattori: le caratteristiche della pietra, la

dimensione (profondità) del taglio e i parametri del processo (velocità, avanzamento ecc.). Possiamo concludere che i parametri Z e ϕ si possono utilizzare in modo indipendente per descrivere le componenti principali di un'operazione di taglio, ovvero il consumo energetico e quello dell'utensile. Questa conclusione è in linea con quanto descritto da Wright [1]. Perciò il sistema di classificazione qui proposto [2,3] comprende tutti questi parametri che configurano un metodo per testare la cosiddetta "abrasività della pietra" [4]. Così si può descrivere il comportamento di qualsiasi utensile, indipendentemente dai suoi componenti o dalle sue caratteristiche di fabbricazione e in base solo alla sua prestazione nella lavorazione di un determinato materiale.

Classificazione degli utensili

Questa metodologia è stata poi modificata per poter quantificare il comportamento di taglio osservato. La modifica consiste nella quantificazione dei parametri standard che possono aiutare qualsiasi utilizzatore/produttore ad osservare e a confrontare diverse composizioni di utensile, diverse applicazioni o diversi parametri di lavorazione. Tali parametri si dividono in due categorie: quelli elementari e quelli accessori. I parametri elementari si ottengono con la misurazione diretta di qualsiasi processo di taglio; l'obiettivo è ottenere misurazioni analoghe dei parametri Z (riguardante l'energia) e ϕ (riguardante l'utensile), che si modificano lievemente per dare all'utilizzatore/produttore un'idea precisa sulla prestazione dell'utensile. Per analizzare il consumo energetico, si impiega un

nuovo parametro per calcolare il volume (o superficie) asportato dall'utensile per unità di energia (o viceversa, a seconda del tipo di operazione).

Per esempio, un taglio tradizionale con disco (con diametro 400 mm e larghezza di segmento 4 mm) eseguito in una lastra di granito (con 20 mm di spessore) può dar luogo a consumi energetici reali che vanno dallo 0,4 a 1,2 m²/kW.h, oppure da 0,9 a 2,9 kW.h/m². Tali parametri consentono, per esempio, una stima

rapida dei costi energetici per la lavorazione di una determinata quantità di materiale.

Anche l'altro parametro elementare deriva dal parametro ϕ di cui sopra e si può trasformare facilmente.

Nell'esempio di un utensile per lucidatura si suggerisce di analizzare il volume di utensile perso per unità di superficie lucidata. Sarebbe preferibile usare sempre un parametro volumetrico, poiché confrontiamo utensili con densità diverse; è però quasi impossibile calcolare il volume

di un utensile con gli strumenti tradizionali di misurazione, poiché spesso le geometrie dei segmenti cambiano. Perciò la metodologia qui proposta parte dalla stessa procedura descritta per classificare la pietra, usando poi la densità degli elementi attivi di ogni utensile per calcolarne il volume rimosso nella lavorazione. Se si sta analizzando un tipo diverso di utensile, come un disco con elementi diamantati brasati, il volume dell'utensile può essere trasformato in una perdita di altezza dell'elemento diamantato. Il parametro relativo all'utensile consente di quantificare e di confrontare l'usura dell'utensile per una determinata operazione. La quantità di materiale asportato può essere determinata mediante due processi. In laboratorio la prassi migliore è quella di determinare il peso di materiale asportato, che si può facilmente trasformare in volume, conoscendo la densità.

A livello industriale non è così facile calcolare la perdita di peso, per cui conviene misurare il volume direttamente, per esempio con la profondità, lo spessore e la lunghezza del taglio. L'errore non supera il 2% e può essere ridotto ulteriormente effettuando più test. Nel caso della lucidatura non è possibile misurare il volume del materiale asportato e si considera, invece, l'entità della superficie trattata.

I parametri, relativi sia all'energia che all'utensile, sono applicabili in quasi tutte le aziende che hanno bisogno di quantificare i costi e/o ottimizzare la produzione, ma l'applicazione della presente metodologia è cruciale anche per i produttori, poiché le novità in materia di leganti, di abrasivi e di tecniche di produzione hanno provocato un aumento del numero di utensili sul mercato. La presente metodologia serve come aiuto nella quantificazione dei parametri pertinenti.

Fig.2 Dettaglio di una prova di molatura. Come si può osservare, la superficie della pietra è piena di scanalature, per cui la prova si ritiene completata per questo campione



Fig.2 Detail of a grinding test. As it is possible to observe the surface of the stone is completely full of ground slots, for which the test is considered completed for this specimen



to measure and control the main operating parameters (rotation speed of the circular tool, feeding speed and coolant flow), and to measure the output process parameters (energy consumption, and horizontal and vertical loads). The specific procedure also requires the accurate measurement of mass loss of the materials involved (stone and tool). The measurements enable the determination of four very important parameters:

- the parameter Z , representing the energy consumption per unit mass of removed stone;
- the parameter ϕ , that represents the mass loss of the tool per unit mass of removed stone;
- the force F_v , defined as the mean value of vertical load measurements monitored (with experimental data stored in the PC) during the cutting operation;
- the force F_h , defined as the mean value of horizontal load measurements monitored (with experimental data stored in the PC) during the cutting operation.

Figure 2 shows a completed grinding test made on Portuguese granite (part of an extensive PhD work programme), where it is possible to observe the surface condition at the end of these tests.

In any cutting practice that uses abrasive tools we would normally expect to observe wear rates depending on three basic parameters: the natural characteristics of the stone in use, the cutting extent (typically a cutting depth), and the technological processing parameters (speeds, feeding rates, etc.). Likewise, after a detailed analysis of the results, we may conclude that parameters Z and ϕ can be used independently to describe the main components of a cutting operation, i.e., the energy consumption and the tool consumption.

This conclusion is in line to what has been described by Wright [1]. Therefore, it has been showed [2,3] that the classification system proposed herein includes and controls all these parameters in order to provide an accurate method for testing the so-called "stone abrasiveness" [4]. Then we can describe the behaviour of any tool, independently from its components or manufacturing characteristics, but based only on its performance whilst working on a fixed material.

Tool classification

The above methodology was later modified and adapted to meet the particular specifications of other applications, namely the classification of tool products.

These modifications consist in the quantification of the cutting behaviour obtained when applying the classification methodology. The modifications in the methodology consist basically in the quantification of standard parameters that can help any user/manufacturer to observe and compare different tool compositions (e.g., different binders or different types of abrasives), different applications (e.g., different cutting operations, or processed materials) or different processing parameters (e.g., feed rates, cutting speed, cutting depth).

These parameters can be divided into two categories: the elementary parameters and the accessory parameters.

The elementary parameters are obtained by direct measurements of any cutting process (either sawing, drilling, polishing or grinding). The objective is to obtain similar measurements of both parameters Z (energy-related) and ϕ (tool-related), which are slightly modified to give the user/manufacturer an accurate idea of the tool performance.

For analysing the energy consumption this standard methodology suggests that, instead of using the parameter described earlier, a new one can be used to account for the amount of volume (or area) of material removed by a tool per unit energy (or vice-versa).

The units used will depend on the type of cutting operation performed. For example, a traditional circular sawing (with a diameter of 400 mm and segment width of 4 mm) performed in a granite slab (with 20 mm thickness) can originate real energy consumptions (i.e. the actual energy consumed by the tool) ranging from 0.4 to 1.2 m^2/kWh or, otherwise, ranging from 0.9 to 2.9 kWh/m^2 . These parameters will allow, for example, a quick, but accurate, estimation of energy cutting costs for a given amount of material that was processed.

This quantification is especially important when the production rates are analysed and compared using different tools and/or different materials.

The other elementary parameter is also derived from the above-mentioned parameter ϕ .

This tool-related parameter can be easily transformed according to our process specifications. If we analyse the example of a polishing tool (e.g., a Fickert tool for polishing granite), it is suggested to analyse the volume of tool removed per unit of polished surface. It should be emphasised that it is much preferable to use a volumetric parameter again, since we often compare tools with different densities. However, it is almost impossible to calculate the volume of a tool using traditional measuring equipment, since the geometries of the segments often change. Therefore, the standard methodology suggested in this work starts by applying the same procedure described for the stone classification, using then the density of each tool (i.e., the density of the active elements of the tool, binder and diamond) to calculate the volume of tool removed in the process.

In case we are analysing a different type of tool, such as circular sawing disc with brazed diamond elements, the volume of tool removed may be transformed into a removed height of diamond element (keeping constant both thickness and width and knowing the number of diamond elements). Despite the use of different units (or the inverted relation, i.e. amount of material removed per unit tool wear), the tool-related parameter enables quantification and comparison of tool wear for a given processing operation.

In both determinations, the amount of material removed (stone, concrete, glass, etc.) can be determined by two processes. In a laboratory scale (such as that presented when using the IST classification machine), the best practice is to determine the weight of material removed, which can be easily transformed into a volume removed



Dove è difficile accedere agli impianti industriali, possono servire altri parametri che aiutano a spiegare il comportamento dell'utensile. Anche se importanti come quelli elementari, i parametri di quest'altra categoria (parametri accessori) riguardano maggiormente il processo specifico e gli obiettivi dello studio. Quindi, e tenuto conto della loro natura, la maggior parte di essi si può ottenere più facilmente in laboratorio (Fig.3). Per comprendere i meccanismi di usura della pietra è cruciale l'analisi della forza generata. Anche per un'analisi precisa ed istantanea della prestazione dell'utensile, l'analisi delle forze è un parametro chiave. Nel caso del taglio con disco, le due componenti della

portato allo sviluppo di un monitoraggio in linea della lucentezza (calibrato per materiali con colori e tonalità diversi) che consente una quantificazione più dettagliata e precisa di questo parametro accessorio. Per certe applicazioni occorre considerare anche i parametri operativi. È importante la velocità di avanzamento per capire la prestazione degli utensili diamantati per lucidare materiali diversi. Si può effettuare un'analisi simile per il taglio lineare con disco. Certi utensili possono presentare un'usura alquanto maggiore, ma questo può essere accettabile quando occorrono velocità elevate. Dove le condizioni di lavoro comportano rischi, anche il rumore può essere un

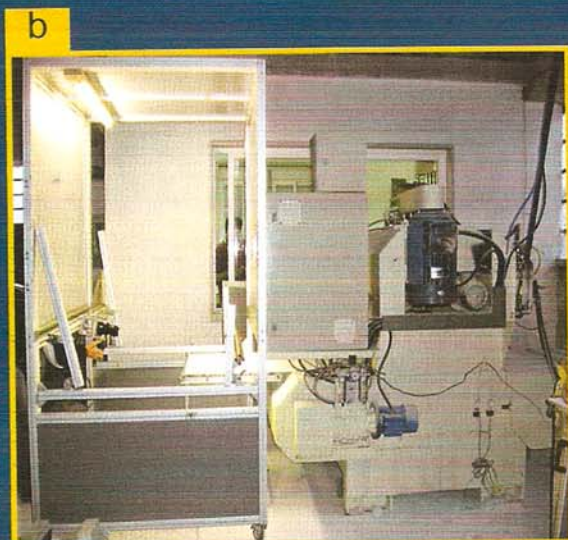


Fig.3 Attrezzatura preindustriale impiegata in laboratorio:

- a) disco trasverso prototipo (adattato per eseguire prove da segazione a mano in cemento armato e in altre materiali da costruzione);
b) macchina prototipo da lucidatura (con sistema di analisi visiva sviluppato nel progetto VIPS [5]);
c) dispositivo portatile per utensili a lama multipla

Fig.3 Pre-industrial equipment used at a laboratory scale:

- a) prototype transverse circular blade saw (adapted to perform handsaw tests in reinforced concrete and other construction materials);
b) prototype polishing machine (with a vision system analysis developed in VIPS project [5]);
c) Signature analysis portable device for gang-saw tools



forza si possono analizzare insieme per indicare l'attività corrente dei diamanti.

$$F_r = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}$$

Più è bassa la forza risultante, maggiore è il numero di diamanti attivi con un'alta sporgenza. Inoltre, si può osservare l'andamento di questa forza, se misurata

dopo i diversi cicli.

Così si può ottimizzare la prestazione; la condizione ottimale si ottiene quando non è necessario limitare il movimento orizzontale del pezzo, per cui la quantificazione della forza orizzontale serve per indicare quanto il processo devia dalla condizione ottimale. Un altro parametro importante è la condizione superficiale finale del materiale. Nel caso del vetro si può effettuare un'analisi d'immagine del profilo dell'incrinatura originata durante l'operazione di molatura (Fig.4). Lo stesso parametro può essere decisivo per scegliere/sviluppare un utensile diamantato per rifilare piastrelle di pietra lucidate. Un'altra valutazione della condizione superficiale riguarda il taglio in lastre. Qui si misura la ruvidità della superficie (con ruvidometri standard a contatto) per analizzare la ruvidità media, massima ecc. Infine, la condizione superficiale può essere analizzata nel caso dei prodotti lucidati. In questo caso particolare si è trovato che l'analisi di un'unità di lucentezza a tre angoli era la tecnica migliore per aiutare a determinare il comportamento dell'utensile. Recentemente un progetto europeo ha

parametro accessorio da valutare per la prestazione dell'utensile. In sintesi, attualmente la maggioranza degli utensili non si possono confrontare fra loro in modo semplice, visto che non si è fatto uno sforzo serio di standardizzazione; la metodologia presentata vuole essere un contributo in questo senso. La tab.1 rappresenta l'applicazione di questa metodologia per ottenere una classificazione standard di utensili diamantati usando i parametri elementari; la tabella 2 usando i parametri accessori.

Fig.4 Esempio del profilo di un'incrinatura originata durante un'operazione di molatura su vetro

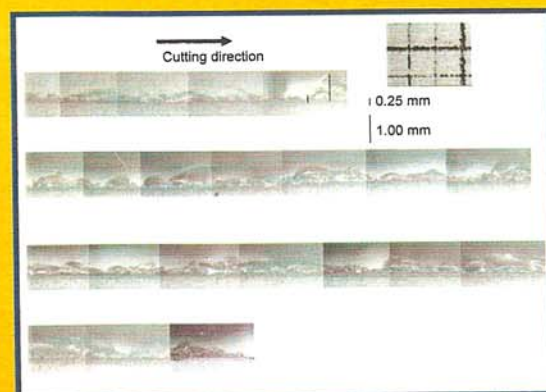
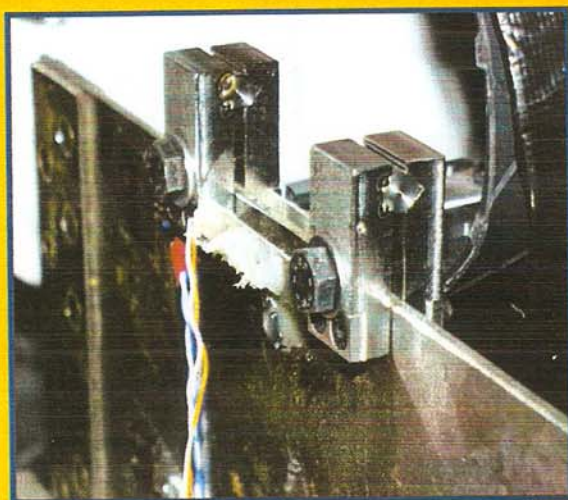


Fig.4 Example of flaw profile originated during a grinding operation in glass

by using the known density. In an industrial plant level, it is not easy to calculate the weight loss.

Therefore, it is suggested that volume can be calculated directly from the site (measuring, for example, the cutting depth, thickness and length). The errors caused by this measurement in the field are minimum (around 2%) and become even less if we increase the amount of tests (long-term tests). It should be emphasised again that there are some situations, such as when we analyse polishing, in which there is no possibility to measure volume of removed material. In those cases, we should



C

look at the amount of polished area (as already described). As can be understood, both energy-related and tool-related parameters are relatively easy to implement in almost any company that has an intensive use of tools and needs to quantify costs and/or optimise its production. But the application of the present methodology is also crucial to tool manufacturers, because the development of new binders, new abrasive grits, new production technologies, have lead to an increased number of tools in the market.

The methodology described herein helps to contribute to a quantification of relevant parameters showing, for each application, the result in a comparable scale.

To the tool manufacturers it maybe difficult to access industrial plants for field trials, but in this particular case, pre-industrial equipment, such as the IST classification machine (or other more recent prototype equipments currently used by IST in their research) is extremely valuable to promote extensive studies on tool behaviour, without leaving behind the industrial needs.

Therefore, the present standard methodology also involves other relevant parameters that will help to explain tool behaviour. Although as important as the elementary parameters, this other category of parameters (accessory parameters¹) is more related with a specific process and the objectives of the study.

Therefore, and due to its nature, the majority of these

parameters are easier to obtain at a laboratory scale, such as that presently in use by IST and FrontWave (Fig.3). In this work some of these parameters will be outlined considering the particular industrial applications studied by all the authors.

As was mentioned earlier for the stone classification, the analysis of the generated force was found to be crucial to understand the stone wear mechanisms.

Likewise, the analysis of the forces was also found to be a key-role parameter that allows an accurate instantaneous analysis of the tool performance.

In the specific case of a circular sawing, both components of the force can be analysed together to give an indication of the current diamond activity.

Since the cutting itself is related to the abrasive protrusion in the binder, the generated force gives, at first place, the actual state of the diamond behaviour.

Therefore, when comparing similar tools (using similar cutting conditions), the lower the resultant force, the higher the number of active

diamonds with high protrusion. Moreover, the analysis of the resultant force after several consecutive cutting rounds will allow us to estimate how the

$$F_r = \sqrt{F_v^2 + F_h^2}$$

abrasive activity fluctuates along tool life. The analysis can be made by plotting the mean resultant forces along several rounds and observing the curve profile. Likewise, measuring forces also allows to optimise cutting performance.

Again, using the example of circular sawing, the optimum cutting condition is obtained when there is no need to constrain the horizontal movement of the piece that is being cut. The quantification of the horizontal force also gives a clear indication of how much the process is deviating from its optimum condition.

Another important parameter to calculate is the final surface condition of the material that has been processed.

In case of a glass for example, the quantitative analysis may be carried out by image analysis of the flaw profile originated during the grinding operation (Fig 4).

This parameter is normally mandatory in terms of tool selection for these applications. Similarly, this parameter can be also decisive for choosing/developing a diamond tool that is used for trimming polished stone tiles.

In this case, some particular aspects of the profile need to be analysed, but the technique for assessing this parameter is very similar. Another surface condition evaluation is related to block slabbing. In this particular case, we should aim to measure the surface roughness (using standard contact roughmeters) to analyse, for example, average roughness, maximum roughness (or roughness peak), etc. Finally, surface condition may be also found in polished products. In this particular case, the analysis of a three-angle gloss unit was found to be the best technique to aid the determination of the tool behaviour. Recently, a European project has led to the development of a newly on-line monitoring of gloss (calibrated for different materials with different colours and tonalities) which allows a more detailed and accurate



Tavola 1 Indicazioni generali per l'uso di una metodologia standard per la classificazione di utensili diamantati (utilizzo di parametri elementari)

Parametri Elementari		
Tipi di utensili e processo di taglio	Usura utensile [Unità]	Consumo energetico [Unità]
Segagione a secco con dischi piccoli, fino a 230 mm di diametro (applicazioni in pietra, cemento armato, vetro, mattoni ecc.)	Perdita di altezza dell'elemento abrasivo [mm] per superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²]	Superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²] per energia consumata dall'utensile [kW.h]
Dischi da taglio, raffreddati ad acqua, per operazioni di rifilatura in linea (diametri fino a 600 mm)	Perdita di altezza dell'elemento abrasivo [mm] per superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²]	Energia consumata dall'utensile [kW.h] per superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²]
Mole (applicazioni in vetro, pietra ecc.) Mole con elementi abrasivi brasati (oppure) Mole con parte abrasiva continua	Perdita di altezza dell'elemento abrasivo [mm] (oppure) Perdita di raggio dell'elemento abrasivo [mm] per superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²]	Energia consumata dall'utensile [kW.h] per volume di materiale tagliato [m ³]
Mole da lucidatura (lucidatura di bordi di pietre, ottica ecc.)	Perdita di raggio dell'elemento abrasivo [mm] per superficie di materiale lucidata (lunghezza x larghezza) [m ²]	Superficie di materiale lucidata (lunghezza x larghezza) [m ²] per energia consumata dall'utensile [kW.h]
Utensili da lucidatura (usati in lucidatori a nastro per marmo, granito e tutti i materiali affini) Utensili tipi Frankfurt per marmo (oppure) Utensili tipi Fickert per granito	Perdita di altezza dell'elemento abrasivo [mm] (oppure) perdita di volume dell'abrasivo [mm ³] per superficie di materiale lucidata (lunghezza x larghezza) [m ²]	Energia consumata dall'utensile [kW.h] per superficie di materiale lucidata (lunghezza x larghezza) [m ²]
Utensili per perforazione (per cemento, pietra ecc.)	Perdita di lunghezza dell'utensile [mm] per materiale tagliato (lunghezza) [m]	Energia consumata dall'utensile [kW.h] per materiale tagliato (lunghezza) [m]
Dischi grandi da segagione (per tagliare blocchi di pietra)	Superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²] per perdita di altezza dell'elemento abrasivo [mm]	Superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²] per energia consumata dall'utensile [kW.h]
Seghe a lama multipla (solo utensili diamantati per tagliare blocchi di marmo)	Superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²] per perdita di altezza dell'elemento abrasivo [mm]	Superficie di materiale tagliata (lunghezza x profondità) [m ²] per energia consumata dall'utensile [kW.h]

Tavola 2 Indicazioni generali per l'utilizzo della metodologia standard per classificare gli utensili diamantati (impiego di parametri accessori)

Table 2 General indications for the use of the standard methodology for classifying diamond tools (use of accessory parameters)

Tipi di utensili e di processo di taglio Type of Tools and Cutting Process	Forza risultante / Resultant Force	Forza orizzontale / Horizontal Force
Segagione a secco con dischi piccoli, fino a 230 mm di diametro (applicazioni in pietra, cemento armato, vetro, mattoni ecc.) <i>Dry sawing using small discs with diameters up to 230 mm (applications in stone, reinforced concrete, glass, bricks, etc.)</i>	Sì. Soprattutto quando si confrontano i risultati del taglio di materiali simili <i>Yes. Especially when comparing cutting results of similar materials</i>	Sì. Molto importante per determinare forza lavoro quando si eseguono queste prove sul campo <i>Yes. Very important to determine man strength when performing these tests on the field</i>
Dischi da taglio, raffreddati ad acqua, per operazioni di rifilatura in linea (diametri fino a 600 mm) <i>Water cooled sawing discs for in-line trimming operations (with diameters up to 600 mm)</i>	Sì. Soprattutto quando si confrontano i risultati del taglio di materiali simili <i>Yes. Especially when comparing cutting results of similar materials</i>	Sì. Importante per determinare la stabilità del taglio <i>Yes. Important to determine the cutting stability</i>
Mole (applicazioni in vetro, pietra ecc.) Mole con elementi abrasivi brasati (oppure) Mole con parte abrasiva continua <i>Grinding wheels (applications in glass, stone, etc.) Wheels with brazed abrasive elements (or) Wheels with a continuous abrasive section</i>	Sì. Soprattutto quando si confrontano i risultati del taglio di materiali simili <i>Yes. Especially when comparing cutting results of similar materials</i>	Sì. Importante per determinare la stabilità del taglio. Più importante nella lavorazione di materiali che hanno bisogno di questa caratteristica <i>Yes. Important to determine the cutting stability. More important when grinding materials that need this feature</i>



quantification of this accessory parameter. Finally, for certain applications, the operational parameters also need to be considered in this standard methodology. For example, feed rate is an important parameter when looking at the performance of diamond tools for

polishing several materials. In this case, any tool design, and the consequent behaviour analysis, using the methodology presented will be much dependent on this parameter. Similar analysis can be made when looking at circular sawing for linear cutting. Some tools may

Table 1 General indications for the use of the standard methodology for classifying diamond tools (use of elementary parameters)

Elementary Parameters		
Type of Tools and Cutting Process	Tool Wear [Units]	Energy Consumption [Units]
Dry sawing using small discs with diameters up to 230 mm (applications in stone, reinforced concrete, glass, bricks, etc.)	Abrasive element height loss [mm] per cut area of material (length x depth) [m ²]	Cut area of material (length x depth) [m ²] per energy consumed by the tool [kW.h]
Water cooled sawing discs for in-line trimming operations (with diameters up to 600 mm)	Abrasive element height loss [mm] per cut area of material (length x depth) [m ²]	Energy consumed by the tool [kW.h] per cut area of material (length x depth) [m ²]
Grinding wheels (applications in glass, stone, etc.) Wheels with brazed abrasive elements (or) Wheels with a continuous abrasive section	Abrasive element height loss [mm] (or) abrasive element radius loss [mm] per cut area of material (length x depth) [m ²]	Energy consumed by the tool [kW.h] per cut volume of material [m ³]
Polishing wheels (edge polishing of stone, optics, etc.)	Abrasive element radius loss [mm] per polished surface area (length x width) [m ²]	Polished surface area (length x width) [m ²] per energy consumed by the tool [kW.h]
Polishing tools (used in belt polishers for marble, granite and all related materials) Frankfurt-type tools for marble (or) Fickert-type tools for granite	Abrasive element height loss [mm] (or) abrasive volume loss [mm ³] per polished surface area (length x width) [m ²]	Energy consumed by the tool [kW.h] per polished surface area (length x width) [m ²]
Drilling tools (for concrete, stone, etc.)	Tool length loss [mm] per cut material (length) [m]	Energy consumed by the tool [kW.h] per cut material (length) [m]
Giant sawing discs (for cutting stone blocks)	Cut area of material (length x depth) [m ²] per abrasive element height loss [mm]	Cut area of material (length x depth) [m ²] per energy consumed by the tool [kW.h]
Gang-saw blades (only diamond tools for cutting marble blocks)	Cut area of material (length x depth) [m ²] per abrasive element height loss [mm]	Cut area of material (length x depth) [m ²] per energy consumed by the tool [kW.h]

Tabella 2 Indicazioni generali per l'utilizzo della metodologia standard per classificare gli utensili diamantati (impiego di parametri accessori)

Table 2 General indications for the use of the standard methodology for classifying diamond tools (use of accessory parameters)

Profilo forza risultante / Resultant Force Profile	Condizione superficiale / Surface Condition	Parametro operativo / Operational Parameter
No. La sua importanza aumenta solo quando intendiamo usare questi utensili in un'unica operazione (un solo tipo di materiale) non normale No. Its importance grows only when we intend to use these tools in only one application (one type of material), which is not normal	No. Normalmente non è pertinente, se non richiesto, per es. la finitura finale di una struttura in cemento o un'applicazione in pietra No. Normally it is not relevant, except if requested, for example final finish of a concrete structure or stone application	Si. Profondità di taglio Yes. Cutting depth
Si. Questo parametro normalmente riguarda la condizione finale della superficie tagliata, ma principalmente in prodotti con requisiti speciali di qualità Yes. This parameter normally relates with the final cutting surface condition, but mainly in products that need special quality requirements	Si. Il bordo tagliato deve essere il più perfetto possibile. Quindi molto importante l'analisi del profilo di frattura Yes. The edge cutting need to be as perfect as possible. Analysis of fractures profile is therefore very important	Si. velocità di taglio Cutting speed (cioè velocità del nastro) Yes. Cutting speed (i.e., conveyor belt speed)
Si. Questo parametro normalmente riguarda la condizione finale della superficie tagliata, ma principalmente in prodotti con requisiti speciali di qualità Yes. This parameter normally relates with the final cutting surface condition, but mainly in products that need special quality requirements	Si. Soprattutto in applicazioni su vetro. Il bordo molato deve essere il più perfetto possibile. Quindi molto importante l'analisi del profilo di frattura Yes. Especially in glass applications. The edge of the grinding need to be as perfect as possible. Analysis of fractures profile is therefore very important	No. Serve solo quando la velocità di taglio gioca un ruolo chiave No. Only needed when cutting speed plays a key-role



Parametri Accessori Accessory Parameters

Tipi di utensili e di processo di taglio <i>Type of Tools and Cutting Process</i>	Forza risultante / Resultant Force	Forza orizzontale / Horizontal Force
Mole da lucidatura (lucidatura di bordi di pietre, ottica ecc.) <i>Polishing wheels (edge polishing of stone, optics, etc.)</i>	No. Sufficiente controllare la forza, che normalmente indica se un'operazione di lucidatura è stabile o meno <i>No. We only need to control force, which normally indicates if a polishing operation is smooth or not</i>	No. Motivo analogo <i>No. Similar reason</i>
Utensili da lucidatura (usati in lucidatori a nastro per marmo, granito e tutti i materiali affini) Utensili tipo Frankfurt per marmo (oppure) Utensili tipo Fickert per granito <i>Polishing tools (used in belt polishers for marble, granite and all related materials)</i> <i>Frankfurt-type tools for marble (or)</i> <i>Fickert-type tools for granite</i>	No. È sufficiente controllare la pressione sulla testina <i>No. We only need to control pressure on the head</i>	No. Motivo analogo <i>No. Similar reason</i>
Utensili per perforazione (per cemento, pietra ecc.) <i>Drilling tools (for concrete, stone, etc.)</i>	Sì. Ma separatamente, in termini di momento e di forza verticale <i>Yes. But separately, in terms of torque and vertical force</i>	n.a. <i>n.a.</i>
Dischi grandi da segagione (per tagliare blocchi di pietra) <i>Giant sawing discs (for cutting stone blocks)</i>	Sì. Soprattutto quando si confrontano i risultati di taglio di materiali analoghi, strettamente collegato col consumo energetico <i>Yes. Especially when comparing cutting results of similar materials. Much related with energy consumption</i>	No. Le dimensioni dei blocchi grandi sono normalmente stabili <i>No. Large block dimensions are normally stable</i>
Seghe a lama multipla (solo utensili diamantati per tagliare blocchi di marmo) <i>Gang-saw blades (only diamond tools for cutting marble blocks)</i>	No. La forza stessa non indica come si comportano gli utensili <i>No. Force itself does not indicate how the tools are behaving</i>	No <i>No</i>
Utensili da molatura per freni e materiali in attrito <i>Grinding tools for brakes and friction material</i>	No. La forza stessa non indica come si comportano gli utensili <i>No. Force itself does not indicate how the tools are behaving</i>	No <i>No</i>

3. Applicazione della metodologia standard; studio di un caso pratico

In una ricerca recente (finanziata dalla POMDI, società produttrice di utensili diamantati) sono stati trattati alcuni problemi importanti:

- ◆ lo sviluppo di un gruppo di utensili per lucidare le pietre ornamentali;
- ◆ l'ottimizzazione del comportamento dell'utensile per la lavorazione del vetro;
- ◆ la caratterizzazione degli utensili diamantati circolari per lucidare la pietra, il vetro polimerico e il vetro ottico.

Per avere una visione chiara su tutti gli obiettivi della ricerca, è stata applicata la presente metodologia standard. Per esempio, per quanto riguarda tutti gli utensili di nuova progettazione, la metodologia di classificazione dell'IST è stata adattata, come descritto, per sviluppare un sistema quantitativo o metrico, per ottenere una valutazione precisa del progetto di ricerca.

Infatti, il sistema quantitativo è stato adottato anche come strumento di pianificazione. In particolare, il caso qui presentato affronterà lo sviluppo di nuovi utensili diamantati a legante resinoide per lucidare il granito e il marmo mediante lucidatori a nastro.

In questo studio gli elementi base (relativi ai parametri già descritti) del sistema sono la durata dell'utensile, la velocità di lavorazione e la finitura ottenuta, tutti riferi-

ti ad un materiale specifico da lucidare.

Dopo qualche considerazione iniziale, il sistema di misurazione è stato limitato a questi tre fattori.

In tale processo supponiamo che il consumo energetico sia strettamente collegato alla velocità di lavorazione e che, quindi, si possa misurare l'uno o l'altro di questi due parametri. In laboratorio è preferibile misurare il consumo energetico, mentre in un impianto effettivo è preferibile misurare la velocità di lavorazione.

Ci siamo poi domandati: che cosa richiedano i clienti della POMDI. Normalmente essi hanno bisogno di utensili diamantati per eseguire lavori speciali su un materiale specifico, nel modo più veloce ed economico possibile. Effettuare un lavoro speciale significa ottenere una lucentezza definita o tagliare una certa quantità di materiale.

Poi bisogna tener conto della macchina che il cliente intende impiegare, per poter pianificare ed eseguire il lavoro, per esempio in un unico tempo o fase per fase, oppure per progettare l'utensile con una geometria specifica, adatta all'attrezzatura di prova a disposizione. Questi "parametri ingegneristici" possono limitare la progettazione dell'utensile, ma d'altra parte occorre sperimentare la polvere di diamante (tipo e concentrazione), il legante, il ciclo produttivo ecc. per determinare la durata dell'utensile e la velocità massima di lavorazione. Questi due elementi (utensile e impianto) sono di solito collegati fra loro, cosicché aumentare la durata comporta una diminuzione della velocità di lavorazione, se rimangono costanti tutte le altre condizioni. Possiamo dunque ottimizzare la progettazione dell'u-



Parametri Accessori Accessory Parameters

Profilo forza risultante / Resultant Force Profile	Condizione superficiale / Surface Condition	Parametro operativo / Operational Parameter
Si. Perché occorre capire se l'operazione di lucidatura è stabile o meno <i>Yes. Because we need to understand if the polish operation is stable or not</i>	Si. La lucentezza è sempre un parametro chiave. In certi casi è importante anche analizzare il profilo di frattura dei bordi <i>Yes. Gloss is again a key parameter. In some cases, the fracture profile of the edges are also important to analyse</i>	No. Serve solo quando la velocità di taglio gioca un ruolo chiave <i>No. Only needed when cutting speed plays a key-role</i>
No. Stesso motivo <i>No. Same reason</i>	Si. È estremamente importante misurare un'unità di lucentezza a tre angoli <i>Yes. It is extremely important to measure a three-angle gloss unit</i>	Si. Velocità del nastro, considerato che la velocità di rotazione di solito è difficile da cambiare sul campo <i>Yes. Conveyor speed, considering that rotation speed is normally difficult to change in the field</i>
No. A meno che non occorra per valutare gli effetti dell'attrito <i>No. Unless necessary to evaluate friction effects</i>	No. Tranne in casi particolari dove occorre considerare la superficie del foro <i>No. Except in particular cases where the bore surface needs to be considered</i>	Si. Velocità di perforazione in profondità <i>Yes. Drilling depth speed</i>
Si. Con un monitoraggio continuo si può prevedere il cedimento del componente. <i>Yes. A continuous monitoring can predict component failure.</i>	Si. Ruvidità superficiale della superficie tagliata "fresca" <i>Yes. Surface roughness of the "fresh" cut surface</i>	Si. Velocità di taglio in profondità <i>Yes. Cutting depth speed</i>
Si. Ma attraverso un'analisi speciale dei dati, la "signature analysis" <i>Yes. But through a special data analysis "signature analysis"</i>	Si. Ruvidità superficiale della superficie tagliata "fresca" <i>Yes. Surface roughness of the "fresh" cut surface</i>	Si. Velocità di taglio in profondità <i>Yes. Cutting depth speed</i>
No <i>No</i>	No <i>No</i>	Si. Livello di rumore <i>Yes. Noise level</i>

have slightly higher tool wear, but that could be acceptable when higher speeds are necessary to employ. In some processes where working conditions are especially hazardous, noise could also be an accessory parameter when evaluating the output, i.e. the performance of the tool. Again, since it is not easy to change operational parameters in the field plants, the use of fully monitored and controlled equipments was found to be crucial if such a study is put into practice.

In summary, at the present moment, the great majority of the tools cannot be compared in a simple way, since no significant effort towards standardisation has been made in this sector. The methodology described must be seen as a contribution to such urgent standardisation needs. Table 1 represents the application of this methodology for obtaining a standard classification of diamond tools using the elementary parameters and Table 2 the same approach using the accessory parameters.

3. Application of the standard methodology; a Case-Study

In a recent research project (financed by the diamond tool manufacturer POMDI) several major problems were studied:

- ◆ the development of a set of tools for polishing ornamental stones;
- ◆ the optimisation of tool behaviour for grinding glass

materials;

- ◆ the characterisation of circular diamond tools for polishing stone, polymeric glass and optical glass.

In order to have a clear view of all research objectives, the present standard methodology was applied. For example, as regards all newly designed tools, IST classification methodology was adapted as described to originate a "metric" system for assessing an accurate evaluation of the research project. In fact, the metric system has become adopted also as a planning tool. In particular, the case-study presented will address the development of new resin bond diamond tools for polishing granite and marble using belt polishers. In the present study, the basic elements (related with the parameters already described) of this metric system are tool life, working speed and obtained finishing, all of them referred to a specific material to be polished. After some initial thinking, the measuring system was only limited to these three dimensions. In this process we assume that energy consumption is closely correlated with the working speed, and therefore we can measure either one of those two parameters. In the laboratory environment, the energy consumption is preferably measured. Otherwise, in the processing plant, working speed is better assessed.

Then we have questioned ourselves: what do POMDI's

tensile in un "diagramma di fase", dove velocità di lavorazione e durata utensile sono definite per un materiale e una finitura specifici (Fig.5). Normalmente si attribuiscono delle limitazioni alla macchina e al processo disponibili per eseguire il lavoro.

L'efficacia del processo di lucidatura si valuta mediante i due principali parametri di finitura - lucentezza e ruvidezza - che occorre misurare sul materiale.

Invece l'efficienza generale si misura tramite la velocità di lavorazione (efficienza del processo) e la durata dell'utensile (efficienza dell'utensile). Questo si può vede-

per ottimizzare il processo di lucidatura della pietra abbiamo determinato il tipo e la geometria degli utensili e il numero possibile di fasi di lucidatura a seconda della macchina a disposizione. Nel nostro caso gli utensili erano del tipo Fickert con un numero di fasi stimato fra 14 e 18. La finitura è stata definita in base ad una lucentezza a tre angoli, ottenuta con un dispositivo di misurazione usato appositamente per questi tipi di finitura. Come è noto, per soddisfare i requisiti minimi di finitura dobbiamo ottimizzare la durata dell'utensile e la velocità di lavorazione. Tuttavia il processo di valu-

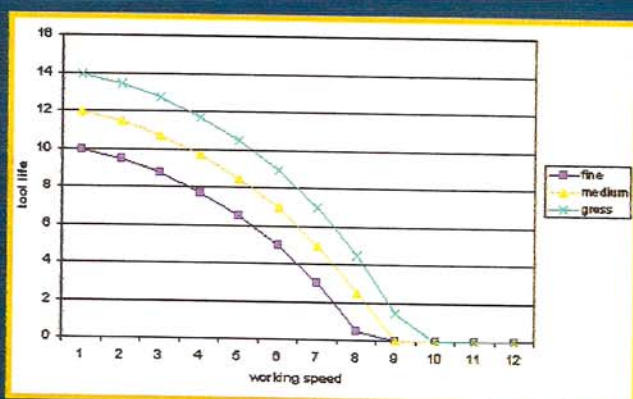


Fig.5 "Diagramma di fase" della progettazione di un utensile per una data condizione di processo (la scala è semplicemente un numero per esemplificare quella che potrebbe essere la variazione fra i parametri)
"Phase Diagram" of a tool design for a given process condition (scale used is merely a figure merit to exemplify what could be the variation between the parameters)

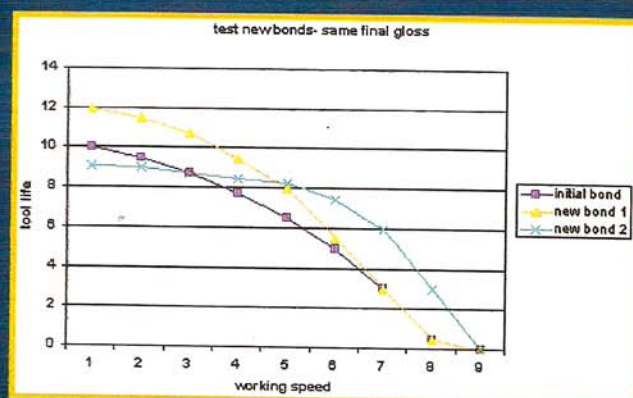


Fig.6 "Diagramma di fase" della progettazione di un utensile dopo aver cambiato alcuni parametri di progettazione: tipi di legante (la scala è semplicemente un numero per esemplificare quella che potrebbe essere la variazione fra i parametri)
"Phase Diagram" of a tool design after changing some design parameters: type of bonds (scale used is merely a figure merit to exemplify what could be the variation between the parameters)

re anche attraverso un sistema metrico ampliato, utilizzabile in qualsiasi processo. I parametri di efficienza possono rimanere come sono, cioè in linea con i parametri elementari presentati nel capitolo precedente. L'efficacia, ovvero quello che intendiamo ottenere utilizzando un utensile specifico, si può misurare in relazione ai parametri accessori.

Al fine di ottimizzare la progettazione dell'utensile possiamo anche utilizzare il sistema di classificazione IST, già presentato. In questo caso possiamo collegare la forza risultante per le operazioni di taglio (specificata per ogni tipo di utensile) con la condizione superficiale (ruvidezza o lucentezza) ottenuta dopo aver eseguito un'operazione di rifinitura o di lucidatura utilizzando utensili circolari (molto più facile da eseguire).

In altre parole, possiamo mirare a normalizzare il parametro di efficienza come abbiamo fatto in questo progetto: attraverso l'operazione di rifinitura misureremo la ruvidezza finale e attraverso la lucidatura circolare la lucentezza finale. Sebbene queste cifre non siano esatte come apparirebbero in un'operazione di lucidatura a nastro, possiamo ottenere la relazione corretta fra i risultati, in grado di fornire dati precisi per la progettazione di questi utensili.

Perciò la strategia seguita in questo progetto sembra indicare che un sistema di misurazione in cui queste caratteristiche (durata utensile, velocità di lavorazione e finitura ottenuta) sono misurate aiuta a definire un modello in cui si possono ottimizzare processi ed utensili specifici. In relazione al nostro obiettivo principale,

tazione dell'utensile è fondamentalmente una valutazione economica; cioè dopo aver raggiunto un livello di lucidatura ottimale dobbiamo ottenere un vantaggio economico rispetto al processo che utilizza abrasivi tradizionali. Questo si può ottenere mediante diversi miglioramenti: costo unitario dell'utensile più basso, aumento della produttività attraverso una velocità di lavorazione più elevata e meno fermate per cambio utensile; macchine meno costose grazie ad un numero di fasi minore; qualità migliore della superficie (ottenendo meno fluttuazioni di finitura fra una piastrina e un'altra) ecc. In questo caso abbiamo usato di nuovo il sistema quantitativo per misurare l'evoluzione di diverse prove, seguendo l'obiettivo "si può migliorare ciò che si può misurare", non solo come principio di qualità, ma anche come parametro utile per valutare i livelli di innovazione.

In questo progetto specifico, i nostri miglioramenti avevano già delle linee base, dato che sapevamo che alcuni cambiamenti ci avrebbero probabilmente avvicinati all'obiettivo finale. Questo ci ha consentito, per esempio, di verificare subito come una modifica alla concentrazione del diamante avrebbe inciso sul diagramma di fase presentato per la velocità di lavorazione/durata utensile.

Ulteriori sperimenti ci hanno anche mostrato delle tendenze e ci hanno suggerito un modo per trovare delle soluzioni. Nell'esempio mostrato nel grafico (Fig.6) possiamo osservare come si possa regolare il legante in base ai requisiti del cliente.

customers require? Normally, customers need diamond tools to perform special works on a specific material, as fast and cheaply as possible. To perform a special work means to get a specific gloss or cut a certain amount of material. Next, we have to take into account the machine that our customer is going to use in order to plan the work and do it for example in a single step or phase by phase; or else to design the tool with a specific geometry to fit the testing equipment available.

These "engineering parameters" may limit the design of

condition (roughness or gloss) obtained after performing a grinding or polishing operation using circular tools (which is much easier to perform). In other words, we may end to normalise the efficacy parameter as we did it this project: through the grinding operation we will measure final roughness; and through circular polishing we will measure final gloss. Although these figures are not exact as they would appear in a belt polishing operation, we will have the correct relation between results that will provide accurate information to design these tools.

Therefore, the strategy followed in this project, seemed to indicate that a measuring system where these characteristics (tool life, working speed and obtained finishing) are measured, helps to define a model where specific processes and tools can be optimized.

In relation to our main goal, to optimize the process of polishing stone we have determined the type and geometry of tools and possible number of polishing steps according to the available machines. In our case, the tools used were Fickert type and the estimated number of steps ranges from 14 to 18. Finishing was defined by a three-angle gloss, obtained by a measuring device specially used for these sorts of finishing.

As we know, to meet the minimum finishing requirements we have to optimize tool life and working speed. But the tool evaluation process is basically an economical evaluation: i.e. after reaching optimal polishing level, we have to obtain an economical profit against the process using traditional abrasives.

This profit can be achieved by different improvements: cheaper unitary tool cost, increasing productivity through higher working speed or less tool change stops; cheaper machines needed due to reduced number of steps; higher quality of the surface (obtaining less fluctuations of finish from tile to tile); etc. In this case we used again the metric system to measure the evolution of different tests, following the objective "you can improve what you can measure" not only as a quality principle, but also as a useful parameter to evaluate innovation levels.

In this specific project, our improvements had some already known base-lines, since we knew that some changes would probably approximate us from the final objective. This has allowed us, for example, to immediately verify how a change in concentration of diamond will affect the already presented phase diagram of working speed/tool life. Further experiments have also shown us trends and given us a way to find some solutions.

In the example show in the graph (Fig.6.) we can observe how we may adjust the bond depending on requirements of the customer. If final objective is work at fast working speed, we should change from initial bond to new bond 2. If the customer is demanding better life at all ranges of working speed we should use new bond 1. Similarly, we can compare this trend with trends obtained after other modifications, aiming to select of which one fits better our problem. For example we can also modify diamond concentration to obtain much better tool life at lower working speed (see Fig.7).

However, we cannot guarantee tool performance for

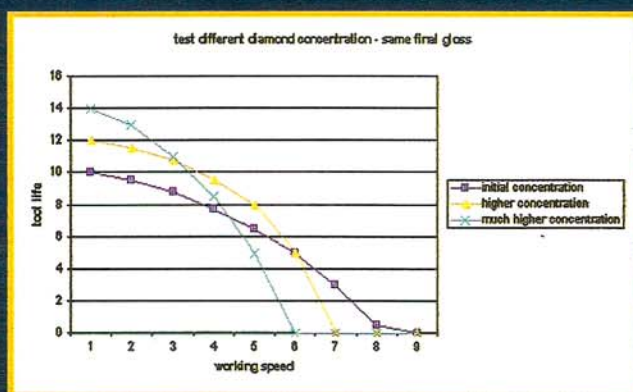


Fig.7 "Diagramma di fase" della progettazione di un utensile dopo aver cambiato alcuni parametri di progettazione: concentrazione di diamante (la scala è semplicemente un numero per esemplificare quella che potrebbe essere la variazione fra i parametri)
 "Phase Diagram" of a tool design after changing some design parameters: diamond concentration (scale used is merely a figure merit to exemplify what could be the variation between the parameters)

the tool, but on the other hand, diamond grit, type and concentration; bond and manufacturing cycle, etc. must be tested to determine the life of the tool and the maximum working speed. These two features (tool vs. equipment) are usually related to each other in a way that increasing tool life means lowering working speed, if all the remaining conditions are kept constant.

Therefore we may optimise the design of the tool in a "phase diagram" where working speed and tool life are defined for a specific material and finishing (Fig.5).

Constraints are normally attributed to the machine and process available for performing the task.

The efficacy of the polishing process is measured through the two main finishing parameters: gloss and roughness, which need to be measured in the material.

On the other hand, the general efficiency is measured by the working speed (efficiency of the process) and the tool life (efficiency of the tool). This can be also seen through an "extended metric" capable of being used in any process. Efficiency parameters may remain as they are, i.e. in line with the elementary parameters introduced in the previous chapter. Efficacy, or, in other words, what we aim to obtain using a specific tool, can be measured in relation to the accessory parameters.

In order to optimise tool design we may also use the already presented IST classification system.

In this case, we can relate the resultant force for cutting operations (specific to each type of tool) with the surface

Se l'obiettivo finale è di lavorare ad una velocità superiore, dobbiamo passare dal legante iniziale al legante nuovo n. 2. Se il cliente invece richiede una migliore durata, a tutte le velocità di lavorazione, dobbiamo impiegare il legante nuovo n.1.

In modo analogo possiamo confrontare questo comportamento con quelli ottenuti dopo altre modifiche, al fine di scegliere quale si adatti meglio al nostro problema. Per esempio, possiamo anche modificare la concentrazione di diamante per ottenere una durata di gran lunga migliore ad una velocità di lavorazione inferiore (vedi Fig.7). Tuttavia, non possiamo garantire la prestazione dell'utensile per velocità di lavorazione superiori. Considerando che stiamo misurando i parametri con lo stesso sistema, possiamo confrontare i risultati dei due grafici. Inoltre, abbiamo potuto utilizzare i risultati precedenti, ottenuti anni fa per un altro cliente (con requisiti diversi), e utilizzarli oggi come contributo per ottimizzare questi tipi di utensili (per es. trovare il risultato migliore usando una concentrazione maggiore di diamante e il legante nuovo n. 2).

Attualmente la POMDI è in grado di utilizzare questo sistema quantitativo per controllare la qualità dei propri prodotti. Inoltre la POMDI può garantire quale sarebbe la durata utensile minima e la velocità di lavorazione minima prevista, per gli utensili del presente studio, in modo che i clienti possano anche quantificare ed ottimizzare i loro processi.

4. Osservazioni finali

Se una tale metodologia standard si diffonderà a livello mondiale, tutte le aziende direttamente coinvolte, che forniscano utensili o lavorino materiali potranno utilizzare un linguaggio comune per caratterizzare gli utensili in modo oggettivo ed utile. Tale metodologia potrà essere utilizzata in aree diverse:

1) COME PARAMETRO QUANTITATIVO PER PORRE OBIETTIVI E QUANTIFICARE I RISULTATI DIRETTI DI STUDI INNOVATIVI (È QUESTO LO SCOPO PRINCIPALE PER CUI È STATA SVILUPPATA). Per esempio, la lucidatura di superfici di pietra con utensili diamantati è un'area studiata solo recentemente, ma anche ampiamente. Possiamo definire i) l'esatta finitura superficiale necessaria e ii) le fasi intermedie da prevedere, data la configurazione della macchina esistente. In termini economici possiamo fissare la velocità di lavorazione e la durata utensile che ci aspettiamo di raggiungere per avere un insieme di utensili redditizi in relazione al loro costo di produzione. Il vantaggio di utilizzare un sistema quantitativo diffuso conferisce al progetto un linguaggio comune che permetterebbe sviluppi più "trasparenti", cioè risultati più realistici per quanto riguarda i nostri concorrenti (potremmo quantificare quanto distiamo dalla concorrenza), per l'ufficio ricerche delle aziende, come pure per i loro venditori. In questo caso ci aspettiamo che anche i fornitori di diamanti siano al corrente di quali parametri di prezzo e di qualità si debbano realizzare per essere competitivi.

In questo studio possiamo ipotizzare che la POMDI abbia un problema riguardante la prestazione di mole per la bordatura del vetro. Supponiamo che, mirando alle stesse esigenze di finitura stabilite dal cliente, gli utensili abbiano un parametro minore di durata utensile e velocità di lavorazione, in confronto ad un altro fornitore. L'obiettivo principale sarà di ottenere una

prestazione analoga. Il passo successivo si avvierà con un nuovo progetto, stabilito esplicitamente con i parametri dell'altro fornitore. Il programma di test sarà condotto usando una concentrazione diversa di diamante, granulometrie diverse, leganti diversi, processi diversi ecc. e misurando i cambiamenti della prestazione con il sistema qui proposto. In un tale lavoro possiamo determinare l'influenza di ogni fattore sulla prestazione dell'utensile. Inoltre potremmo anche usare questi risultati in altre applicazioni, utilizzando sempre la stessa metodologia. In un altro esempio, ipotizziamo che un'azienda voglia soddisfare rapidamente i requisiti di un cliente, mentre questi sta pensando di acquistare una nuova macchina per lo stesso processo. Per esempio, supponiamo che la differenza consista nel fatto che la macchina nuova può raggiungere una velocità di rotazione maggiore. In questo caso (macchina nuova e utensili progettati appositamente), dopo aver osservato l'influenza della rotazione sulla prestazione dell'utensile e utilizzando i risultati esposti nella sezione precedente, possiamo facilmente ottimizzare un utensile in queste nuove condizioni, fornendo al cliente un aumento previsto della velocità di lavorazione e/o della durata utensile; ciò aiuterà a valutare con maggior sicurezza l'investimento nel nuovo tipo di macchina.

2) USATO COME SISTEMA PER STABILIRE GLI STANDARD DI QUALITÀ E PER FOCALIZZARE GLI SFORZI CONTINUI DI MIGLIORAMENTO. Poniamo, per esempio, che stiamo tentando di applicare un sistema di qualità sei-sigma in un impianto industriale (come quello della POMDI), impiegando il suo metodo a cinque fasi: definizione, misurazione, analisi, miglioramento e controllo. Fasi come la definizione e la misurazione sarebbero più facili se già esistesse una metodologia standard. Anche l'analisi e il miglioramento trarrebbero beneficio da un sistema quantitativo coerente, perché si saprebbe come migliorare rispetto ai risultati precedenti. Infine anche la fase di controllo sarebbe più facile da effettuare, considerato che sia l'azienda che i concorrenti utilizzerebbero metodologie standard.

Come esempio, possiamo ipotizzare che un'azienda riceva un reclamo da un cliente, riguardante la durata di un utensile. Attualmente l'unica informazione ricevuta è che l'utensile resiste meno della vita minima stimata, stima basata sull'esperienza precedente del cliente e non su un dato oggettivo. Con un linguaggio comune il cliente può reclamare sulla base di un dato oggettivo, quello che un utensile vendutogli con un determinato parametro di durata non è durato come avrebbe dovuto; per lo meno, e per un qualsiasi scopo, il cliente è in grado di quantificare le differenze fra diversi utensili (e quindi fra i fornitori). Con la metodologia standard, possiamo "tradurre" questo reclamo in parametri quantitativi (se la durata è la metà di quella solita il parametro di durata cambierà di conseguenza) e verificare quale variabile di produzione, o combinazione fra esse, induca una diminuzione del parametro di durata. L'entità della diminuzione potrebbe essere tale da far pensare che, secondo le nostre misurazioni precedenti, l'unica origine del problema sia, con ogni probabilità, relativa alla concentrazione di diamante. Questo ci consentirà di affrontare il problema molto più velocemente fino a scoprire che potrebbe esserci un problema nella pesatura del diamante. Al contrario, la diminuzione della durata potrebbe essere molto piccolo-



higher working speeds. Considering that we are measuring parameters with the same metric system we can compare the results of both graphics.

Moreover, we were capable of using previous results obtained years ago for another customer (with different requirements), and still use them in the present as a contribution to optimize those types of tools (e.g., finding the better result by using higher diamond concentration and new bond 2).

At the present, POMDI is capable of using this metric system for controlling the quality of their own products. Furthermore, POMDI is able to guarantee what would be the expected (minimum) tool life and expected (minimum) working speed for the tools in the present case-study, so that customers will be also able to quantify and optimize their processes.

4. Final Remarks

If such standard methodology becomes spread worldwide, all the companies directly involved, tool suppliers and material processors, will be able to use a standard language to characterise tools in a objective and useful way. This standard methodology of measuring the behaviour of the tool may be used in different areas:

1) USED AS A QUANTITATIVE PARAMETER TO SET GOALS AND QUANTIFY DIRECT RESULTS OF INNOVATIVE STUDIES (WHICH WAS THE MAIN PURPOSE FOR WHICH IT WAS INITIALLY DEVELOPED). For instance, polishing stone surface using diamond tools is a recently but widely investigated area. We can define:

- i) the exact surface finishing we need;
- ii) the intermediate steps we must account for due to the configuration of existing the machine.

In economical terms we can fix the working speed and tool life that expect to achieve in order to have a profitable set of tools, in relation to its production cost.

The advantage of using a widely spread metric confers to the project a common language, which would originate more "transparent" developments, i.e. more realistic results for and from our competitors (we could quantify how far are we standing from our competition); for companies' research department; as well as for their sales force. In this case, we expect that even diamond suppliers will be aware of what kind of price and quality parameters must be attained in order to be competitive. In this case-study, we may suppose that POMDI has a problem with the performance edging wheels for flat glass. Let us suppose that, aiming the same finishing need fixed by the customer, tools have a smaller parameter for tool life and working speed, when compare with another supplier. The main goal will be to aim a similar performance. The next step will start by initiating a new design project with that goal, which was explicitly set by the other supplier's parameters.

The inherent test programme will be conducted by using different diamond concentration, different grit sizes, different bonds, different processes, etc and measure the changes in the performance by applying this metric

system proposed in this work. In such work, we were able to determine the influence of every factor on tool performance. Furthermore, we may also use these results in other applications since as long as we will always use the same standard methodology.

Another example could be expecting that a company is able to rapidly meet the requirements of the customer at the same time as he is thinking about purchasing a new machine for the same process.

For example, let us assume that the difference is that the new machine is able to reach higher tool rotation. In this case (e.g., new machine and specially designed tools), after testing the influence of rotation in the tool performance, and using the results showed in the early paragraph, we may easily optimize a tool under these new conditions, giving to the customer an expected increase in working speed and/or tool life, which will also help to evaluate with more self-assurance the investment in this new machine.

2) USED AS A SYSTEM TO SET QUALITY STANDARDS ISSUES AND FOCUS THE CONTINUOUS IMPROVEMENT EFFORTS.

Let us say, for example, that we try to implement a six-sigma quality system in a industrial plant (such as POMDI's), using its five stages or phases method: define, measure, analyse, improve and control.

Phases such as define and measure would be easier if a standard methodology already exists. Analyse and improve will also benefit from a coherent metric system because we will know how to improve previous results. Finally, the control stage will also be easier to implement considering that both company and competitors are using standard methodologies. As an example, we can simulate that the company receives a claim from one of its customers regarding tool life. Nowadays, the only information received is that the tool is lasting less than the estimated minimum life, being this estimation based on previous experience of the customer and not based on any objective data. With a common language the customer can objectively claim, i.e. a tool was sold with a determined tool life parameter which has not last as long as it should, or, at least, and for any purpose, the customer is able to quantify the differences between several tools (and hence tool suppliers).

With the standard methodology presented we may "translate" this claim into quantitative parameters (if life is half than usual, the tool life parameter will vary accordingly) and check which production variable, or combination, induces a decrease in the tool life parameter such as it is described by the customer.

The decrease level could be such that, according to our previous measurements, the only origin of the problem is most probably a major problem in the diamond concentration. This will allow us to address the problem much faster to find out that, we may have a problem in weighing the diamond. On the contrary, the tool life decrease can be very low. In this case, the type of problem may be neglected or, after a deeper search, we may find out that the origin of such problems is much related with



la; in questo caso il problema può essere trascurabile oppure, dopo uno studio più approfondito, potrebbe risultare che l'origine di esso è collegata alla temperatura di sinterizzazione. Una metodologia standard ha un forte impatto nella risoluzione dei reclami e nell'individuazione dei problemi e costituirebbe la base per definire un sistema di conoscenze sulla qualità, per ogni produttore di utensili.

3) USATO COME STRUMENTO DI MARKETING.

Questo aspetto potrebbe costituire il vantaggio principale di una metodologia standard. Considerando che possiamo definire e quantificare la qualità dell'utensile, sarà molto più facile per i clienti scegliere un utensile con una determinata combinazione fra qualità e prezzo; più facile per un gruppo di venditori vendere utensili con una certa qualità a diversi prezzi; più facile ottenere una segmentazione del mercato; possiamo anche differenziarci dai nostri concorrenti vendendo utensili con un comportamento garantito.

È fuori dubbio che la comunicazione è una componente fondamentale del nostro sforzo di marketing.

Inoltre, se rendiamo tangibile quello che è stato finora intangibile, questo sarà senz'altro un vantaggio.

Quantificando i risultati, potremmo aspettarci da qualsiasi ufficio di promozione la realizzazione di tecniche di vendita nuove e convincenti per comunicare e convincere i clienti sui vantaggi dei suoi prodotti.

Per esempio, la strategia più comune della POMDI è "testare e aspettare i risultati". Ora la POMDI è in grado di realizzare una strategia nuova.

Se il cliente conosce il significato del sistema quantitativo, può offrire vantaggi quantificati come utensili meno costosi per ottenere un risultato simile o giustificare oggettivamente perché gli utensili possano essere più costosi. È risaputo che la maggior parte dei clienti non investe sufficientemente nelle prove sugli utensili. Inoltre tutti riconoscono le difficoltà di vendere utensili più costosi in base, per esempio, alla loro redditività nel lungo termine.

Normalmente i clienti della POMDI hanno poche motivazioni per verificare se il prezzo di un utensile è più alto di quanto dovrebbe essere. Questo porterà ad una "guerra" dei prezzi in cui nessuno risulterà vincitore. Se ne assicuriamo la validità usando un sistema di test quantificati, la motivazione aumenterà.

Se la validità di questo sistema è già assimilata dai clienti in relazione a qualsiasi produttore di utensili, ciò rafforzerà la motivazione a cambiare ogni qual volta sia necessario, per esempio quando la POMDI offre un'opzione migliore quantificata.

Ancora, la trasparenza porterà ad un mercato più efficiente e ad un prezzo non incentrato unicamente sulla capacità di acquisto e di vendita dell'individuo.

Si potrebbe istituire, per esempio, un sistema metrico di confronto della qualità per i produttori di polveri di diamante. Per esempio, i clienti della Element Six sapranno che cosa aspettarsi da una PDA768 in confronto ad una PDA446 o ad una PDA878.

Inoltre sarà possibile richiedere una qualità di diamante che non è mai stata testata, riuscendo ugualmente a stimarne la prestazione. In pratica, se un cliente della POMDI le chiederà di costruire un utensile da applicare su un materiale più duro di quanto sarebbe normale per questo tipo di utensile, potremo modificarlo, sostituendo il solito diamante PDA878 col PDA989,

supponendo che questo duri di più nella lavorazione del materiale più duro.

Inoltre ci aspetteremo un prezzo più alto per questa polvere di diamante. Invece attualmente, quando saliamo nella filiera commerciale, l'utensile che utilizza la polvere nuova è più costoso senza che il cliente ne sappia il motivo preciso, o l'entità del miglioramento garantito da questo prezzo superiore.

L'unico parametro affidabile per il cliente è la fiducia che ripone nel costruttore dell'utensile.

Usando un sistema quantitativo possiamo offrire ai clienti un nuovo utensile con un parametro di durata misurata (o persino classificata) più lunga del precedente. Per raggiungere questo scopo, dobbiamo essere in grado di comunicare e di diffondere i sistemi metrici e di addestrare gli agenti commerciali ad usare lo stesso linguaggio.

4) IN RELAZIONE A QUANTO SOPRA, QUALSIASI NORMATIVA DEVE ESSERE COMPRESA DALLA COLLETTIVITÀ A LIVELLO MONDIALE, PER CUI COMPARIRANNO NUOVE OPPORTUNITÀ DI FORMAZIONE.

Per esempio i clienti possono essere sensibilizzati sugli elementi fondamentali per valutare l'efficienza dei loro processi, come pure sul modo per ottimizzarli; i venditori potranno quantificare i requisiti dei loro clienti, ecc. Volete cogliere l'occasione per organizzare un corso in cui poter incontrare alcuni dei vostri clienti e addestrarli a comprendere i vantaggi dei vostri utensili?

Possiamo organizzare un corso sul sistema quantitativo degli utensili, con vantaggi per tutte le persone coinvolte: clienti che sappiano che cosa aspettarsi e chiedere; produttori di utensili che sappiano che cosa offrire e che siano informati sulla concorrenza.

4. Ringraziamenti

Gli autori, dell'Istituto Superior Técnico, desiderano esprimere la loro riconoscenza per il sostegno finanziario del Progetto Europeo PROSTONE (COLL-CT-2005-516417).

L'azienda POMDI esprime ringraziamento per l'appoggio al progetto POLIPIEDRA, N° 05-0197, finanziato in parte dallo spagnolo "Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)" e dal programma PROFIT (Ref. N° FIT-030000-2005-74).

Inoltre l'azienda FrontWave esprime la sua gratitudine per l'appoggio finanziario dato al progetto NITEC/49/11/05 (71/00043), da parte della portoghese Agência de Inovação.

Questo articolo è basato su una memoria presentata alla prima Conferenza Internazionale del Diamante Industriale tenutasi a Barcellona, Spagna, ad ottobre ed è stampata con il gentile permesso di Diamond at Work Ltd.



the sintering temperature. A standard methodology has a strong impact in solving claims and detecting problems, and would be the background to define a knowledge based system on quality for any tool producer.

3) USED AS A MARKETING TOOL.

This item could turn out to become the main advantage of a widely spread standard methodology.

Taking into account that we are able to define and quantify the quality of the tool, it will be much easier for customers to choose a given quality-price tool; easier for any sales team to sell tools with certain quality at different prices; easier to obtain market segmentation; we may even differentiate from our competitors by selling tools with a guaranteed behaviour.

There is no question that communication is a crucial component of our marketing effort. Moreover, if we make tangible the, until now, intangible, that will certainly be an advantage. By quantifying the results, we could expect from any promotion department the implementation of new convincing sales techniques to communicate and convince customers about the advantages of their own products. For example, POMDI's most common strategy used is "test and wait for results".

Now, POMDI is able to implement a new strategy. If the customer knows the meaning of the metric system, they can offer quantified advantages such as cheaper tools for the achieving a similar result, or objectively, justify why tools maybe more expensive. We all know that most of customers do not invest sufficiently on tool testing.

We all also recognise the difficulties of selling more expensive tools based, for example, on their long-term profitability. Normally, POMDI's customers have little motivation to check it if the price of the tool is higher than it should. This will lead to a price "war" where no one will become a winner. If we assure profitability, using quantitative tested results, motivation will increase.

If the validity of this metric system is already absorbed by the customers in relation to any tool producer, this will reinforce the motivation for changing whenever it is necessary, for example, when POMDI offers a quantified better option. Again, transparency would lead to more efficient market and a price less centred uniquely on the ability of whoever is capable of selling and buying. We may give as an example, the quality metric system applied for diamond powder manufacturers.

For example, Element Six's customers know what they should expect from a PDA768 compared with PDA446 or PDA878. Moreover, it is possible that we ask for a type of diamond never been tested and still able to estimate its performance. In practice, if a customer of POMDI asks to manufacture a tool that will be applied in a harder material than it usually is, we may modify the usual PDA878 diamond, into PDA989 assuming that it will last longer working on that harder materials. Also, we will expect a higher price for this diamond powder.

However, at the present, when we go up in the commercial chain, the tool using the new diamond powder will be more expensive, but customer will not know exactly

why neither how much improvement is inherent to this higher price. The only reliable parameter for the customer will be the trust he has on the tool producer.

Using a metric system, we may offer customers a new tool with quantified (or even ranked) longer life parameter than previous.

To achieve this purpose, we must be able to communicate and spread out the metric systems, and train the commercial agents to talk in the same "language".

4) RELATED TO WHAT AS DESCRIBED ABOVE, ANY STANDARD NEEDS TO BE UNDERSTOOD BY A WORLD-WIDE COMMUNITY. Therefore, we recognised that new training opportunities will certainly appear. For example, customers can be trained to be aware of what elements are crucial to assess the efficiency of their processes as well as a way to optimize them; sales team will be able to quantify the requirements of their customers; etc...

Would you like an excuse to organize a course where you can meet some of your customers and train them to understand the advantages of your tools?

We can organize a course on the tool metric system. This would benefit all persons involved: customers that know what to expect and what to ask for; tool producers that know what to offer and to what they are competing against.

4. Acknowledgments

The authors from Instituto Superior Técnico wish to acknowledge the financial support of the European Project PROSTONE (COLL-CT-2005-516417).

The company POMDI wishes to acknowledge the support of project POLIPIEDRA, Nº 05-0197, partially financed by the Spanish "Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI)" and by the programme PROFIT (Ref. Nº FIT-030000-2005-74).

The company FrontWave also expresses acknowledges the financial support of project NITEC/49/11/05 (71/00043), financed by the Portuguese Agência de Inovação.

This article is based on a paper presented at the 1st International Industrial Diamond Conference held in Barcelona, Spain in October 2005 and is printed with kind permission of Diamond at Work Ltd.

5. References

- [1] D.N. Wright and W.R.J. Tagg, The development of a rock classification system for use with diamond tools. *Industrial Diamond Review*, 1998. 58(4): p. 113-120.
- [2] P.M. Amaral: Mechanical Behaviour of Ornamental Stones, Doctor Engineering Thesis, (Technical University of Lisbon, 2004).
- [3] P.M. Amaral, L. Guerra Rosa and J. Cruz Fernandes: An analysis on the correlation between the abrasiveness of several types of granite and some of their macromechanical properties. in *Materiais'99*. 1999. Guimarães.
- [4] L. Guerra Rosa, J. Cruz Fernandes and P.M. Amaral: Method for Classification of Stone Materials According to their Abrasiveness. in *Proceedings of EUROTHEN'99 Workshop - European Commission - Industrial and Materials Technologies Programme*. 1998. Athens.
- [5] Final Technical Report of European Project "VIPS" - Machine Vision for Inspection of Polished Stone", 2005.