

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE
NC GESELLSCHAFT

Prüfrichtlinien und Prüfwerkstücke für
hochdynamische Bearbeitungen (HSC)
Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren
für 3-Achs-Bearbeitung
Testing guidelines and testing workpieces for
high speed cutting (HSC)
Milling machines and machining centres
for 3-axis machining

VDI/NCG 5211

Blatt 1 / Part 1
Entwurf / Draft

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Einsprüche bis 2014-01-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal <http://www.vdi.de/einspruchsportal>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik
Fachbereich Technische Logistik
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Prüfung von HSC-Systemen	8
2.1 Anforderungen an HSC-Systeme	8
2.2 Bearbeitungsvorbereitung	9
2.3 Werkzeugliste	11
2.4 Vorbearbeitung des Prüfwerkstücks:	11
2.5 Beschreibung der Formelemente	13
2.6 Auswertung	24
2.7 Ausrichtung des Prüfwerkstücks zur Vermessung	24
2.8 Beurteilung der Bearbeitungsergebnisse	24
2.9 Hinweise zum Gebrauch der NC-Programme (VDI 5211 Blatt 2)	24
Anhang	26
A1 Fertigungsprotokoll (Beispiel)	26
A2 Prüfprotokoll zur Sichtkontrolle (Beispiel)	28
A3 Prüfprotokoll zur Form- und Lagekontrolle (Beispiel)	30
A4 Prüfprotokoll zur Masskontrolle (Beispiel)	34
A5 Prüfprotokoll zur Zeitkontrolle (Beispiel – Element 8, Kegelstumpf)	34
Schrifttum	36

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	5
2 Checking of HSC systems	8
2.1 Requirements of HSC systems	8
2.2 Preparation for machining	9
2.3 Tool list	11
2.4 Premachining the test workpiece	11
2.5 Description of the form elements	13
2.6 Evaluation	24
2.7 Aligning the test workpiece for measurement	24
2.8 Assessing the machined results	24
2.9 Notes on using the NC programs (VDI 5211 Blatt 2)	24
Annex	27
A1 Production report	27
A2 Visual inspection report (example)	29
A3 Form and position inspection report (example)	32
A4 Dimensional inspection report (example)	35
A5 Time check report (example – element 8, cone frustum)	35
Bibliography	36

VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (GPL)

Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren

VDI-Handbuch Produktionstechnik und Fertigungsverfahren, Band 2: Fertigungsverfahren
VDI/VDE-Handbuch Mikro- und Feinwerktechnik

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Die NC-Gesellschaft e.V., Ulm, versteht sich seit ihrer Gründung im Jahre 1975 als europäische Interessengemeinschaft zwischen Anwendern, Herstellern und Ausbildungsinstituten für alle Bereiche der Fertigungstechnologie.

Im September 1997 wurde der Entwurf der Empfehlung mit der Maßgabe einer breiten öffentlichen Bewertung und Erprobung vorgestellt. Diese konstruktiven Kritiken wurden eingearbeitet, sodass mit dieser endgültigen Fassung der NCG-Empfehlung 2004 Teil 1 die internationale Verbreitung und Anwendung folgt.

Mit der NCG-Empfehlung 2004 Teil 1 wurde ein erster konstruktivkritischer Dialog zum Thema Hochgeschwindigkeitsbearbeitung durch HSC-Fräsen abgeschlossen, der nun in eine VDI-Richtlinie überführt wird.

Der Vergleich oder die Abnahme von Maschinen bzw. Systemen für die Hochgeschwindigkeitszerspannung ist im Vergleich zu bisher bekannten, konventionellen Methoden schwieriger. Bisher wurden vielfach Maschinen durch die Fertigung eines Standardabnahmeteils (Abnahmeteil nach Richtlinie VDI 2851 oder nach NAS 913) abgenommen oder untereinander verglichen. Ergänzend oder alternativ erfolgte die Fertigung eines kundenspezifischen Teils, das Basis für die Prüfung der bestellten Maschinenspezifikation war. Letztendlich bedeutete dieses kundenspezifische Teil einen zusätzlichen Aufwand für alle Beteiligten an diesem Entscheidungsprozess.

Hinzu kommt in der Interpretation derartiger Teile, dass die jeweiligen Programmier- oder CAM-Systeme bei zwar fest definierter Teilegeometrie das Bearbeitungsprogramm oder den NC-Quellcode unterschiedlich generieren. Die NC-Programme haben unterschiedliche Maschinenbewegungen

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI Notices (www.vdi.de/richtlinien).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

Introduction

Since it was established in 1975, the NC-Gesellschaft e.V. of Ulm has acted as an European interest group for users, manufacturers and training institutions working in all areas of production technology.

In September 1997 a draft of this recommendation was published to be widely and publicly evaluated and tested. The constructive criticism received was then incorporated into the draft, resulting in a definitive version as NCG Recommendation 2004 Part 1 for international publication and application.

The NCG Recommendation 2004 Part 1 concludes the first phase of constructive and critical debate on the subject of high-speed machining using HSC (high-speed cutting) methods. The NCG recommendation is now incorporated into a VDI Standard.

It is more difficult to compare or acceptance-test machines or systems for high-speed cutting than it was using the old, conventional methods. In the past, machines were often acceptance-tested or compared to one another by producing a standard acceptance workpiece (acceptance workpiece to standard VDI 2851 or NAS 913). In addition (or alternatively), a customer-specific workpiece was also produced. This was then used as the basis for testing the ordered machine specification. Ultimately, this customer-specific workpiece represented an additional cost for everyone involved in the decision-making process.

Another factor in the interpretation of such workpieces is that the programming or CAM systems used will generate different machining programs or NC source code for the same accurately defined workpiece geometry. For the same workpiece geometry, different NC programs will result in dif-

und technologische Daten bei gleicher Teilegeometrie zur Folge. Eine exakte Vergleichbarkeit der Teile mit Rückschluss auf die Maschinenfähigkeiten ist nicht möglich.

Weiterhin ist anzumerken, dass die Fertigung von Prüfwerkstücken und insbesondere deren Beurteilung zum Teil unter konträren Randbedingungen oder Kriterien erfolgen kann. Für die Endanwendung tut sich stets der Zielkonflikt zwischen Genauigkeit und Geschwindigkeit auf. Die in dieser Richtlinie beschriebenen Formelemente werden zum Teil auch durch diese konträren Kriterien beurteilt. Festzuhalten bleibt dabei, dass die Ergebnisse auch gravierend durch die Einstellung der Maschinensteuerungen beeinflusst werden können. Damit ist diese Randbedingung stets bei der Fertigung von Prüfwerkstücken zu beachten und entsprechend zu dokumentieren, sodass eine kritische Bewertung der Ergebnisse erfolgen kann.

Bei der Hochgeschwindigkeitszerspanung kommen verstärkt hochdynamische Maschinensysteme mit hohen Beschleunigungen, Achsgeschwindigkeiten und Drehzahlen zum Einsatz, die zudem oftmals aufgrund der Anwendungsfälle eine simultane Bearbeitung in mehreren Achsen durchführen. In dieser Bearbeitung versagen die bisher bekannten Standardabnahmeteile wenn es darum geht, eine Beurteilung des Zusammenwirkens mehrerer hochdynamischer Achsen durchzuführen. Bei der Maschinenbeschaffung und dem dann durchgeführten Benchmarking von HSC-Systemen (Maschine, Spindel, Steuerung und gegebenenfalls auch Programmierstrategie oder -system) werden die unterschiedlichsten Prüfteile von Hersteller zu Hersteller gereicht und dort mit meist erheblichem Aufwand eingefahren.

Die Richtlinienreihe VDI 5211 besteht aus den folgenden Blättern:

- Blatt 1** Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren für 3-Achs-Bearbeitung
- Blatt 2 Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren für 5-Achs-Simultan-Bearbeitung
- Blatt 3 Fräsen in der Mikrobearbeitung

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/5211.

Im Werkstück sind wesentliche Geometrielemente definiert, die es ermöglichen, Maschinen hinsichtlich der Dynamik, der Bearbeitungsgeschwindigkeit und der Genauigkeit so zu vergleichen und abzunehmen, dass die jeweiligen Einzelkomponenten (z.B. Achsen) im Zusammenwirken beurteilt werden können. Dem Endanwender werden Hinweise gegeben, welche Maschineneigenschaften

ferent tool motions and technical data. The workpieces produced will thus not be totally comparable, which means that accurate conclusions cannot be drawn about the machines' capabilities.

It should also be noted that test workpieces can be produced and, in particular, assessed with reference to contradictory constraints or criteria. The final application is always a compromise between the conflicting objectives of accuracy and speed. Some of the form elements described in this standard are also assessed using these contradictory criteria, although it should be remembered that the results can be significantly affected by the machine control settings. Consequently, this constraint should always be considered and documented accordingly when producing test workpieces so that the results can be subjected to critical assessment.

Today, high-speed machine systems with high accelerations and axis and rotational speeds are increasingly used for high-speed cutting. Such machines often work simultaneously in several axes, according to the application. For such machining methods, in particular, the old standard acceptance workpieces are inadequate for assessing the interaction between several high-speed axes. When we purchase new machinery and thus benchmark HSC systems (machine, spindle, control and sometimes the programming strategy or system), a vast range of non-standard parts are passed from one manufacturer to another and have to be set up, generally at considerable expense.

The series of standards consists of the following parts:

- Part 1** Milling machines and machining centres for 3-axis machining
- Part 2 Milling machines and machining centres for the 5-axis simultaneous milling
- Part 3 Milling; Micromachining

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the internet at www.vdi.de/5211.

This workpiece contains the essential geometry elements needed to compare and acceptance-test machines with respect to dynamic performance, machining speed and accuracy, such that the interaction between the individual components (e.g. axes) can be assessed. The end user is informed which machine characteristics are reflected in the various geometry elements of the acceptance workpiece.

sich an den Geometrielementen des Abnahmeteils widerspiegeln.

Damit kann das gegenüber der konventionellen Zerspaltung komplexere HSC-System, das als Plattform mehrerer ineinandergreifender Prozesse gesehen werden kann (Bild 1), verifiziert werden.

Diese Richtlinie ergänzt die folgenden Richtlinien und Normen:

VDI/DGQ 3441:1977-03 Statistische Prüfung der Arbeits- und Positionsgenauigkeit von Werkzeugmaschinen; Grundlagen

VDI/DGQ 3443:1977-03 Statistische Prüfung der Arbeitsgenauigkeit von Fräsmaschinen

VDI/DGQ 3444:1978-09 Statistische Prüfung der Arbeits- und Positionsgenauigkeit von Koordinaten-Bohrmaschinen und Bearbeitungszentren

DIN ISO 230-1:1999-07 Werkzeugmaschinen; Prüfregeln für Werkzeugmaschinen; Teil 1: Geometrische Genauigkeit von Maschinen, die ohne Last oder unter Schlichtbedingungen arbeiten (ISO 230-1:1996)

Die Prüfwerkstücke sollen zur Einschätzung der Fertigungsgenauigkeit des HSC-Systems bei Anfertigung der Werkstücke ohne Einfluss des jeweiligen Programmiersystems dienen. Die Werkstücke können für Vergleichsuntersuchungen, zur Ma-

This makes it possible to verify HSC systems, which are more complex than conventional cutting tools and can be regarded as a platform for several interlinked processes (Figure 1).

This standard supplements the following standards:

VDI/DGQ 3441:1977-03 Statistical Testing of the Operational and Positional Accuracy of Machine Tools; Basis

VDI/DGQ 3443:1977-03 Statistical examination of exactly working of milling machines

VDI/DGQ 3444:1978-09 Statistical control of exactly working and positioning of coordinate drilling machines and machining centers

DIN ISO 230-1:1999-07 Machine tools; Test code for machine tools; Part 1: Geometric accuracy of machines operating under no-load or finishing conditions (ISO 230-1:1996)

The test workpieces are designed for assessing the production accuracy of the HSC system during production of the workpieces, and take no account of the programming system used. The workpieces may be used for comparative tests, for assessing or

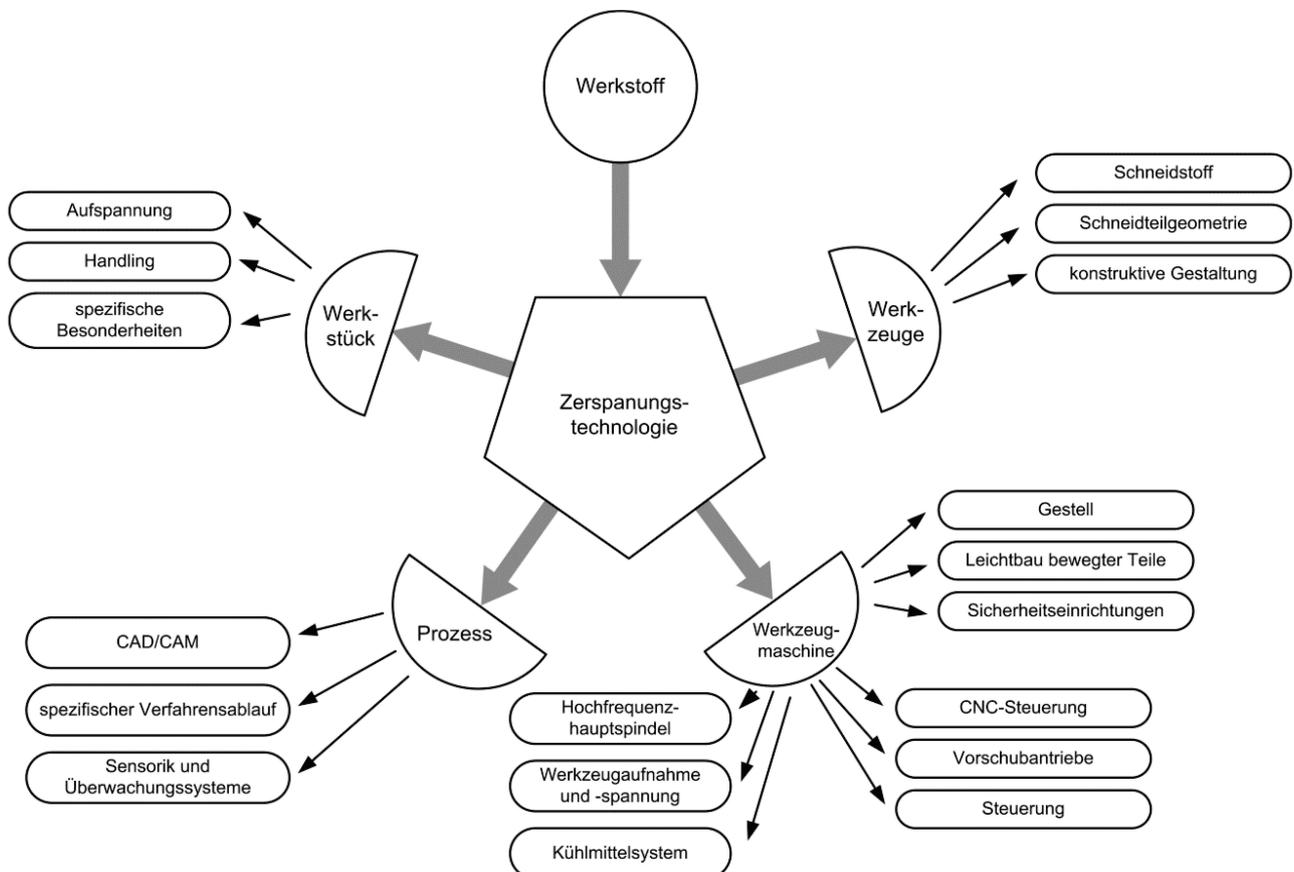


Bild 1. HSC-System als Prozessplattform (Quelle: Prof. Schulz, PTW Darmstadt)

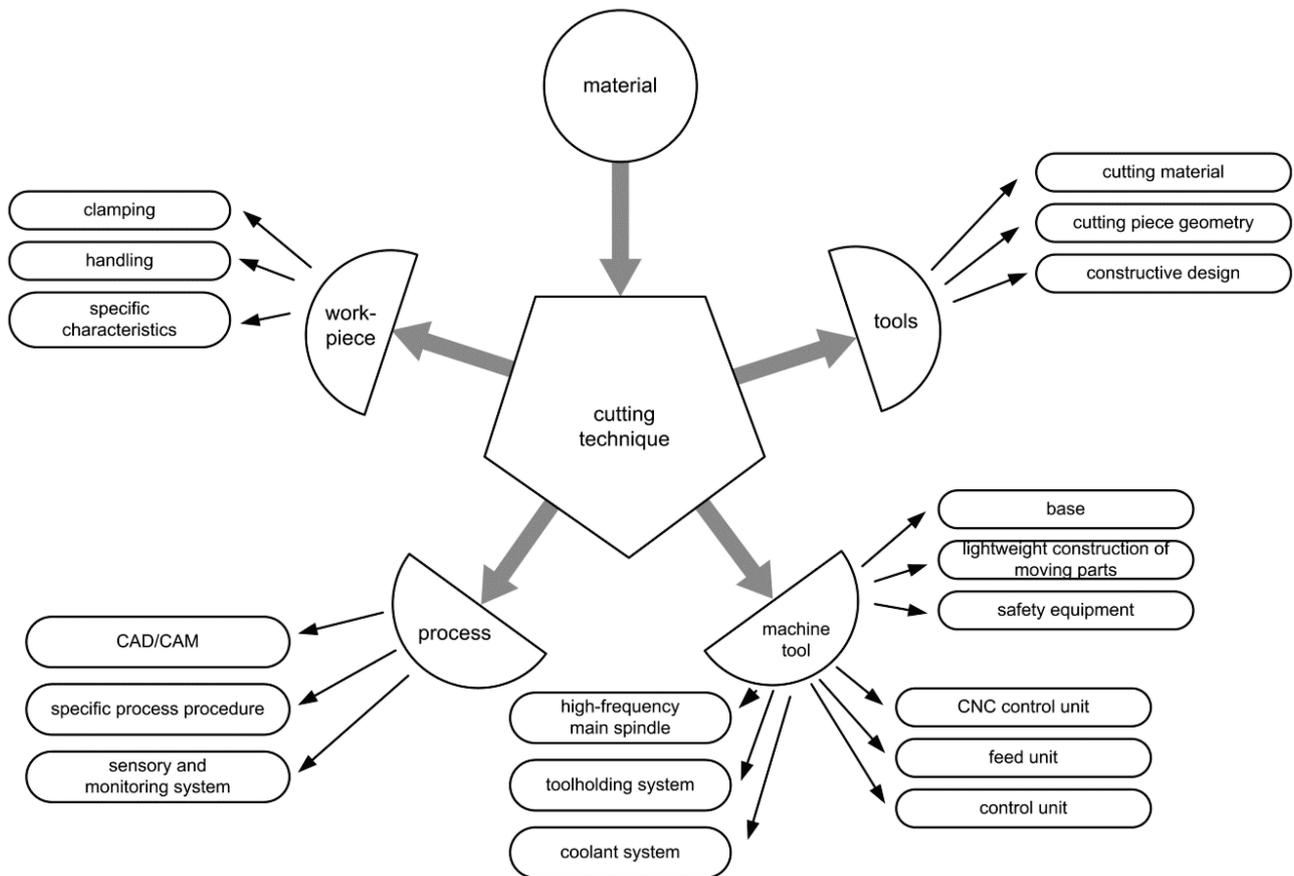


Figure 1. The HSC system as a process platform (source: Prof. Schulz, PTW Darmstadt)

schinenbeurteilung oder -abnahme und zur periodischen Beurteilung der Maschineneigenschaften eingesetzt werden. Damit kann es bei der Maschinenbeschaffung, der Maschinenabnahme, bei der Beurteilung der Anlage vor Ablauf der Garantiezeit sowie im Rahmen der Instandhaltung zum Einsatz kommen.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie sowie das definierte Prüfwerkstück und die Geometrielemente kommen bei hochdynamischen Zerspanungsprozessen mit rotierenden Werkzeugen mit definierten Schneiden zur Anwendung.

Diese Zerspanungsprozesse, die sich durch die Steigerung von Vorschüben, Drehzahlen und Maschinendynamik bis hin zu stabilen reproduzierbaren Grenzwerten auszeichnen, werden als Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC) oder High Velocity Machining (HVM) bezeichnet. Sie zeichnen sich durch die folgenden Vorteile bzw. Anwendungsbereiche aus:

- Mit der Steigerung der Drehzahlen wird eine wesentliche Steigerung der Vorschubgeschwindigkeiten bei gleicher Spannungsdicke und damit gleichen Bearbeitungskräften mit dem Vorteil entscheidender Hauptzeitverkürzungen möglich,

acceptance-testing machines and for periodically assessing the machine’s characteristics. They can thus be used when purchasing or acceptance-testing machines, when assessing the system before the warranty period expires and during maintenance.

1 Scope

This standard and the test workpiece and geometry elements defined herein are applicable to high-speed cutting processes using rotating tools with defined cutting edges.

These cutting processes, which are characterized by increased feedrates, speeds and dynamic performance right up to stable and reproducible limit values, are known as high-speed cutting (HSC) or high velocity machining (HVM). They have the following benefits and fields of application:

- As the speed increases, it is possible to substantially increase the feedrate for the same cutting thickness and thus the same cutting force. This has the benefit of considerably reducing the machining time and helping to omit manual re-

was entweder unmittelbar oder mittelbar über den Wegfall von manuellen Nacharbeiten (z.B. im Werkzeug- und Formenbau) zur Reduzierung der Durchlaufzeiten beiträgt.

- Bei gleichen installierten Schnittleistungen wird mit der Steigerung der Drehzahlen eine Senkung der Bearbeitungskräfte durch geringere werdende Spanungsdicken möglich.
- Durch die möglichen Steigerungen der Vorschubgeschwindigkeiten kann eine Erwärmung des Werkstücks durch die Ableitung der Zerspanungswärme in den Grundwerkstoff infolge einer „schnellen“ Abspannung des erwärmten Spanungsquerschnitts gemindert werden. Die Wärmeabfuhr erfolgt zum größten Teil durch die Späne.
- Durch die wesentlich gesteigerten Beschleunigungswerte gerade bei der Bearbeitung von Bohrungen werden die Qualität und die Werkzeugstandzeit erheblich verbessert.

Beachtet man die zurzeit zur Verfügung stehenden Schneidstoffe, so muss die HSC-Zerspanung hinsichtlich der Schnittgeschwindigkeiten unter der Prämisse akzeptabler Standzeiten in der Bearbeitung differenziert betrachtet werden (Bild 2).

Es ergeben sich in der Endanwendung entscheidende Vorteile, die zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit in der spanenden Fertigung führen (Bild 3).

working steps (in tool or mould making, for example), thus directly or indirectly reducing the overall processing time.

- For the same installed cutting capacity, the machining forces can be decreased as the speed increases since the cutting thicknesses are reduced.
- By increasing the feedrate, workpiece heating can be minimized since the heat of machining is dissipated into the base material due to “fast” stock removal from the heated cutting cross-section. Most of the heat is dissipated in the swarf.
- The substantially increased acceleration values, even when machining holes, greatly improve the quality and tool life.

If we consider the cutter materials currently available, then we must examine high-speed cutting more closely with respect to cutting rates, assuming that the tool life values are acceptable (Figure 2).

The final application thus has decisive advantages that increase the economic viability of the cutting process (Figure 3).