

ICS 25.120.40

Methode zur Bestimmung von Prozesseingangsgrößen für das elektrochemische Präzisionsabtragen – Anforderungen, Kriterien, Festlegungen

Method for determining process input parameters for precision electrochemical machining – requirements, criteria, definitions

Méthode pour déterminer des unités de mesure d'entrée de processus pour l'usinage de précision électrochimique – Exigences, Critères, Spécifications

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln einer PAS erstellt.

Gesamtumfang 28 Seiten

Dieses Dokument wurde durch die im Vorwort genannten Verfasser erarbeitet und verabschiedet.

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Kurzbeschreibung	8
6 Anforderungen	9
6.1 EC-Fertigungsmaschine	9
6.1.1 Allgemeines	9
6.1.2 Prozessstrom	9
6.1.3 Frontarbeitsabstand	10
6.2 Abtragvorrichtung	10
7 Probekörper und Kathode	11
7.1 Form und Abmaße	11
7.2 Anzahl	12
7.3 Vorbehandlung der Probekörper	12
7.4 Kathodenwerkstoff	12
8 Prüfverfahren	13
8.1 Abtragexperimente	13
8.1.1 Allgemeines	13
8.1.2 Grobanalyse	13
8.1.3 Feinanalyse	15
8.2 Analysereihen	16
8.2.1 Ermittlung der werkstoffspezifischen Abtragkenngrößen	16
8.2.2 Ermittlung der Zustandsänderung im Arbeitsabstand	17
8.2.3 Ermittlung des Oberflächenerscheinungsbildes	17
9 Auswertung und Angabe der Ergebnisse	17
9.1 Ermittlung der Stromdichte	17
9.2 Ermittlung der werkstoffspezifischen Abtragkenngrößen	18
9.3 Ermittlung der prozesszustandsabhängigen Leitfähigkeit	19
Anhang A (informativ) Empfohlene Prozesseingangsgrößen	23
Anhang B (informativ) Empfohlene Prozessgrößenerfassung	24
Anhang C (informativ) Ermittlung werkstoffspezifischer Abtragkenngrößen für das EC- Abtragen mit kontinuierlichem Gleichstrom	25
Anhang D (normativ) Darstellung des Oberflächenerscheinungsbildes	27
Literaturhinweise	28

Vorwort

Diese DIN SPEC wurde nach dem PAS-Verfahren erarbeitet. Die Erarbeitung von DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren erfolgt in Workshops und nicht zwingend unter Einbeziehung aller interessierten Kreise.

Die Erarbeitung und Verabschiedung des Dokuments erfolgten durch die nachfolgend genannten Initiator(en) und Verfasser:

- Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Dr.-Ing. Gunnar Meichsner
- Procter & Gamble Service GmbH
Dipl.-Ing. Dr. techn. Alois Köppl
- Robert Bosch GmbH
Dipl.-Ing. Stephan Wengerek
- SITEC Industrietechnologie GmbH
Dr.-Ing. Robin Schulze
- Technische Universität Chemnitz
PD Dr.-Ing. habil. Dipl.-Phys. Matthias Hackert-Oschätzchen

Für dieses Thema bestehen derzeit keine Normen.

DIN SPEC sind nicht Teil des Deutschen Normenwerks.

Für diese DIN SPEC wurde kein Entwurf veröffentlicht.

Trotz großer Anstrengungen zur Sicherstellung der Korrektheit, Verlässlichkeit und Präzision technischer und nicht-technischer Beschreibungen kann der Workshop weder eine explizite noch eine implizite Gewährleistung für die Korrektheit des Dokuments übernehmen. Die Anwendung dieses Dokuments geschieht in dem Bewusstsein, dass der Workshop für Schäden oder Verluste jeglicher Art nicht haftbar gemacht werden kann. Die Anwendung der vorliegenden DIN SPEC entbindet den Nutzer nicht von der Verantwortung für eigenes Handeln und geschieht damit auf eigene Gefahr.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Die kostenfreie Bereitstellung dieses Dokuments als PDF-Version über den Beuth Webshop wurde im Vorfeld finanziert.

Einleitung

Das Grundprinzip aller fertigungstechnischen Umsetzungen des elektrochemischen (EC) Abtragens besteht in dem anodischen Auflösen eines metallischen Werkstücks an dessen Grenzfläche zu einem flüssigen Ionenleiter, dem Elektrolyt, unter dem Einfluss von elektrischem Ladungstransport. Das Abtragprinzip ermöglicht es, metallische Werkstücke unabhängig von deren mechanischer Härte zu bearbeiten. Darüber hinaus erfolgt der Abtrag kraftfrei und bei maximalen Prozesstemperaturen von ca. 80 °C. Damit ist im Vergleich zu konkurrierenden trennenden Fertigungsverfahren wie Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide (z. B. Fräsen), Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide (z. B. Schleifen), thermischem Abtragen (z. B. Funkenerosives Abtragen) eine wirtschaftliche Bearbeitung komplexer Geometrien mit schädigungsfreien Oberflächen möglich. Die Auslegung des Bearbeitungsprozesses hinsichtlich der präzisen Abbildung von geometrischen Formen auf Werkstücken erfolgt bei den industriellen Anwendern des EC-Abtragens häufig in Form von empirischen Bemusterungen. Die Bemusterungen zur Auslegung des Bearbeitungsprozesses sind hochgradig ineffizient, da in der Regel eine Vielzahl rückläufiger Schritte notwendig ist, eine Vielzahl nicht verwertbarer Ausschussteile produziert wird und eine Vielzahl an Fertigungsressourcen gebunden wird. Die aktuelle Herangehensweise liegt darin begründet, dass zwei wesentliche Prozesseingangsgrößen nicht mit hinreichender Genauigkeit aus Literaturwerten abgeleitet werden können. Dies sind zum einen Abtragkenngrößen des Werkstoffes, welche materialspezifisch, elektrolytspezifisch und anlagenspezifisch sind. Zum anderen hängt der Bearbeitungsprozess von der lokalen prozesszustandsabhängigen elektrischen Leitfähigkeit des Elektrolyten ab. Dabei sind die Abtragkenngrößen des Werkstoffes die übergeordneten Einflussgrößen für den Bearbeitungsprozess.

Die DIN SPEC beschreibt eine Methode, welche auf der Ermittlung der werkstoffspezifischen Abtragate beim EC-Präzisionsabtragen unter Verwendung einer industriellen EC-Fertigungsanlage basiert. Unter Nutzung einer speziellen Abtragvorrichtung und unter Einhaltung von definierten Randbedingungen kann die Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Kathode und Anode als Vergleichsgröße für die Ermittlung der Abtragkenngrößen ausgewertet werden. Anhand von systematischen Abtragexperimenten lassen sich so die Abtragfunktionen der werkstoffspezifischen Abtragate und die Zustandsänderung im Arbeitsabstand ermitteln. Hieraus können für das EC-Präzisionsabtragen Prozesseingangsgrößen bestimmt werden.

1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC legt Anforderungen und Randbedingungen für die Bestimmung von Prozesseingangsgrößen für das elektrochemische Präzisionsabtragen fest und definiert den experimentellen Aufbau und Prozessgrößen. Die notwendigen Arbeitsschritte für die Abtragexperimente und die Ableitung der Prozesseingangsgrößen werden beschrieben. Diese DIN SPEC gilt ausschließlich für das EC-Präzisionsabtragen mit gepulstem Strom und oszillierendem Arbeitsabstand.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 8580, *Fertigungsverfahren — Begriffe, Einteilung*

DIN 8590, *Fertigungsverfahren Abtragen — Einordnung, Unterteilung, Begriffe*

DIN EN ISO 25178-2, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft — Teil 2: Begriffe und Oberflächen-Kenngrößen*

DIN EN ISO 4287, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 8580, DIN 8590 und die folgenden Begriffe.

3.1 elektrochemisches Präzisionsabtragen EC-Präzisionsabtragen

elektrochemisches Abtragen mit gepulstem Gleichstrom und oszillierender Kathode oder oszillierender Anode

Anmerkung 1 zum Begriff: Kathode bezeichnet das Werkzeug.

Anmerkung 2 zum Begriff: Anode bezeichnet das Werkstück.

3.2.1 Prozesseingangsgröße

maschinenseitige Einstellgröße, wie beispielsweise Bearbeitungsspannung U_q , Senkgeschwindigkeit v_t , Strompulsfrequenz f_p und Strompulsbreite t_p

3.2.2 Prozessgröße

Größe, die für einen quasi-stationären Prozess definiert werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Das DKE-IEV Online Wörterbuch listet unter der Nummer 113 Prozessgrößen auf [6].

3.3 Abtragkenngröße

aus den Abtragfunktionen abgeleiteter Wert, welcher den werkstoffspezifischen Abtrag beschreibt

3.4 Abtragfunktion

abgeleitete mathematische Funktion zur Beschreibung des werkstoffspezifischen Abtrags sowie der Zustandsänderung im Arbeitsabstand

3.5

werkstoffspezifische Abtragate

resultierende Abtraggeschwindigkeit in einer Raumrichtung

3.6

Zustandsänderung im Arbeitsabstand

Leitfähigkeitsänderung im Arbeitsabstand infolge des Wirkens von Elektrolytspülung und der prozessbedingten Änderungen der Elektrolyttemperatur sowie der Konzentration von Abtrag- und Reaktionsprodukten

3.7

lokale prozesszustandsabhängige elektrische Leitfähigkeit

momentan vorherrschende Leitfähigkeit des Elektrolyten im Arbeitsabstand zwischen Anode und Kathode während des Abtragprozesses

3.8

Arbeitsabstand

Distanz zwischen Kathode und Anode

3.9

Arbeitsspalt

Volumen, das durch die Anodenfläche und die Kathodenfläche sowie den Abstand zwischen diesen Flächen aufgespannt wird

3.10

Strömungslänge

Länge des vom Elektrolyten zurückgelegten Weges im Arbeitsabstand vom Einlass zum Auslass

3.11

Senkweg

während des Bearbeitungsprozesses durch die Relativbewegung zwischen Kathode und Anode zurückgelegte Weg

3.12

Senkgeschwindigkeit

Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Kathode und Anode während des Bearbeitungsprozesses

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wurde nicht der Begriff Vorschubgeschwindigkeit benutzt, da dieser Begriff in der Zerspanung verwendet wird.

4 Symbole und Abkürzungen

A_a	Abtragfläche
c	Tastgrad
d_{PK}	Durchmesser des Probekörpers
d_K	Durchmesser der Kathode
f_p	Strompulsfrequenz
f_z	Oszillationsfrequenz
h_{PK}	Höhe des Probekörpers
I	Prozessstrom
I_m	Mittlere Stromstärke

I_{soll}	Soll-Prozessstrom
J	Elektrische Stromdichte
J_{min}	Minimale elektrische Stromdichte
M	Molare Masse
m_{a}	Abgetragene Masse
m_{eff}	Effektiver Masseabtrag
m_{sp}	Spezifischer Masseabtrag
p_{el}	Elektrolytdruck
p_{in}	Elektrolyteingangsdruck
Q	Elektrische Ladung
Ra	Arithmetischer Mittenrauwert nach DIN EN ISO 4287, 4.2.1
s	Arbeitsabstand
Sa	Arithmetischer Mittenrauwert nach DIN EN ISO 25178-2, 4.1.7
s_{F}	Frontarbeitsabstand
$s_{\text{F-A}}$	Anfangsfrontarbeitsabstand
$s_{\text{F-E}}$	Endfrontarbeitsabstand
t_{a}	Abtragzeit
t_{off}	Strompulspause
t_{p}	Strompulsbreite
t_{Proz}	Prozessdauer
U_{Σ}	Summe aller Überspannungen der Grenzschichten an Anode und Kathode
U_{q}	Bearbeitungsspannung
v_0	Schnittpunkt der Linearisierung v_{a} mit Y-Achse
v_{a}	Abtraggeschwindigkeit
$v_{\text{a-PDC}}$	Bearbeitungsgeschwindigkeit des EC-Präzisionsabtrags
v_{f}	Senkgeschwindigkeit
V_{eff}	Effektives Abtragvolumen
V_{m}	Anstieg der $v_{\text{a}} - J$ Kennlinie
V_{sp}	Spezifisches Abtragvolumen
$\dot{V}$	Volumenstrom

w	Massenanteil Salz
x	Strömungslänge
z	Senkweg der z-Achse
z_A	Elektrochemische Wertigkeit
Z	Schwingbreite der Oszillation (Spitze–Tal–Wert)
σ_{el}	Elektrische Elektrolytleitfähigkeit
$\sigma_{el-Proz}$	Prozesszustandsabhängige elektrische Elektrolytleitfähigkeit
ϑ_{el}	Elektrolyttemperatur
ρ	Massendichte
φ	Pulsphase
F	Faraday-Konstante $9,64853 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$
EC	Elektrochemisch
PDC	Pulsed direct current

5 Kurzbeschreibung

Ein zylindrischer Probekörper (Anode) wird stirnseitig mit Hilfe einer ebenen Kathode anodisch abgetragen (siehe Bild 1). Zur Ermittlung der werkstoffspezifischen Abtraggeschwindigkeit des Probekörpers wird die Senkgeschwindigkeit ausgewertet. Im Abtragexperiment wird ein Gleichgewichtsarbeitsabstand zwischen Kathode und Probekörper herbeigeführt, sodass die Abtraggeschwindigkeit gleich der Senkgeschwindigkeit ist. Darüber hinaus erfolgt die Erfassung des Prozessstroms und des Endarbeitsabstandes.

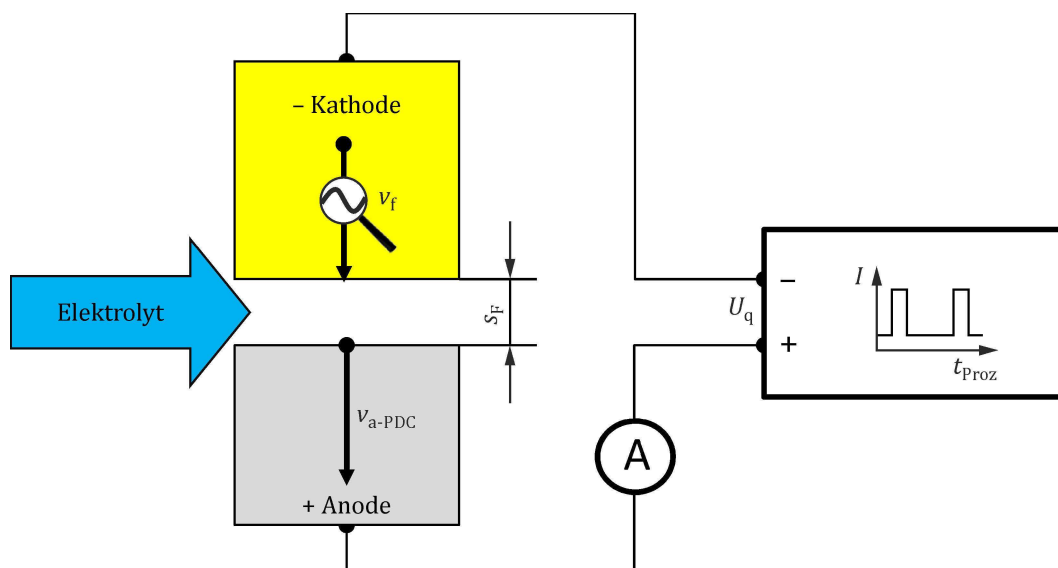


Bild 1 — Elektrodenanordnung nach [1]

6 Anforderungen

6.1 EC-Fertigungsmaschine

6.1.1 Allgemeines

Maschine für das EC-Präzisionsabtragen mit der Spezifikation:

- Gepulster Gleichstrom; mit einstellbarer Strompulsbreite und Strompulsfrequenz;
- Oszillierende Kathode; die Relativbewegung der Kathode ist mit einer Oszillationsbewegung überlagert, mit einer konstanten Schwingbreite Z und einer Oszillationsfrequenz f_z ; die Oszillationsfrequenz sollte gleich der Strompulsfrequenz sein

Typische Wertebereiche und Toleranzen von Prozesseingangsgrößen werden in Tabelle 1 dargestellt. Empfohlene Prozesseingangsgrößen sind in Anhang A dargestellt.

Tabelle 1 — Prozesseingangsgrößen, Wertebereiche und Toleranzen

Benennung	Symbol	typischer Wertebereich	empfohlene maximale Abweichung im Prozess
Bearbeitungsspannung	U_q	5 V bis 20 V	$\pm 0,1$ V
Strompulsbreite	t_p	1 ms bis 5 ms	$\pm 0,1$ ms
Strompulsfrequenz	f_p	10 Hz bis 60 Hz	$\pm 0,5$ Hz
Oszillationsfrequenz	f_z	10 Hz bis 60 Hz	$\pm 0,5$ Hz
Schwingbreite der Oszillation	Z	0,1 mm bis 0,5 mm	$\pm 0,01$ mm
Senkweg der Z-Achse	z	≤ 150 mm	$\pm 0,01$ mm
Senkgeschwindigkeit	v_f	0,007 mm/min bis 1 mm/min	$\pm 0,002$ mm/min
Elektrolytart		NaNO ₃	
Massenanteil Salz	w	1 % bis 20 %	$\pm 0,01$ %
Elektrolytleitfähigkeit	σ_{el}	10 mS/cm bis 170 mS/cm	± 1 %
Elektrolyttemperatur	ϑ_{el}	18 °C bis 30 °C	$\pm 0,1$ K
Elektrolytdruck	p_{el}	< 5 bar	$\pm 0,1$ bar
pH-Wert		6 bis 8	$\pm 0,5$
Volumenstrom pro 1 cm² bearbeitete Fläche	$\dot{V}/A_a$	(1,5 l/min bis 3,0 l/min) / cm ²	($\pm 0,2$ l/min) / cm ²

6.1.2 Prozessstrom

Die EC-Fertigungsmaschine muss den Prozessstrom als Funktion $I = f(t_{\text{proz}})$ mit einer Toleranz von $\pm 0,1$ A erfassen, anzeigen und ausgeben können. Eine Ausgabe einzelner Strompulse ist nicht notwendig. Der Prozessstrom kann der Mittelwert der maximalen Stromstärke fortlaufender Strompulse über eine Zeitschrittweite sein. Die Zeitschrittweite sollte nicht mehr als 0,5 s betragen. Zudem sollten die Toleranzen der Strompulsbreite und der Strompulsfrequenz nach Tabelle 1 für den Prozessstrombereich von 10 A bis 200 A sichergestellt werden. Anderenfalls ist eine Charakterisierung der Strompulse im Prozessstrombereich durchzuführen.