

Elektrochemisches Senken (ECM) schafft kreativen Freiraum

Konstruieren ohne fertigungstechnisches Limit

Je vertrackter die Form, desto kostengünstiger das Verfahren: Vor allem bei Werkstücken aus hartem oder als „schmierig“ und damit schwierig zu bearbeitendem Material zeigt das elektrochemische Senken (ECM), welche kreativen Freiheiten mancher Konstrukteur hätte, wäre er mit den Möglichkeiten dieser Technologie vertraut. Weder komplexe Geometrien noch Hinterschnitte machen bei ECM Probleme. Vielmehr sind homogene Gefüge, rissfreie Oberflächen und sicher kalkulierbare Werkstückeigenschaften der Standard.



Bild 1

Gesamtansicht: Hochdruck-Turbinenscheibe aus einer auf Nickel basierenden Legierung. Der Durchmesser beträgt 500 mm.

Bild: Rolls-Royce

„Recast layer“ und „Grat“ sind Fremdwörter bei der elektrochemischen Senkbearbeitung metallischer Teile. Denn anders als bei Verfahren wie dem funkenerosiven Abtragen (EDM) oder dem Fräsen mit hohen Umdrehungs- und Vorschubzahlen (HSC) bleibt das Oberflächen-

gefüge der Werkstücke unverletzt und unverändert. ECM ist ein abbildendes Verfahren, bei dem die Werkzeugform sich über einen elektrochemischen Prozess berührungsfrei in den Werkstückstoff einsenkt und für perfekte Geometrien sorgt. Dabei entstehen weder Flankendruck noch Aufwerfungen oder Risse und damit Sollbruchstellen. Gerade bei Teilen mit solch rigiden Sicherheitsanforderungen wie im Turbinenbau macht sich das Verfahren bezahlt.

Die Werkstückhärte ist unerheblich

Mit ECM können prinzipiell sämtliche elektrisch leitenden Werkstoffe bearbeitet werden. Auch Titan oder „schmierige“ Werkstoffe mit Nickelanteil bis zu 60 % sind kein Problem. Die Werkstoffhärte ist dabei unbedeutend, da das Verfahren nicht me-

chanisch abträgt, sondern vielmehr elektrochemisch bei maximal 60 bis 80 °C arbeitet. Einzige dabei auftretende mechanische Beanspruchung ist der hydraulische Druck, mit dem die Elektrolytlösung das Werkstück umspült. Dieser liegt zwischen 5 und 15 bar. Insoweit entstehen weder Mikrorisse, Aufhärtungen oder weitere Veränderungen der Materialstruktur.

Klassische Einsatzbereiche sind der Maschinen- und Anlagenbau (Profilierungen für Walzenmühlen und -pressen), die Luftfahrt (Turbinscheiben und -gehäuse), die Wehrtechnik (Leitwerke, Flügel), Kraftwerkkomponenten (beispielsweise Laufräder, aber auch spezielle Siebplatten für Kernkraftwerke), Automobilkomponenten (ABS, ASR, Naben, Kolbenböden), der Werkzeugbau (Gesenke und Formen) sowie die Medizintechnik (etwa Tablettenwalzen oder Prothesen).

So sind mit ECM Hinterschnidungen oder Innenbearbeitungen gebogen verlaufender Flächen möglich, die sich für rotierende Tools qua Arbeitsweise verbieten (**Bilder 1 und 2**). Die Ein- und Austrittskontur der dort gezeigten Kühlluftbohrungen werden

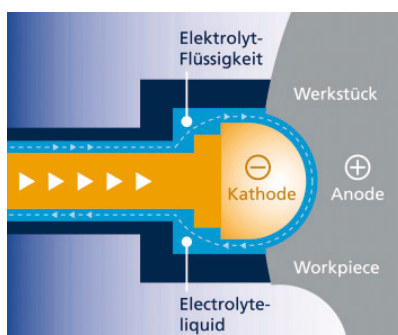
durch ECM gleich mit verrundet. Das Verfahren hat sich hier insoweit durchgesetzt. Denn ECM arbeitet abbildend mit bis zu drei NC-Achsen, und es empfiehlt sich damit für fast jede Art von Freiformfläche. Diese Flexibilität ergibt sich in erster Linie aus dem Werkzeug, also der Elektrode.

ECM-Anlagen bearbeiten großflächige Teile mit einer Stromaufnahme von maximal 20 kA bei 10 bis 20 V Gleichstromspannung. Es können Einzel- und Serienteile bearbeitet werden ab 25 mm² Fläche respektive Bauteilgrößen ab 20 mm x 20 mm x 20 mm. Bislang größtes Werkstück bei dem Hattinger Lohnfertiger Köppern GmbH+Co. KG war eine Turbinenläuferwelle mit 3200 mm Länge x 800 mm Durchmesser (**Bilder 3 und 4**). Ansonsten gilt als maximale Bauteilgröße: 1500 mm im Durchmesser, 2500 mm Höhe, 5000 kg Masse.

Alle per ECM bearbeiteten Konturen sind völlig frei von Grat. Dabei hängt die Qualität der Oberflächen vorrangig vom jeweiligen Werkstoff und der Bearbeitungsrichtung ab. Wird beispielsweise Hartmetall bearbeitet, sind die darin enthaltenen Karbide elektrisch

Elektrochemisches Senken

Das Elektrochemische Senken (Electrochemical Machining, ECM) ist ein abbildendes abtragendes Verfahren. Werkzeug und Werkstück liegen als Elektroden dabei am jeweils positiven und negativen Pol einer Gleichstromquelle mit 10 bis 20 V Spannung. Tool und Teil liegen haben zwischen 0,05 und 2 mm Abstand. Durch diesen Spalt strömt eine wässrige Elektrolytlösung. Wird das Werkzeugverfahren – üblich sind Vorschübe zwischen 0,5 und 10 mm/min – löst sich durch die im Bearbeitungsspalt ablaufenden elektrochemischen Prozesse der Werkstückstoff örtlich auf und das Teil nimmt die Positivform des Werkzeugs an. Das Oberflächengefüge des Werkstücks bleibt dabei unbeeinflusst. Maximale Prozesstemperatur ist 80 °C.



Das Wirkprinzip: ECM ist ein abbildendes Verfahren, bei dem die Werkzeugform sich über einen abtragenden Prozess berührungsfrei in den Werkstückstoff einsenkt und für perfekte Geometrien sorgt.

Grafik: Köppern



Bild 2

Detail: Umlaufende Turbinenschaufelschuhe mit bogenförmig verlaufenden, elliptischen Kühlluftbohrungen je 6,5 mm Breite.

Bild: Köppern



Bild 3

ECM-Simulation eines Turbinenläufers aus X22CrMoV21: Das Material wird von der Schaufelkrone bis hinunter zum Fuß abgetragen.

Grafik: Köppern

nicht leitend, sehr wohl jedoch die metallische Matrix, in die sie gefasst sind. Damit ist die bearbeitete Hartmetalloberfläche zwangsläufig gröber als bei durchgehend elektrisch leitendem Werkstückstoff und harmonischem Abtrag.

Andererseits ist der Stirnspalt – der Abstand zwischen Elektrode und Werkstück in Senkrichtung – mit 0,02 bis 0,1 mm eng und äußerst abbildungsgenau. Die Güte der Oberfläche ist entsprechend hoch. In dem bis zu 2 mm breiten Seitenspalt dagegen können sich strömungsbedingt leichte Welligkeiten ergeben. Als durchschnittliche Rautiefe gilt $R_a = 0,5 \mu\text{m}$ beziehungsweise $R_z = 3$ bis 4. Die erreichbare Oberflächen-güte liegt damit zwischen Schlichten und Feinschlichten, beim Stirnspalt sind auch $R_a = 0,1 \mu\text{m}$ möglich.

Unabhängig vom Werkstückstoff liegt die durchschnittliche Maßstreuung bei 0,1 mm. Exakte Aussagen zur Toleranz sind jedoch erst für das konkrete Bauteil möglich. Hier entscheidet der Gesamtzusammenhang von Material- und Maßanforderung, der Menge und der Position der ECM-Konturen sowie zwischen Bearbeitungsstrategie und Werkzeuggegebenheiten.

Konkurrenzlos hohe Vorschübe und Abtragsraten

Per ECM lassen sich sämtliche Werkstückstoffe bearbeiten, soweit sie elektrisch leiten. Das Material wird dabei ohne jede Berührung zwischen Werkstück und Werkzeug abgetragen. Dadurch liegt die geometrische Reproduzierbarkeit bei nahezu 100 %. Die Härte der Werkstückstoffe spielt dabei nur eine nachgeordnete Rolle. Bei maximal 80 °C wird das Materialgefüge thermisch weder beeinflusst und noch ergeben sich Aufhärtungen oder „recast layer“ – geschmolzener Werkstoff, der kleinste Bruchstück- und Aufschwemm-Schichten auf der Oberfläche hinterlässt. So entstehen auch keinerlei Risse in Werkstücktaschen und -auskofferungen.

Hinzu kommt die mit 0,8 bis 10 mm/min unschlagbar hohe Vorschubrate und ein zwischen 30 und 50 % schnellerer Materialabtrag als etwa beim funkenerosiven Senken (EDM). Die Qualität der Bearbeitung ist dabei völlig unabhängig vom Bedienpersonal. Die Standzeit der Werkzeuge ist theoretisch un-



Bild 4

Auch das Schärfen der Kronenstirnseite wird bei der ECM-Bearbeitung in ein und derselben Werkstückspannung erledigt.

Bild: Köppern

begrenzt, da die Elektrode ohne jeden Kontakt zum Werkstück arbeitet und demzufolge auch bei Tausenden von Einsenkungen und jahrelangem Einsatz nicht verschleißt.

Wirtschaftlich einsetzen lässt das Verfahren sich vor allem in kleinen Serien sowie überall dort, wo die spanende Bearbeitung (HSC) komplexer Geometrien zu teuer wäre oder technisch gar nicht erst möglich ist. Die Prozessstreuung insbesondere bei sehr teuren Bauteilen liegt über der konkurrierender Verfahren. So gewährleistet ECM bei der Bearbeitung von Turbinenläuferwellen optimale Ergebnisse auch dadurch, dass bereits bei der kleinsten technischen Unstimmigkeit – etwa ein ungeplanter Anstieg des Arbeitsstroms und nachfolgend Kurzschlussgefahr – die CNC-Steuerung den Vorgang ohne Beschädigung des Bauteils abbricht.

Im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) befasst sich ein eigener Ausschuss mit der Aktualisierung und Neufassung der seit 1993 geltenden Richtlinie VDI 3401.

Autoren

Dipl.-Ing./Dipl.-Wirt.-Ing.
Jörg Heuer
Bereichsleitung ECM
Maschinenfabrik Köppern
GmbH+Co. KG
Königsteiner Straße 2
D-45529 Hattingen
Tel. 02324/207-264
j.heuer@koepfern.de
www.koepfern.de

Dipl.-Ing. Wolfgang Fili
Journalist in Köln
fachjournalist@fili.net

GEHT DAS?

Extrem schnelle Bearbeitung komplexer Formen?

Exakte Reproduzierbarkeit ist bei komplexen Formen besonders wichtig. Da heißt die Lösung ECM – elektrochemische Metallbearbeitung.

Mit unserer Dienstleistung bieten wir Ihnen neue Perspektiven bei der Metallbearbeitung. ECM ist die Alternative zum Drehen, Fräsen, Erodieren.

Werkstückkonturen erzeugen wir durch elektrolytisches Abtragen und erzielen so **absolut präzise Oberflächen bei optimaler Wiederholbarkeit** – und das besonders schnell.

Geht alles mit ECM!

- Freiformflächen
- Absolut gratfrei
- Extrem harte Werkstoffe
- Kurze Bearbeitungszeit
- Oberflächenqualität $Rz < 3 \mu\text{m}$
- Keine Gefügeveränderungen

MASCHINENFABRIK KÖPPER GMBH & CO KG

Königsteiner Straße 2
45529 Hattingen
Tel (+49) 23 24-207-0
Fax (+49) 23 24-207-205
ecm@koepfern.de
www.koepfern.de