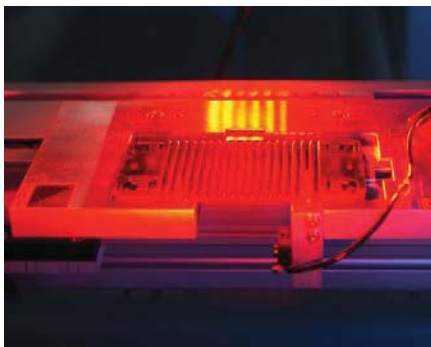




Zentrum für
BrennstoffzellenTechnik

Richtlinie

Qualitätskontrolle Bipolarplatten



Optische Qualitätskontrolle
spritzgegossener,
graphitischer Bipolarplatten



Das vorliegende Dokument wurde im Rahmen des IGF-Vorhabens 16072 BG der Forschungsvereinigung Umwelttechnik erstellt, welches über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde.

Zentrum für BrennstoffzellenTechnik
ZBT GmbH
Carl-Benz-Straße 201
47057 Duisburg

Telefon: +49-203-7598 3812
Telefax: +49-203-7598 2222
www.zbt-duisburg.de
t.grimm@zbt-duisburg.de

Handelsregister Duisburg HRB 9229
USt. Ident. Nr./ VAT No.
DE 217681999
Konto 20 900 91 25
BLZ 350 500 00
Sparkasse Duisburg

Geschäftsführung:
Prof. Dr. rer. nat. A. Heinzl
Dipl.-Volksw. G. Schöppe
Dipl.-Ökon. U. Boß

Inhaltsverzeichnis

Anmerkungen	Seite 2
Abbruchkante Anguss	Seite 3
Allgemeine Abmessungen	Seite 5
Dicke / Keilform	Seite 7
Ebenheit / Parallelität	Seite 9
FlowField Struktur	Seite 11
Grate	Seite 13
Haarrisse	Seite 15
Mangelhafte Nachbearbeitung	Seite 17
Nuttiefe	Seite 19

Anmerkungen

Die vorliegende Richtlinie resultiert aus den im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) durchgeführten und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) finanzierten Forschungsarbeiten des Vorhabens 16072BG „Entwicklung einer Methode zur Qualitätssicherung bei der Fertigung von Bipolarplatten für Brennstoffzellen“. Sie fasst die Ergebnisse aus den unterschiedlichen Prüfungen und Entwicklungen für die einzelnen qualitätssichernden Parameter zusammen und untersetzt sie in entsprechenden Empfehlungen.

Die durchgeführten Untersuchungen wurden an (teilweise bewusst fehlerhaft produzierten), spritzgegossenen, graphitischen Bipolarplatten des Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) durchgeführt. Eine Adaption der Ergebnisse auf Produkte anderer Hersteller ist nach Rücksprache mit den beteiligten Forschungsstellen möglich.

Im Rahmen der vorliegenden Richtlinie wird eine fundierte Kenntnis über den Herstellungsprozess graphitischer Bauteile sowie den Zusammenhang der einzelnen Spritzgießparameter vorausgesetzt – widersprüchliche Maschineneinstellungen werden somit ebenso ausgeschlossen wie eine vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung.

Bei den Visualisierungen der empfohlenen Prüfbereiche ist stets die Plattenoberseite dargestellt. Ist eine Kontrolle beider Seiten notwendig, so findet sich ein entsprechender Hinweis im Text – auf eine gesonderte Darstellung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

Die vorliegende Richtlinie beinhaltet die im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeiteten Erkenntnisse zur Detektion optischer Fehler spritzgegossener, graphitischer Bipolarplatten. Weitere qualitätstechnische Merkmale (Leitfähigkeit, Festigkeit, usw.) sind daher kein Bestandteil dieses Dokumentes, trotzdem aber von elementarer Signifikanz für die Gesamtqualität der Bipolarplatten.

Die Bewertung der jeweiligen Parameterrelevanz bezieht sich im Bereich „Sicherheit“ vornehmlich auf potentielle Leckagen der Brennstoffzellen. Hinsichtlich der „Funktionalität“ fungiert die erzielbare Zelleistung als Bewertungsgrundlage.

QS-Parameter Abbruchkante Anguss	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
	x			x		
Beispiel 	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Kühlzeit • Werkzeugtemperatur • Massetemperatur <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Materialzusammensetzung • Geometrie des Anguss im Werkzeug • Ausführung der mechanischen Abtrennung 					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Diffuse Hellfeldbeleuchtung / Durchlichtbeleuchtung 					
Beschreibung <p>Die Abtrennung des Anguss von der Bipolarplatte erfolgt am Entnahmeroboter durch eine mechanische (Über-)Belastung der Sollbruchstelle in einer entsprechend ausgelegten Vorrichtung. Weist das Material zum Zeitpunkt der Abtrennung aufgrund der thermischen Bedingungen im Prozess nicht die notwendige Beständigkeit auf, erfolgt eine unsaubere Abtrennung mit zurückbleibendem Grat. Daher beeinflusst neben den thermischen Prozessbedingungen auch der zeitliche Ablauf nach der Entformung diesen QS-Parameter. Die Geometrie des Anguss im Werkzeug sowie die Ausführung der mechanischen Abtrennung sind zwar ebenso relevante Bedingungen, im Prozess jedoch nicht beeinflussbar.</p>						
Prüfbereich <p>Die Kontrolle des Parameters ist geometriebedingt auf den unmittelbaren Übergang zwischen Bipolarplatte und (abgetrennten) Anguss beschränkt, eine einseitige Überprüfung ist ausreichend:</p> 						

Prüfzeitpunkt

Die Prüfung ist vor der mechanischen Bearbeitung durchzuführen, da diese (nach aktuellem Stand der Technik) keinen Einfluss bezüglich der Angussabtrennung aufweist und fehlerhafte Bipolarplatten möglichst früh aus dem Wertschöpfungsprozess entfernt werden sollten.

Einfluss

Eine unsaubere Abtrennung des Anguss hat keine direkte Auswirkung auf die Sicherheit oder Funktionalität einer Brennstoffzelle, da der zurückbleibende Grat nicht innerhalb des funktionellen Bereichs liegt. Für die auf den Spritzgießprozess nachfolgenden Fertigungsschritte ist jedoch eine exakte Positionierung der Bipolarplatten notwendig, welche durch den Grat negativ beeinflusst wird.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der weiteren Bearbeitungsprozesse vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

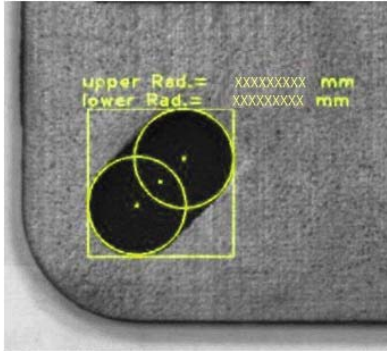
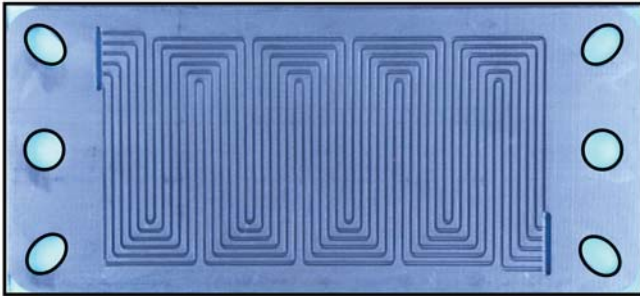
Empfehlungen

- Zur Gewährleistung einer gratfreien Angussabtrennung ist die Korrelation zwischen den thermischen Parametern des Prozesses und dem Zeitpunkt der Angussabtrennung aufeinander abzustimmen, wobei erstgenannte aufgrund ihres signifikanten Einflusses auf Fehlerparameter mit höherer Relevanz nur unter Vorbehalt verändert werden sollten. Des Weiteren ist die Geometrie des Angusses gemäß den in der Fachliteratur beschriebenen Empfehlungen auszuführen.
- Zur Detektion einer unsauberen Angussabtrennung ist ein einfacher Soll-Ist-Vergleich mit Prüfung auf vorhandene Strukturen ausreichend. Bei der Bildgewinnung können dabei sowohl diffuse Hellfeldbeleuchtungen sowie Durchlichtbeleuchtungen zum Einsatz kommen.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Allgemeine Abmessungen (Maßhaltigkeit ohne Dicke)	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
	x			x		
Beispiel 	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nachdruckhöhe • Nachdruckzeit • Kühlzeit • Massetemperatur • Werkzeugtemperatur <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Materialzusammensetzung 					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Diffuse Hellfeldbeleuchtung • Optik mit großer Brennweite 					
Beschreibung <p>Durch die Schwindung während des Abkühlprozesses im Werkzeug entsteht eine Abweichung zwischen dem Kavitätsmaß und den realen Abmessungen der Bipolarplatten. Aufgrund zu niedriger Nachdruckparameter wird diese Schwindung des Materials im Werkzeug nicht hinreichend ausgeglichen und es kommt zu Abweichungen bezüglich der Abmessungen. Die Temperaturen zeigen ebenfalls eine Signifikanz hinsichtlich der Maßhaltigkeit, da eine höhere Massetemperatur die Wirkung der Nachdruckphase verbessert, währenddessen aus einer Erhöhung der Werkzeugtemperatur eine höhere Wärmemenge zum Siegelzeitpunkt resultiert, wodurch insbesondere die Nachschwindung außerhalb des Werkzeugs begünstigt wird.</p>						
Prüfbereich <p>Zur Kontrolle der Abmessungen sind die Plattenkonturen zu überprüfen, eine einseitige Kontrolle ist ausreichend:</p>						
						

Prüfzeitpunkt

Prinzipiell ist der Prüfzeitpunkt frei wählbar, eine vorherige Entfernung der Grate begünstigt dabei die Darstellbarkeit. Des Weiteren ist, aufgrund der geringen Relevanz des Parameters und seiner Stetigkeit in einem stabilen Prozess, die Notwendigkeit der Prüfung individuell zu bewerten.

Einfluss

In Abhängigkeit der Intensität der Abmessungsabweichungen besteht die Gefahr, dass die Funktionalität der Brennstoffzelle nicht mehr gegeben ist, da die Komponenten der dem Spritzgießen nachfolgenden Fertigungsschritte (Membran-Elektroden-Einheit, Dichtung, etc.) auf die Abmessungen der Bipolarplatten abgestimmt sind. Insbesondere im Hinblick auf eine Beeinflussung der Dichtungskontur besteht ebenso eine sicherheitstechnische Relevanz.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der weiteren Brennstoffzellenkomponenten vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

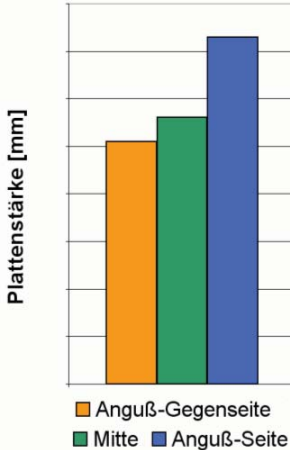
Empfehlungen

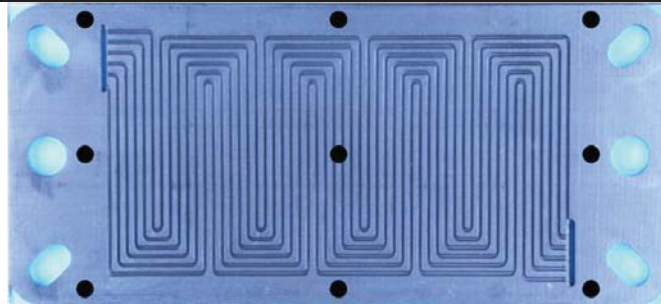
- Zur Vermeidung signifikanter Abweichungen von den vorgegebenen Abmessungen sind die Spritzgießparameter des Nachdrucks und der Masse- / Werkzeugtemperaturen so einzustellen, dass ein optimales Verhältnis zwischen Schwindung und Schwindungsausgleich erreicht wird. Aufgrund der niedrigen Parameterrelevanz ist die Auswirkung / Korrelation zu den übrigen QS-Parametern jedoch kritisch zu beobachten.
- Zur Detektion signifikanter Abweichungen von den vorgegebenen Abmessungen ist zu beachten, dass zur Vermeidung von Hinterschneidungen in der Darstellung Optiken mit großer Brennweite oder telezentrische Objektive zum Einsatz kommen.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Dicke / Keilform	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
		x				x
Beispiel  <p>Plattenstärke [mm]</p> <p>Anguß-Gegenseite Mitte Anguß-Seite</p>	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nachdruckhöhe • Nachdruckzeit • Werkzeugfestigkeit • Masse- und Werkzeugtemperatur <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Einspritzvolumenstrom • Kühlzeit • Werkzeuggeometrie und -verschleiß 					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Beidseitige Lasertriangulation 					
Beschreibung <p>Durch die Schwindung beim Abkühlprozess im Werkzeug entsteht eine Abweichung zwischen dem Kavitätsmaß und den realen Abmessungen der Bipolarplatten. Der Nachdruck hat dabei den größten Einfluss auf den Schwindungsausgleich und muss für eine hinreichende Wirkung auf den Siegelpunkt abgestimmt sein. Kritisch ist eine Verschiebung des Siegelpunktes in die Kavität hinein, wodurch eine ungleichmäßige Dickenverteilung (Keilform) innerhalb der Bipolarplatte entsteht.</p> <p>Durch den direkten Zusammenhang zwischen Einspritzvolumenstrom und –druck zeigt erstgenannter Parameter ebenso einen Einfluss auf die Dicke wie die für eine thermische Homogenität signifikanten Parameter (Masse- und Werkzeugtemperatur, Kühlzeit).</p> <p>Eine Dickenabweichung / Keilform ist dadurch gekennzeichnet, dass die Angusseite aufgrund des direkteren Nachdruckeinflusses eine höhere Materialstärke aufweist.</p>						
Prüfbereich <p>Um Dickenabweichungen innerhalb einer Bipolarplatte sicher zu detektieren, sind entsprechende Messpunkte über den gesamten Plattenbereich beidseitig homogen zu verteilen:</p>						



Prüfzeitpunkt

Der Parameter Keilform ist vor der mechanischen Bearbeitung zu kontrollieren, da letztgenannte u.a. einen Ausgleich vorhandener Dickenunterschiede bewirkt.

Die Prüfung einer homogenen Dicke ist prozessbedingt nach der beidseitigen Bearbeitung durchzuführen.

Einfluss

In Abhängigkeit der Intensität der Dickenabweichungen, welche sich beim Stapeln mehrerer Platten zu einem Stack aufsummieren, besteht die Gefahr, dass die Funktionalität der Brennstoffzelle nicht mehr gegeben ist, da die Komponenten der dem Spritzgießen nachfolgenden Fertigungsschritte (Membran-Elektroden-Einheit, Dichtung, etc.) auf die Abmessungen der Bipolarplatten abgestimmt sind. Ebenso besteht im Rahmen der mechanischen Nachbearbeitung bei einer ungleichmäßigen Plattendicke die Gefahr, dass die Nuttiefe verringert / der Kanalquerschnitt verengt wird, was zu partiellen Druckverlusten und einer ungleichmäßigen Medienverteilung im Betrieb und somit zu einer eingeschränkten Funktionalität führt (vgl. QS-Parameter „Nuttiefe“).

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der weiteren Brennstoffzellenkomponenten und den Systemanforderungen vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

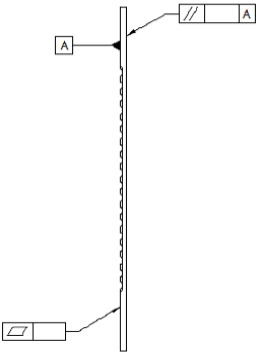
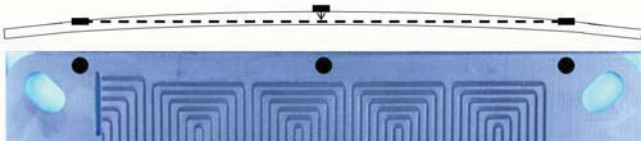
Empfehlungen

- Zur Vermeidung einer Dickenabweichung / keilförmigen Ausprägung der Bipolarplatten ist der Nachdruck des Prozesses hinreichend groß zu dimensionieren. Gleichzeitig müssen die Parameter exakt auf den Prozess eingestellt werden (z.B. mit Hilfe einer Siegelpunktkurve), um eine Verschiebung des Siegelpunktes in die Kavität zu vermeiden.
- Zur Detektion einer keilförmigen Ausprägung und der Bestimmung der Dicke der Bipolarplatten kann das Verfahren der Lasertriangulation eingesetzt werden. Zur Realisierung der geforderten Messgenauigkeiten ist darauf zu achten, dass schmale Laserlinien zum Einsatz kommen und zur Reduktion von Laserspeckleerscheinungen die Laserleistung begrenzt und am Objektiv kleine Blendenzahlen gewählt werden. Da neben der unterschiedlichen Dicke auch eine Durchbiegung der Platte auftreten kann ist eine zeitgleiche beidseitige Lasertriangulation zur korrekten Referenzierung notwendig.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Ebenheit / Parallelität (Durchbiegung)	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
		x			x	
Grafische Darstellung 	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Kühlzeit • Werkzeugtemperatur (Homogenität) • Massetemperatur (in Korrelation mit den Abkühlbedingungen nach dem Spritzgießprozess) <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Anordnung der Auswerferstifte 					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Lasertriangulation 					
Beschreibung Temperaturdifferenzen innerhalb der spritzgegossenen Bipolarplatte, verursacht durch inhomogene Temperaturbedingungen, führen zu unterschiedlichen Abkühlgeschwindigkeiten und somit zu einem Verzug / einer Durchbiegung der Platte im Verlauf des Abkühlprozesses – insbesondere auch außerhalb des Spritzgießwerkzeuges nach der Entformung. Bei dieser kann es ebenso zu einer Durchbiegung der Bipolarplatten kommen, wenn die Kühlzeit im Prozess zu kurz ausgelegt ist. Außerdem ist bei den zur Herstellung graphitischer Bipolarplatten notwendigen hohen Einspritzdrücken und Schließkräften zu gewährleisten, dass eine Durchbiegung des Werkzeuges durch ausreichende Festigkeitswerte vermieden wird.						
Prüfbereich Die maximale Durchbiegung der Bipolarplatten wird unter Nutzung der beidseitigen Dickenmesspunkte über die Längsseite bestimmt, indem der Abstand der mittleren Punkte zu einer Verbindungslinie der Stirnseitenpunkte erfasst wird. Die Dicke der Bipolarplatte an der jeweiligen Messstelle wird dabei ebenfalls berücksichtigt (zwecks Übersichtlichkeit in nachfolgender Abbildung nicht dargestellt):						
						
Prüfzeitpunkt Die Prüfung ist vor der mechanischen Bearbeitung durchzuführen, da diese keinen positiven Einfluss bezüglich der Durchbiegung aufweist und fehlerhafte Bipolarplatten möglichst früh						

aus dem Wertschöpfungsprozess entfernt werden sollten.

Einfluss

Abweichungen der Bipolarplatte, welche über die Toleranzfelder für Ebenheit und/oder Parallelität hinausgehen, werden i.d.R. durch das spätere Verpressen in einem Brennstoffzellenstack kompensiert. Hier kommt es aufgrund der „Federwirkung“ jedoch zu Einbußen im Bereich der elektrischen Leitwerte. Außerdem stellen unebene Bipolarplatten für die dem Spritzgießen nachfolgenden Fertigungsschritte *mechanische Nachbearbeitung* und *Dichtungsapplikation* kritische Ausgangsbedingungen dar, welche es zu vermeiden gilt.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der weiteren Bearbeitungsprozesse vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

Empfehlungen

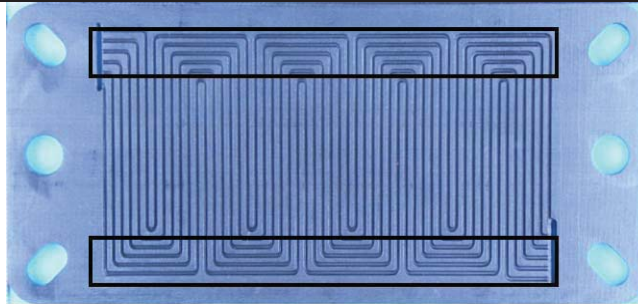
- Zur Vermeidung zu hoher Abweichungen der Toleranzfelder Ebenheit und Parallelität ist auf eine ausreichende Kühlzeit innerhalb des Spritzgießprozesses ebenso zu achten, wie auf angepasste Temperaturen in den Werkzeugkavitäten. Überdies ist für optimale Abkühlbedingungen nach der Entformung, z.B. durch ein entsprechend ausgelegtes Kühl- und Transportband, zu sorgen.
- Zur Detektion zu hoher Abweichungen der Toleranzfelder Ebenheit und Parallelität gelten dieselben Empfehlungen wie bei dem QS-Parameter Dicke / Keilform.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter FlowField Struktur	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
	x				x	
Grafische Darstellung 	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Einspritzgeschwindigkeit • Werkzeuginnendruck • Kühlzeit <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Dosiervolumen • Werkzeugtemperatur • Massetemperatur • Werkzeugentlüftung / -geometrie 					
Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Dunkelfeldbeleuchtung 						
Beschreibung Beim QS-Parameter FlowField Struktur sind zwei mögliche Fehlertypen zu unterscheiden: 1.) <u>Ausbrüche der FlowField-Stege</u> (Angussseite, siehe Beispielabbildung rechts) Durch kurze Kühlzeiten ist die Erstarrung des Materials an der Angussseite bei der Öffnung des Werkzeugs noch nicht vollständig erfolgt (Entformungstemperatur nicht optimal), so dass einzelne Stegabschnitte ausbrechen. 2.) <u>Formfüllungsfehler in den Stegwänden</u> (Angussgegenseite, siehe Beispielabbildung links) Durch eine problematische Entlüftung bei hohen Einspritzgeschwindigkeiten und einer vorzeitigen Erstarrung durch zu niedrige (Werkzeug-)Temperaturen entstehen angussgegenseitig unvollständige Formfüllungen in den Stegwänden des FlowFields. Beide Fehlertypen weisen in ihrer Ausprägung unterschiedliche Intensitäten auf. Besondere Achtsamkeit ist bei den Ausprägungen an der Angussseite geboten, da hier bereits bei einem einzelnen Ausbruch aufgrund der Kühlungsparameter-Abhängigkeit von einem instabilen Prozess auszugehen ist.						
Prüfbereich Die Fehler treten prozessbedingt lediglich in den Randbereichen der Bipolarplatten (Ausbrüche → Angussseite; Einkerbungen → Angussgegenseite) an Stegen in Längsrichtung auf, so dass die Prüfung auf diese Vorzugsbereiche und die FlowField-Seite ausgerichtet wird.						



Prüfzeitpunkt

Die Prüfung ist vor der mechanischen Bearbeitung durchzuführen, da diese keinen positiven Einfluss bezüglich der Formfüllung aufweist und fehlerhafte Bipolarplatten möglichst früh aus dem Wertschöpfungsprozess entfernt werden sollten.

Einfluss

Treten Füllungsprobleme in der FlowField-Struktur auf, so haben geringe Fehlstellen keine Auswirkungen auf einen späteren Betrieb der Brennstoffzellen. Nimmt die Anzahl und Intensität jedoch zu, so kommt es zu partiellen Druckschwankungen und einer Unterversorgung einzelner Kanäle. Dies führt insbesondere bei einem „Durchbruch“ zwischen zwei Kanälen durch die vollständige Schädigung eines Steges zu Einschränkungen im Betrieb.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der Systemanforderungen vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

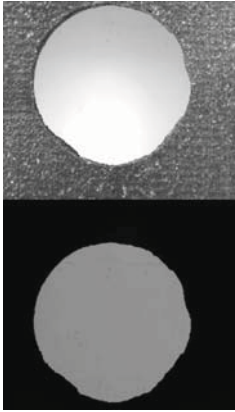
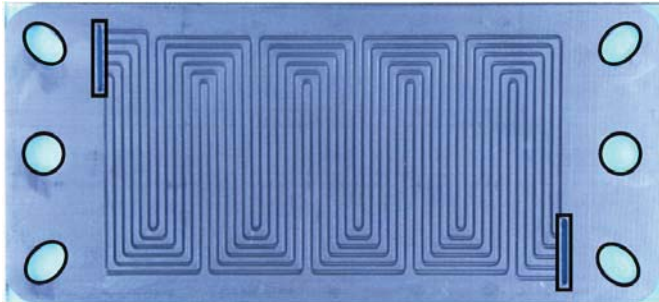
Empfehlungen

- Für eine gute Formfüllung ist, neben der Gewährleistung eines ausreichenden Dosiervolumens, insbesondere die Entlüftung des Werkzeugs so auszulegen, dass bei der Befüllung keine Lufteinschlüsse verursacht werden. Eine geringe Einspritzgeschwindigkeit wirkt sich ebenfalls positiv auf die Werkzeugentlüftung aus, ist jedoch aufgrund der Korrelation zu anderen QS-Parametern nur bedingt einzusetzen. Des Weiteren sind die Temperaturbedingungen im Prozess so einzustellen, dass die Schmelze erst nach dem abgeschlossenen Füllprozess vollständig erstarrt.
- Für die Detektion von Fehlern in der FlowField-Struktur ist der Einsatz einer Dunkelfeldbeleuchtung zu empfehlen, die die oberen Stegflanken beleuchtet. So können Ausbrüche durch Ausbleiben der Reflexion in der Bildanalyse sicher detektiert werden.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Grat in den Durch- und Zuführungslöchern	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
	x					x
Beispiel 	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Werkzeuginnendruck • Werkzeugauslegung • Werkzeugverschleiß <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Schließkraft • Materialzusammensetzung 					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Diffuse Hellfeldbeleuchtung / Durchlichtbeleuchtung • Optik mit großer Brennweite 					
Beschreibung Grate entstehen durch einen Materialaustritt aus der Kavität aufgrund des (prozessbedingt) hohen Werkzeuginnendruckes bzw. durch zu gering entgegenwirkende Schließkräfte. Weitere, nicht unmittelbar im Spritzgießprozess beeinflussbare Entstehungsgründe sind eine ungenaue Werkzeugfertigung bzw. ein zu hoher Werkzeugverschleiß (Trennebene) und eine Verformung des Werkzeugs durch eine nicht ausreichende Dimensionierung. Grate entstehen dementsprechend in der Werkzeuggrennebene sowie im Bereich von Kernen und Auswerfern. Die Ausprägung und Intensität der Grate ist dabei im hohen Maße von den Spritzgießparametern sowie dem gegenwärtigen Grad des Werkzeugverschleißes abhängig.						
Prüfbereich Es sind nachfolgend dargestellte Bereiche auf Gratfreiheit zu kontrollieren, eine einseitige Überprüfung ist ausreichend:						
						
Prüfzeitpunkt Die Prüfung ist nach der Entgratung vorzunehmen.						

Einfluss

Grate in den Gaszuführungslöchern führen zu einem Druckverlust, wodurch die betroffene Zelle unterversorgt wird und leistungstechnische Defizite/Verluste zeigt. Grate in den Gasdurchführungslöchern führen zu einem Druckverlust im Bereich der Manifolds („Hauptversorgungsleitung des Stacks“) durch eine Drosselwirkung für alle dahinter geschalteten Brennstoffzellen. Bei Graten besteht außerdem immer die Gefahr, dass sich Bruchstücke lösen und die Kanäle zusetzen.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der Systemanforderungen vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

Empfehlungen

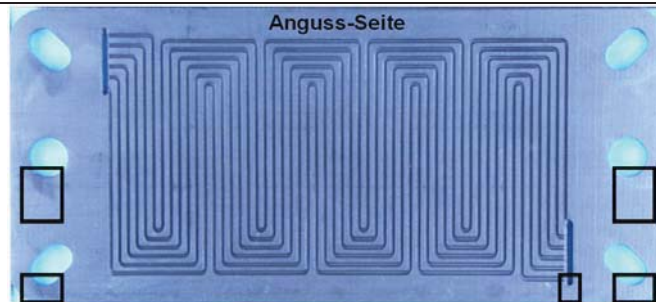
- Zur Vermeidung einer Gratbildung ist die Schließkraft den Werkzeugdrücken anzupassen. Dies ist bei dem im Maschinengrenzbereich realisierten Prozess der graphitischen Bipolarplatten jedoch nur bedingt möglich, zumal das Verhältnis von Kavitäts- zu Maschinengröße überproportional dimensioniert sein muss. Außerdem ist das Werkzeug im industriellen Einsatz entsprechend zu warten und Ungenauigkeiten durch das Einpassen neuer Elemente auszugleichen.
- Zur Detektion von Graten können bei der Bildgewinnung sowohl diffuse Hellfeld- (siehe Beispielbild oben) wie auch Dunkelfeldbeleuchtungen (siehe Beispielbild unten) eingesetzt werden. Wie beim dem QS-Parameter „Allgemeine Abmessungen“ müssen zur Vermeidung von Hinterschneidungen Optiken mit großer Brennweite oder telezentrische Objektive zum Einsatz kommen.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Haarriss	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
			x			x
Beispiel 	Beeinflussung durch Spritzgießparameter <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Einspritzgeschwindigkeit • Werkzeugtemperatur in Korrelation mit der Kühlzeit • Massetemperatur • Entformungsbedingungen • Materialzusammensetzung <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Werkzeuginnendruck • Nachdruckhöhe • Geschwindigkeit der Entformung (Auswerferstifte) • Werkzeuggeometrie (vorgegeben durch den Aufbau der Brennstoffzelle) 					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Sequentiell geschaltete Dunkelfeldbeleuchtung • Hohe laterale Auflösung 					
Beschreibung Haarrisse können bei spritzgegossenen Bipolarplatten entstehen, wenn mehrere Fließfronten (z.B. nach der Umströmung eines Kerns) zusammentreffen. Sind die Einspritzgeschwindigkeiten sowie die Werkzeug- und Massetemperaturen nicht präzise aufeinander abgestimmt, so verbindet sich das Material bevor die Fließfronten vollständig zusammengeflossen sind und es entstehen Haarrisse. Eine weitere Ursache sind Bauteilspannungen, die durch thermische Inhomogenitäten und damit einhergehenden Schwindungsunterschieden sowie durch Deformationen der Bipolarplatten aufgrund einer unsachgemäßen Entformung entstehen. Letztlich spielt auch die Zusammensetzung des Materials eine signifikante Rolle, da die Haarrissanfälligkeit mit steigendem Füllgrad zunimmt.						
Prüfbereich Haarrisse entstehen vorzugsweise an Bindenähten (d.h. hinter Kernen) der Angussgegenseite. Da ein bindenahtunabhängiges Auftreten von Haarrissen nicht bekannt / zu erwarten ist, wird die Prüfung auf den geometrischen Bereich der Bindenähte beschränkt, wobei FlowField- und Kühlseite zu kontrollieren sind:						



Prüfzeitpunkt

Die Prüfung ist vor der mechanischen Bearbeitung durchzuführen, da Haarrisse nach diesem Prozess aufgrund der Veränderung der Oberfläche optisch nicht mehr detektierbar sind und fehlerhafte Bipolarplatten möglichst früh aus dem Wertschöpfungsprozess entfernt werden sollten.

Einfluss

Werden Haarrisse nicht erkannt und Brennstoffzellen mit fehlerbehafteten Bipolarplatten aufgebaut, sind signifikante Leckageraten einzelner Zellen messbar.

Haarrisse besitzen daher eine hohe sicherheits- und funktionstechnische Relevanz und müssen zu 100 % erkannt werden.

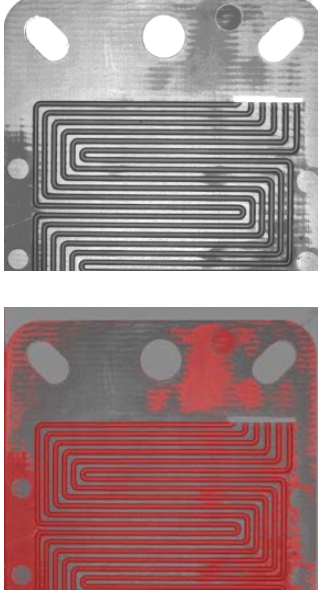
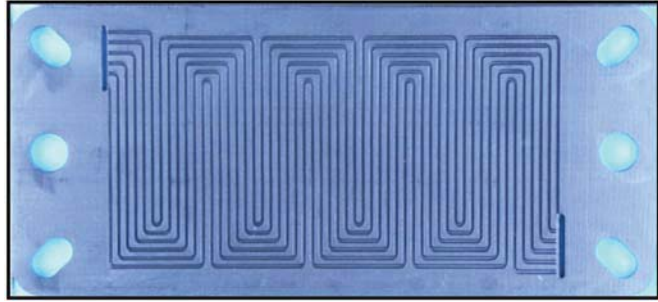
Empfehlungen

- Zur Vermeidung von Haarrissen muss sichergestellt werden, dass sich mehrere Fließfronten beim Zusammentreffen noch hinreichend verbinden können. Dies wird durch höhere Werkzeug- und Massetemperaturen, höhere Einspritzgeschwindigkeiten sowie höhere Einspritz- und Nachdrücke erreicht. Spannungen bei der Entformung des Bauteils lassen sich durch entsprechende geometrische Anpassungen des Werkzeugs und der Auswerferstifte vermeiden (z.B. Entformungsschrägen, Flachauswerfer).
- Zur optimalen Darstellung von Haarrissen empfiehlt sich der Einsatz einer Dunkelfeldbeleuchtung, die den Haarriss unter einem sehr flachen Winkel beleuchtet und die aus unterschiedlichen Richtungen schaltbar ist. Dadurch kann die Unstetigkeit in der Oberfläche sichtbar gemacht werden. Bei Auswahl der bildgebenden Technik ist zu beachten, dass aufgrund der sehr feinen Struktur der Haarrisse eine hohe geometrische Auflösung erforderlich ist und daher hochauflösende Kameras oder rastende Aufnahmeverfahren zum Einsatz kommen müssen, wenn größere Flächen zu prüfen sind. Für die Segmentierung von Haarrissen im Bild haben sich eine Kombination aus Schwellwert- und morphologischen Bildverarbeitungsoperationen bewährt.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Mangelhafte Nachbearbeitung	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
		x				x
Beispiel 	Beeinflussung durch manuellen Nachbearbeitungsprozess <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Zustand der Bipolarplatten • Zustellung Fräser • Vorschubgeschwindigkeit • Werkzeugverschleiß / -standzeit <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • (Derzeit) Manueller Prozess: Verfassung des Werkers Indirekter Einfluss des Spritzgießprozesses durch die Beschaffenheit der Bipolarplatten (insbesondere Dicke / Keilform / Ebenheit / Parallelität).					
	Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Diffuse Hellfeldbeleuchtung 					
Beschreibung Unterschiedliche Dickenausprägungen der Bipolarplatten führen zu Anpassungsproblemen bei der mechanischen Nachbearbeitung, woraus eine ungleichmäßige Plattenoberfläche sowohl auf der FlowField-, als auch auf der Kühlungsseite resultiert. Eine mangelhafte mechanische Nachbearbeitung der Bipolarplatten ist durch ausgebildete Frässpuren und/oder verbleibende Auswerferstiftmarken gekennzeichnet. Des Weiteren ist bei einer nicht gleichmäßig ausgeführten mechanischen Nachbearbeitung auch von unterschiedlich ausgeprägten Nuttiefen auszugehen.						
Prüfbereich Es ist die gesamte Oberfläche beider Plattenseiten zu überprüfen:						
						

Prüfzeitpunkt

Die Prüfung ist nach erfolgter beidseitiger mechanischer Bearbeitung durchzuführen.

Einfluss

In Abhängigkeit der Ausprägung der mangelhaften Nachbearbeitung besteht die Gefahr, dass die Funktionalität der Brennstoffzelle nicht mehr gegeben ist, da die Komponenten der dem Spritzgießen nachfolgenden Fertigungsschritte (Membran-Elektroden-Einheit, Dichtung, etc.) auf eine einwandfreie Plattenoberfläche ausgelegt und abgestimmt sind. Insbesondere im Hinblick auf eine Beeinflussung der Dichtungskontur besteht ebenso eine sicherheitstechnische Relevanz.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der weiteren Brennstoffzellenkomponenten vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

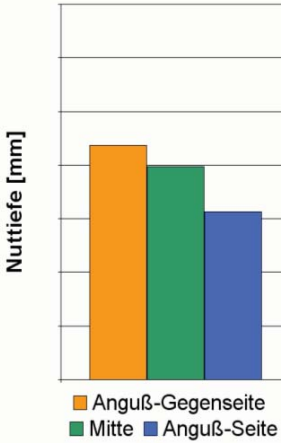
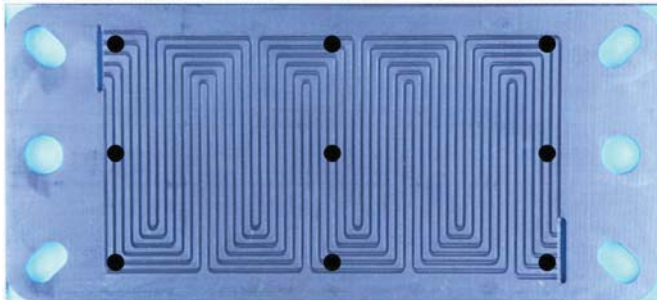
Empfehlungen

- Als Basis für eine fehlerfreie mechanische Nachbearbeitung dienen Bipolarplatten mit einer gleichmäßigen Dickenverteilung. Ist diese Grundvoraussetzung nicht vorhanden und die Bipolarplatten weisen eine Keilform auf, so ist eine spezifische Adaptierung der Fräsparameter notwendig. Von hoher Signifikanz ist in diesem Fall eine begleitende Beobachtung des QS-Parameters Nuttiefe.
- Zur Prüfung einer mangelhaften mechanischen Bearbeitung können neben einer diffusen Hellfeldbeleuchtung zur Bildgewinnung einfache Schwellwertoperationen bei der Auswertung zum Einsatz kommen.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0

QS-Parameter Nuttiefe	Relevanz (Sicherheit)			Relevanz (Funktionalität)		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch
		x				x
Beispiel 	Beeinflussung durch: <i>Hauptfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Keilform der Platten (siehe QS-Parameter <i>Dicke/Keilform</i>) • Störeinflüsse bei der mechanischen Bearbeitung <i>Nebenfaktoren:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Werkzeugauslegung 					
Parameter der Bildverarbeitung <ul style="list-style-type: none"> • Lasertriangulation 						
Beschreibung Der QS-Parameter Nutttiefe erfordert eine distanzierte Betrachtung, da eine Einwirkung durch den stabilen Spritzgießprozess lediglich indirekt in Abhängigkeit anderer QS-Parameter (insbesondere Dicke/Keilform) erfolgt. Wird beispielsweise eine keilförmige Bipolarplatte, die vor der mechanischen Nachbearbeitung eine homogene Nutttiefe aufweist, auf eine gleichmäßige Dicke gefräst, so entstehen prozessbedingte Abweichungen. Der Parameter Nutttiefe unterliegt im Spritzgießprozess nur marginalen Schwankungen im Bereich der Messbereichsgenauigkeit. Bei mechanisch nachbearbeiteten Bipolarplatten wurden in exemplarischen Messreihen allerdings signifikante Abweichungen in der Nutttiefe festgestellt – verursacht durch eine ursprünglich keilförmige Ausprägung.						
Prüfbereich Die Messpunkte sind homogen über die Fläche des FlowFields zu verteilen, eine Prüfung der Kühlseite erfolgt analog:						
						
Prüfzeitpunkt Die Prüfung ist nach der beidseitigen mechanischen Bearbeitung durchzuführen, da die Nutttiefen durch diesen Prozess noch signifikant beeinflusst werden. Die Auswertung sollte in						

Korrelation der Messergebnisse des Parameters Dicke/Keilform erfolgen.

Einfluss

Zu geringe Nutttiefen führen zu einer ungleichmäßigen Verengung des Kanalquerschnittes. Im Bereich des FlowFields führt dies zu einem Druckverlust und einer ungleichmäßigen Medienverteilung, wodurch es zu Leistungseinbußen im Zellbetrieb kommt.

Die zulässigen Toleranzen / Ausschusskriterien sind daher in Abstimmung der Systemanforderungen vom Hersteller (in Abhängigkeit der Kundenanforderungen) festzulegen.

Empfehlungen

- Die Nutttiefe der Bipolarplatten unterliegt im Spritzgießprozess nur marginalen und tolerierbaren Schwankungen. Vielmehr muss eine ebene Ausführung der Platten zur Vermeidung einer negativen Beeinflussung der dem Spritzgießprozess nachfolgenden Fertigungsschritte (mechanische Bearbeitung) gewährleistet werden (vgl. Parameter Dicke/Keilform).
- Für die Vermessung der Nutttiefen gelten dieselben Empfehlungen wie bei dem QS-Parameter Dicke / Keilform.

Erstellt: TGM

Freigabe: PBS / TDH / LPR

Rev 1.0