

Inhalt:

- 1 Geltungsbereich
- 2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen
 - 2.1 System FMEA
 - 2.2 Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung
 - 2.3 Maschinenfähigkeitsuntersuchung
 - 2.4 Prozessfähigkeitsuntersuchung
 - 2.5 Prozessregelung und Prozessüberwachung
 - 2.6 Voraussetzungen für eine serientaugliche Produktion
 - 2.7 Qualitätsanforderungen an die Fügeteile und Zwischenlagerung vor dem Schweißen
- 3 Heizelementschweißen
 - 3.1 Maschineneinstell- und Prozessparameter
 - 3.2 Konstruktive Auslegung der Fügeteile
 - 3.3 Prozessüberwachung beim Heizelementschweißen
- 4 Ultraschallschweißen
 - 4.1 Maschineneinstell- und Prozessparameter, physikalische Größen
 - 4.2 Konstruktive Auslegung der Fügeteile
 - 4.3 Prozessüberwachung beim Ultraschallschweißen
- 5 Vibrationschweißen
 - 5.1 Maschineneinstell- und Prozessparameter
 - 5.2 Konstruktive Auslegung der Fügeteile
 - 5.3 Prozessüberwachung beim Vibrationschweißen
- 6 Rotationsreibschweißen
 - 6.1 Maschineneinstell- und Prozessparameter
 - 6.2 Konstruktive Auslegung der Fügeteile
 - 6.3 Prozessüberwachung beim Rotationsreibschweißen
- 7 Hochfrequenzschweißen
 - 7.1 Maschineneinstell- und Prozessparameter, physikalische Größen
 - 7.2 Konstruktive Auslegung der Fügeteile
 - 7.3 Prozessüberwachung beim Hochfrequenzschweißen
- 8 Fügeteilherstellung, Halbzeug, Transport und Lagerung
 - 8.1 Prozessüberwachung an der Maschine
 - 8.2 Parameterüberwachung in Toleranzgrenzen
 - 8.3 Statistische Prozesskontrolle (SPC)
 - 8.4 Kontinuierliche Prozessüberwachung (CPC)
 - 8.5 Kontinuierliche Qualitätsüberwachung (CQA)
- 9 Qualitätsüberwachung an Fügeteilen nach dem Schweißen
 - 9.1 Allgemeines
 - 9.2 Zerstörungsfreie Prüfverfahren
 - 9.3 Zerstörende Prüfungen
 - 9.4 Verfahren zur Ermittlung von Zugspannungen
- 10 Normen und Richtlinien

1 Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für das Schweißen von Teilen aus thermoplastischen Kunststoffen in der Serienfertigung mit den Fügeverfahren Heizelement-, Vibrations-, Ultraschall-, Rotationsreib- und Hochfrequenzschweißen.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Die Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

Hierbei wird speziell auf die qualitätssichernden Maßnahmen vor, während und nach dem Schweißprozess eingegangen. Technologische Einzelheiten wie Konstruktion, Verfahrens- und Verbindungstechnik können den auf die verschiedenen Verfahren bezogenen DVS-Richtlinien entnommen werden, die in Abschnitt 10 angeführt sind.

2 Grundlagen und Begriffsdefinitionen

„Qualität“ ist nach DIN 5535 die „Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“. Eine umfassende Qualitätssicherung beinhaltet das Personalmanagement, die Logistik, den Fertigungsablauf und alle übrigen an der Produktion beteiligten Bereiche.

Entsprechend den Qualitätsanforderungen ist die Konstruktion der Fügeteile auf folgende Forderungen, z. B.:

- Belastbarkeit des Schweißnaht
- Dichtheit
- Optik
- Maßhaltigkeit (Schwund, Verzug, Formteilerster)
- Schmelzeausstoß und Entstehung von Partikeln
- Bauteilbeschädigungen
- Verschleiss.

Darüber hinaus sind die einzelnen verfahrensspezifischen Voraussetzungen der einzelnen Serienschweißverfahren unbedingt zu beachten.

Manchmal wird auch von Fügen gesprochen, was dann der Fall ist, wenn ein Thermoplast mit einem anderen Werkstoff, z. B. Pressspanplatten, Pappe, Textilgewebe u. a., verbunden wird. Es entsteht dabei eine mechanische Verkrallung.

2.1 System FMEA

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) bedeutet „Fehler-Möglichkeits- und -Einfluss-Analyse“. Diese dient der Risiko- und Kostenminimierung und wird nicht nur bei sicherheitsrelevanten Systemen, sondern überall dort angewendet, wo Ausfälle störend sind und teure Folgen haben können. Mit der aktuellen Weiterentwicklung hat sich die Bezeichnung System-FMEA durchgesetzt. Diese setzt sich zusammen aus einer Produkt- und Prozess-FMEA.

Die System-FMEA, Produkt- bzw. Konstruktions-FMEA betrachten die möglichen Versagensarten ganzer Produkte, wenn erforderlich, erfolgt die Betrachtung bis in einzelne Bauteile.

Bei dem System-FMEA-Prozess wird der Herstellungsprozess anhand der beteiligten Systemelemente (5M – Mensch, Maschine, Material, Mitwelt, Methode (Verfahren)) beschrieben und strukturiert. Prozessschritte werden als Aufgaben dieser Systemelemente betrachtet. Bei Bedarf erfolgt die Analyse bis in die Auslegungsdaten der Fertigungseinrichtungen.

2.2 Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung

Zur Beurteilung und Überwachung der Produktqualität sind geeignete Prüfmethode auszuwählen, deren Fähigkeit nachzuweisen ist. Die Prüfmittelfähigkeit gewährleistet die Möglichkeit, die im Laufe eines Prozesses auftretenden Schwankungen korrekt anzuzeigen. Da das Prüfmittel selbst Schwankungen unterworfen ist, muss festgelegt werden, ob diese geringer als die vom Prozess zu erwartenden Schwankungen sind. Dazu wird im Rahmen der Prüfmittelfähigkeitsuntersuchung das gerätebedingte Streuverhalten der Prüfeinrichtung unter Einsatzbedingungen am Einsatzort mit einem Normal oder einem Meisterstück untersucht (Wiederholungsmessungen). Ergebnis der Untersuchungen sind Fähigkeitskennwerte, die ein Maß für die Genauigkeit und die Wiederholpräzision sind.

2.3 Maschinenfähigkeitsuntersuchung

Bei der Maschinenfähigkeitsuntersuchung (häufig auch als Kurzzeitfähigkeitsuntersuchung bezeichnet) sollen vor allem Einflüsse der Fertigungseinrichtung auf die Produktqualität überprüft werden. Somit sind die Beeinflussungen durch den Menschen, das Material, die Methode und die Mitwelt nach Möglichkeit auszuschließen. Als Ergebnis liefert die Maschinenfähigkeitsuntersuchung eine vorläufige Aussage über die Eignung der Maschine-Werkzeug-Formteil-Kombination. Während der Stichprobenentnahme dürfen keine Veränderungen am Prozess vorgenommen werden.

Der Kurzzeit-(Maschinen-)fähigkeitskennwert c_m gibt Auskunft darüber, in welchem Maße die Streuung der Messwerte die gegebene Merkmalstoleranz ausnutzt. Er errechnet sich zu:

$$c_m = \frac{T}{6 \cdot s}$$

s = Standardabweichung einer Stichprobe von Merkmalswerten

T = Merkmalstoleranz

Für die Kennwertermittlung sollten > 50 hintereinander dem Prozess entnommene und fortlaufend nummerierte Teile herangezogen werden. Nach Ermittlung der ausgewählten Merkmalswerte lässt sich deren Standardabweichung s wie folgt berechnen:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Der Maschinenfähigkeitskennwert Cmk berücksichtigt zusätzlich die Lage des Mittelwertes im Toleranzbereich:

$$Cmk = \frac{OGW - \bar{x}}{3 \cdot s} \quad \text{bzw.} \quad Cmk = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \cdot s}$$

wobei: $OGW - UGW = T$

OGW = Obere Toleranzgrenze des Merkmals

UGW = Untere Toleranzgrenze des Merkmals

\bar{x} = arithmetischer Mittelwert der Merkmalswerte

Eine Bearbeitungseinrichtung ist fähig, wenn für den kleineren Betrag der beiden Beziehungen gilt:

$$Cmk \geq 1,67$$

Dies ist ein heute üblicher Wert in der Automobilindustrie.

2.4 Prozessfähigkeitsuntersuchung

Die Prozessfähigkeitsuntersuchung ist eine langfristige Untersuchung, die auch Einflüsse berücksichtigt, die auf den Fertigungsprozess während einer längeren Betriebszeit von außen einwirken. Ziel der Prozessfähigkeitsuntersuchung ist es nachzuweisen, dass der zu untersuchende Fertigungsprozess in der Lage ist, die an ihn gestellten Qualitätsanforderungen dauerhaft zu erfüllen.

Die Untersuchung erfolgt anhand mehrerer Einzelstichproben, die in prozessabhängigen Intervallen entnommen werden. Für eine gesicherte Ausgangsbasis sind mindestens 20 Stichproben zu je fünf Teilen notwendig.

Es gelten folgende Beziehungen:

$$C_p = \frac{T}{6 \cdot \sigma} \quad \text{wobei:} \quad \sigma = \frac{\bar{s}}{a_n}$$

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^m s_j}{m} = \text{Mittelwert der Standardabweichungen der Stichproben}$$

m = Anzahl der Stichproben

n = Anzahl der Teile pro Stichprobe

Der Faktor a_n dient zur Abschätzung der Standardabweichung der Grundgesamtheit aus der Standardabweichung einer Einzelstichprobe und ist abhängig vom Stichprobenumfang n .

Die Zuordnung kann z. B. einer Tabelle entnommen werden:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a_n	0,798	0,886	0,921	0,940	0,952	0,959	0,965	0,969	0,973

Entsprechend zur Kurzzeitfähigkeitsuntersuchung gilt für den Kennwert der Prozessfähigkeit:

$$Cpk = \frac{OGW - \bar{x}}{3 \cdot \sigma} \quad \text{bzw.} \quad Cpk = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \cdot \sigma}$$

wobei: $\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i$ = Gesamtmittelwert der Einzelstichproben oder Merkmalswerten.

Für fähige Prozesse gilt:

$$Cpk \geq 1,33$$

Dies ist ein gute üblicher Wert in der Automobilindustrie.

Bei Schweißprozessen tritt häufig der Fall auf, dass nur ein Mindestwert für ein Merkmal (UGW) definiert ist, der nicht unterschritten werden darf, z. B. Schweißnahtfestigkeit, Berstdruckhöhe. In diesen Fällen ist die Kennwertermittlung nur in Bezug auf den unteren Grenzwert (UGW) durchzuführen:

$$Cmk = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \cdot s} \geq 1,67$$

$$Cpk = \frac{\bar{x} - UGW}{3 \cdot s} \geq 1,33$$

Bei diesen Berechnungsformeln wird von einer Normalverteilung der Merkmale ausgegangen. Weicht die tatsächliche Verteilung hiervon ab, sind Korrekturfunktionen einzusetzen.

2.5 Prozessregelung und Prozessüberwachung

Unter Prozess- und Fertigungsüberwachung versteht man alle Vorgänge, die durch Informationen über den Prozesszustand eine Steuerung/Regelung des Prozesses zulassen, so dass sich die Qualitätsmerkmale der hergestellten Produkte innerhalb vorgeschriebener Grenzen halten. In diesem Zusammenhang sind unterschiedliche Verfahren anwendbar, z. B. statistische Prozesskontrolle (Statistical Process Control, SPC) und kontinuierliche Prozesskontrolle (Continuous Process Control, CPC).

2.6 Voraussetzungen für eine serientaugliche Produktion

Unabhängig vom verwendeten Schweißverfahren sind für eine qualitätsgesicherte Produktion grundlegende Voraussetzungen notwendig, um systematische Fehler auszuschließen. Bevor eine Serienfertigung beginnt, muss daher kontrolliert werden, ob der Prozess systematischen Einflüssen unterliegt. Ist dies nicht der Fall, ist der Prozess unter statistischer Kontrolle. Statistische Kontrolle bedeutet, dass die Streuung der Qualitätsmerkmale nur noch Zufallseinflüssen unterliegt. Ein Prozess unter statistischer Kontrolle ist beherrschbar und voraussagbar. Bild 1 zeigt einen Prozess, der zu Beginn nicht kontrolliert verläuft, gekennzeichnet durch seine stark schwankende Mittelwertlage und Verteilungsbreite. Mit zunehmender Zeit sind Maßnahmen ergriffen worden, die die Zufallseinflüsse reduzieren. Die Lage und Breite der Verteilung verbessert sich dadurch, d. h., die Verteilungen sind schmaler und in letzter Stufe identisch.