

**Einfluss von herstellungsbedingten Ungängen
auf das Werkstoffverhalten von Stahlguss**

Forschungsstellen: 1. IfG Institut für Gießereitechnik i.L., Düsseldorf
2. Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik, Freiburg
3. Fraunhofer-Institut für zerstörungsfreie Prüfverfahren, Saarbrücken

Laufzeit: 01.03.2013 bis 31.12.2016

Zusammenfassung:Zielsetzung:

Ziel des Forschungsvorhabens war die Bereitstellung eines validierten rechnerischen Konzepts zur Bewertung von Ungängen in Bauteilen aus Stahlguss. Hierzu wurde ein kombinierter experimentell-numerischer Ansatz verfolgt. Dieser umfasste (1) die Festlegung einer geeigneten Gießkonfiguration zur Herstellung von Probekörpern mit definierten Ungängen durch numerische Simulationen des Gießprozesses und Überprüfung der Fehlersituation durch zerstörungsfreie Prüfungen, (2) die Charakterisierung der mechanischen und bruchmechanischen Werkstoffeigenschaften des quasi ungängenfreien Werkstoffs, (3) die Prüfung der gegossenen Probekörper mit verschiedenen zerstörungsfreien Verfahren im Hinblick auf Größe und Verteilung der Ungängen, (4) die Entnahme geeigneter Proben aus den gegossenen Probekörpern, experimentelle Ermittlung der Festigkeiten für Probekörper mit Ungängen und Zuordnung der Festigkeiten zu den ZfP-Befunden und Gütestufen, (5) rechnerische Analysen der Festigkeiten der Proben mit Ungängen mit fortgeschrittenen Werkstoffmodellen und (6) bruchmechanische Analysen der Versuche und Ableitung eines bruchmechanischen Bewertungskonzepts. Untersuchungswerkstoffe waren der G20Mn5 und der G22NiMoCr5-6.

Ergebnisse

Im Rahmen der ZfP kamen mechanisierte Ultraschallprüfungen unter Verwendung von

Einzelstrahlern und Gruppenstrahlern (US-SPA) sowie Röntgen-CT-Messungen neben konventionellen US-Handprüfungen und Durchstrahlungsprüfungen zum Einsatz. Alle ZfP-Verfahren lieferten konsistente Ergebnisse. Von den ZfP-Methoden waren Röntgen-CT-Prüfungen am besten zur Detektion von Volumenfehlern geeignet. Für die generelle Anwendbarkeit bei Stahlguss hat sich die mechanisierte US-Prüfung im Wasserbad (insbesondere US-SPA) bewährt.

Die Festigkeitsversuche bei Raumtemperatur zeigten, dass trotz zum Teil großer Ungängen ein duktiler Versagen erst im Bereich der Festigkeit des ungängenfreien Werkstoffs auftrat, wobei die Bruchdehnung mit zunehmender Ungängengröße abfällt. Eine Abminderung der Streckgrenze in Abhängigkeit der Ungängen wurde nicht beobachtet.

Das Versagensverhalten wurde mit Finiten Elementen und einem elastisch-plastischen Materialmodell mit Schädigung simuliert. Zur Modellierung der Ungängen wurde eine Software entwickelt, mit der aus CT-Messungen automatisiert Rechenmodelle generiert werden können. Rechnerisch kann mit diesen Modellen das Versagen ungängenbehafteter Bauteile realitätsnah beschrieben werden, Bild 1 links. Durch die Modellierung der Vielzahl von Ungängen ist die Rechenzeit für die praktische Anwendung jedoch zu hoch. Vereinfachend ist für plastisches Versagen auch eine Spannungsanalyse unter Berücksichtigung des reduzierten Querschnitts durch die Ungänge möglich, der z.B. aus der Gütestufe abgeschätzt werden kann.



Die bruchmechanische Bewertung im Rahmen des Failure Assessment Diagrams (FAD) hat sich als praktikables und effizientes Konzept herausgestellt. Als Eingabegrößen sind lediglich die Festigkeitswerte, die Risszähigkeit und die aus der ZfP ermittelte Fehlergröße erforderlich. Letztere ergab sich aus CT-Messungen und den daraus abgeleiteten Gütestufen. Ein Sicherheitsbeiwert auf diese Fehlergröße war für die bruchmechanische Bewertung nicht erforderlich. Allerdings sind die im Vorhaben ermittelten Risszähigkeiten deutlich höher als z.B. in der FKM-Richtlinie „Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis“ auf Basis eines konservativen Initiierungswerts angegeben. Eine Aufnahme der hier ermittelten Kennwerte in die FKM-Richtlinie ist vorgesehen.

Die bruchmechanischen Berechnungen liefern konservative Ergebnisse und bestätigen, dass alle Proben mit Ungäncen hohe Belastungen bis über die Fließspannung ertragen. Bild 1 rechts zeigt für den G22NiMoCr5-6, dass bei Raumtemperatur, wie im Versuch beobachtet, auch für eine große Ungänze mit

4 mm Durchmesser (Probendurchmesser 15 mm) ein duktiler Versagen des Restquerschnitts oberhalb der Streckgrenze ($L_r=1$) auftritt. Eine bruchmechanische Bewertung auf Basis der FKM-Richtlinie oder entsprechender Software, z.B. des am Fraunhofer IWM entwickelten PC-Programms VERB 8.1, kann in KMU unmittelbar eingesetzt werden.

Fazit:

Als Fazit kann festgehalten werden, dass alle Proben mit Ungäncen auch trotz z.T. großer Ungäncen hohe Belastungen bis über die Fließspannung (Mittelwert zwischen Streckgrenze und Zugfestigkeit) ertragen, was durch die bruchmechanische Bewertung bestätigt wird. Die Zugfestigkeit wird durch die Ungäncen nicht oder nur unwesentlich abgesenkt, wobei die Bruchdehnung mit zunehmender Ungänzengröße abnimmt. Für eine geregelte bruchmechanische Bewertung wird die Ermittlung bruchmechanischer Kennwerte von gäncigem Stahlguss für relevante Temperaturbereiche vorgeschlagen.

Das Forschungsziel wurde erreicht.

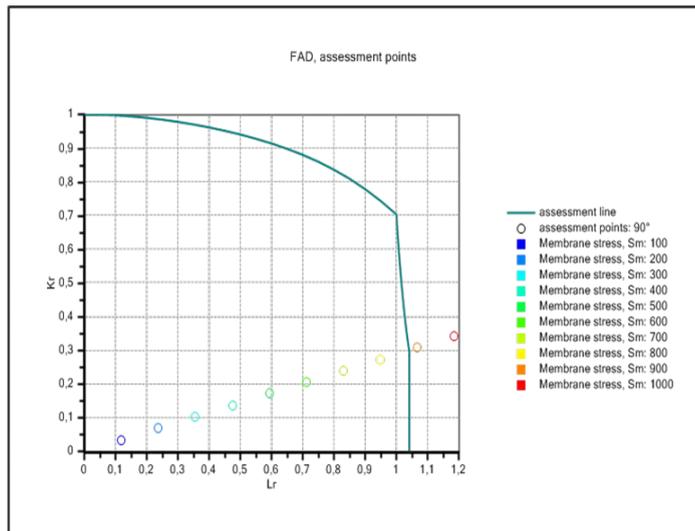
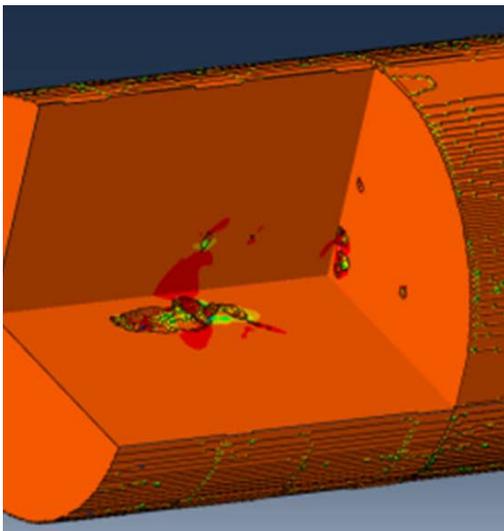


Bild 1: Vergleichsspannung in einer Probe mit Ungäncen (links) und bruchmechanische Bewertung einer innen liegenden Ungänze (D=4 mm) in einer Zugprobe (D=15 mm) aus G22NiMoCr5-6. Das Schneiden der Zustandspunkte mit der Grenzkurve bei $L_r > 1$ zeigt duktilen Versagen des Restligaments bei einer Nennspannung von ca. 880 MPa.

Der vollständige Schlussbericht liegt vor und kann schriftlich angefordert werden bei der

Forschungsvereinigung Gießereitechnik e.V.
 Hansaallee 203 - 40549 Düsseldorf
 Fax: 0211 / 6871 40 245 - Email: fvg@bdguss.de