

Ultraschallprüfung an geschmiedetem Stabstahl (Durchmesser bis 1 m)

Wolfram A. Karl DEUTSCH*, Holger HARMUTH*, Michael JOSWIG*, Dieter JUNG**,
Ralf JUNGERMANN**, Rainer KATTWINKEL*, Michael LACH*

* KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Otto-Hausmann-Ring 101,
42113 Wuppertal, Tel.: (+49-202) 7192-0, Fax: (+49-202) 714-932, info@karldeutsch.de,
www.karldeutsch.de

** BGH Edelstahl Siegen GmbH, Industriestr. 9, 57076 Siegen, Tel: (+49-271) 701-356,
Fax: (+49-271) 701-187, dieter.jung@bgh.de, www.bgh.de

Kurzfassung. Bei der BGH Edelstahl Siegen GmbH werden Freiformschmiedestücke und geschmiedeter Stabstahl mit Stückgewichten von bis zu 32 t hergestellt. Die in 2012 gelieferte Prüfanlage ist ausgelegt für Stabstahl-Durchmesser von 300 mm bis 1000 mm, Bauteillängen von 1,5 m bis 10 m und Bauteilgewichte von bis zu 35 t. Die Grundfläche der 40 t schweren Prüfanlage beträgt 5,3 m x 14,6 m. Da zwei getrennte Prüfstationen vorhanden sind, muss die Prüfmechanik für Belastungen von bis zu 70 t ausgelegt sein: Erst das Doppelportal ermöglicht das Prüfen der üblichen Produktionsmengen von 4000 t pro Monat. Während auf der einen Station geprüft wird, können auf der zweiten Station vielfältige Arbeiten durchgeführt werden: manuelle Nachuntersuchungen, Be- und Entladen sowie Service- und Reinigungsarbeiten.

Nach dem Einlegen der Schmiedestücke per Kran in das Prüfportal werden die Prüfköpfe auf der 12-Uhr-Position aufgesetzt und fahren entlang der Bauteilachse, sodass wegen der in Rotation versetzten Schmiedestücke eine spiralförmige Prüfspur entsteht. Die Senkrechteinschallung im oberflächennahen Bereich mit SE-Prüfköpfen, die Senkrechteinschallung für den Kernbereich und eine Winkeleinschallung in beide Umfangsrichtungen (Längsfehlerprüfung) waren die Prüfaufgaben.

Zur weiteren Erhöhung des Durchsatzes wurden acht baugleiche Prüfköpfe pro Prüfaufgabe, also in Summe 32 Prüfköpfe, vorgesehen. Der Vorschub pro Umdrehung beträgt bei voller Prüfgeschwindigkeit 32 mm pro Prüfkopf (also insgesamt 256 mm). Die Prüfköpfe sind in Umfangsrichtung in eine Gliederkette eingebaut, die sich für alle relevanten Bauteildurchmesser optimal an die Oberfläche anlegt. Zudem können mit dieser Anordnung besonders kurze ungeprüfte Enden und ein garantierter Überlapp der baugleichen Prüfköpfe gewährleistet werden. Der Ultraschall wird über einen Wasserspalt zwischen Prüfkopf und Bauteiloberfläche angekoppelt.

Die hohe Schalleitfähigkeit der Schmiedeteile kann Probleme durch Phantomechos erzeugen. Daher wurden die mit zwei parallelen Elektronik-Modulen betriebenen Prüfköpfe in zwei getrennten Prüfkopfhaltern verbaut, wobei deren Schussfolge genauestens zu synchronisieren war. Das Prüfsystem wurde bei KARL DEUTSCH komplett in Betrieb genommen, um sämtliche Leistungsdaten vor der Auslieferung zu überprüfen.

1. Einleitung

Im Jahre 2012 wurde eine Prüfanlage an die BGH Edelstahl Siegen GmbH geliefert. Die inhabergeführte Firma beschäftigt über 2000 Mitarbeiter und blickt auf eine über 500-jährige Geschichte zurück. Am Standort Siegen werden Freiformschmiedestücke und geschmiedeter Stabstahl mit Stückgewichten von bis zu 32 t erzeugt. Zu den Abnehmern gehören vor allem Branchen mit höchsten Anforderungen an die Qualität. Neben der Kraftwerksindustrie (u.a. Windkraft) werden der Maschinen- und Anlagenbau, die Antriebstechnik, der Pressenbau und die Offshoreindustrie beliefert.



Bild 1. Leistungsfähige Presse (4000 t) bei der BGH Edelstahlwerke Siegen GmbH

2. Basisdaten der Prüfanlage

Die Prüfanlage ist ausgelegt für Stabstahl-Durchmesser von 300 mm bis 1000 mm, Bauteillängen von 1,5 m bis 10 m und Bauteilgewichte von bis zu 35 t. Die Prüfflächen sind grob vorgedreht mit einer Rautiefe von ca. 25 μm . Die Schmiedestücke werden per Kran in das Prüfportal eingelegt und anschließend in Rotation versetzt. Typische Umfangsgeschwindigkeiten betragen 0,15 m/s. Die Prüfköpfe werden auf der 12-Uhr-Position aufgesetzt und fahren entlang der Bauteilachse, sodass eine spiralförmige Prüfspur entsteht.



Bild 2. Gesamtansicht der Prüfanlage im Werk Siegen

Da zwei getrennte Prüfstationen vorhanden sind, muss die Prüfmechanik für Belastungen von bis zu 70 t ausgelegt sein. Erst das Doppelportal ermöglicht das Prüfen der üblichen Produktionsmengen von 4000 t pro Monat. Während auf der einen Station geprüft wird, können auf der zweiten Station vielfältige Arbeiten durchgeführt werden: manuelle Nachuntersuchungen, Be- und Entladen sowie Service- und Reinigungsarbeiten.

Beladevorgänge bei solch hohen Bauteilgewichten können die Prüfmechanik stark beanspruchen. Daher wurden die Drehrollenstationen mit Dämpferbaugruppen ausgestattet, die nach der Beladung pneumatisch verfahren werden. Die Grundfläche der 40 t schweren Prüfanlage beträgt 5,3 m x 14,6 m. Das Prüfsystem wurde in der Montagehalle von KARL DEUTSCH komplett in Betrieb genommen, um sämtliche Leistungsdaten vor der Auslieferung zu überprüfen. Bei der Konstruktion lag ein besonderer Schwerpunkt auf einem möglichst effizienten Abbau und der erneuten schnellen Montage bei der BGH Edelstahl Siegen GmbH. Im November 2012 wurde die Prüfanlage in Siegen erfolgreich in Betrieb genommen und abgenommen.



Bild 3. Drehrollenstation mit Dämpferbaugruppe ausgelegt für hohe Bauteilgewichte



Bild 4. Beladung der Prüfanlage per Kran



Bild 5. Schwenk je einer Prüfkopfhalterung pro Kopfseite des Portals zwischen den beiden Prüfstationen (im Bild ist nur eine der beiden baugleichen Prüfkopfhalterungen zu sehen)

3. Prüfköpfe und Prüfkopfhalterungen

Um den Durchsatz zu erhöhen, wurden spezielle Prüfköpfe mit einer besonders hohen Spurbreite bei dennoch hoher Empfindlichkeit entwickelt. Die Senkrechteinschallung im oberflächennahen Bereich mit SE-Prüfköpfen, die Senkrechteinschallung für den Kernbe-

reich und eine Winkeleinschallung in beide Umfangsrichtungen (Längsfehlerprüfung) waren die vier Prüfaufgaben. Zur weiteren Erhöhung des Durchsatzes wurden acht baugleiche Prüfköpfe pro Prüfaufgabe, also in Summe 32 Prüfköpfe, vorgesehen. Der Vorschub pro Umdrehung beträgt bei voller Prüfgeschwindigkeit 8 mm pro Prüfkopf (also insgesamt 64 mm).

Natürlich hängen die erreichbaren Fehlergrößen, Impulsfolgefrequenzen und Prüfgeschwindigkeiten mit den Materialeigenschaften zusammen. Durch die sehr gute Schallleitfähigkeit der Schmiedeteile können Probleme mit Phantomechos auftreten. Daher wurden die mit zwei parallelen Elektronik-Modulen betriebenen Prüfköpfe in zwei getrennten Prüfkopfhaltern verbaut, wobei deren Schussfolge genauestens zu synchronisieren war.

Die Prüfköpfe wurden in Umfangsrichtung in einer Gliederkette eingebaut. Die Kette ist so flexibel konstruiert, dass sie sich für alle relevanten Bauteildurchmesser optimal an die Oberfläche anlegt. Zudem können mit dieser Anordnung der Prüfköpfe in Umfangsrichtung besonders kurze ungeprüfte Enden und ein garantierter Überlapp der baugleichen Prüfköpfe gewährleistet werden. Der Überlapp ist sowohl bei langsamem als auch bei vollem Vorschub in Achsrichtung des Bauteils gegeben.

Die Ankopplung des Ultraschalls erfolgte über einen Wasserspalt zwischen Prüfkopf und Bauteiloberfläche. Zur komfortablen Bedienung der Prüfanlage wurde eine motorisierte Spaltverstellung realisiert, d.h. der Wasserspalt kann je nach Krümmung der Bauteiloberfläche (= je nach Bauteildurchmesser) optimiert werden. Zudem wird der unvermeidliche Verschleiß der Hartmetallkufen hierdurch minimiert.

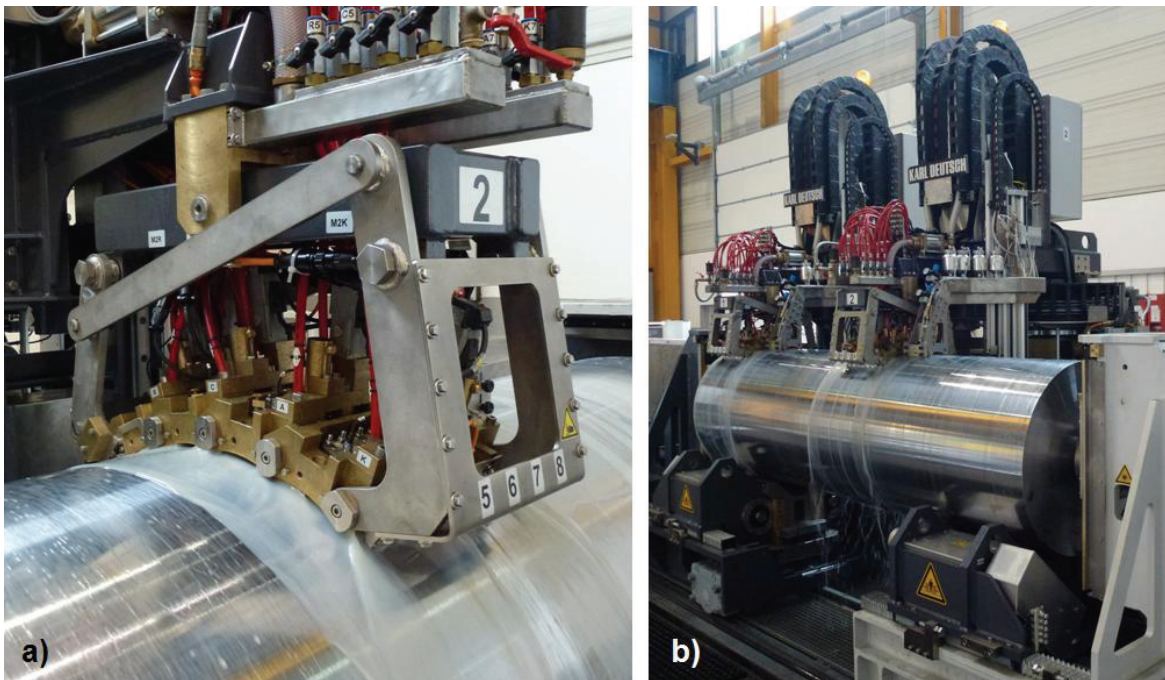


Bild 6. Prüfkopfhalter zur Stabstahlprüfung, **a)** jeder Prüfkopfhalter enthält eine Matrix aus 4 x 4 Prüfköpfen, **b)** zwei separate Prüfkopfhalter wurden zur besseren akustischen Entkopplung verwendet

Als Prüfempfindlichkeit für die Senkrechteinschallung wurde 0,8 mm KSR im randnahen Bereich (bis 50 mm Bauteiltiefe) und 1,5 mm KSR im Kernbereich festgelegt. Eine sorgfältige Auslegung der Prüfköpfe (Dachwinkel der SE-Prüfköpfe, Nahfeldlänge der Senkrechtprüfköpfe) war erforderlich, um eine vollständige Überdeckung im Übergangsbereich (zwischen Rand und Kern) zu erreichen. Die Winkeleinschallung unter $\pm 45^\circ$ wird mit einer 2 mm tiefen Oberflächennut oder an 6-mm-Zylinderbohrungen kalibriert.

4. Prüfergebnisse und Protokollierung

Als Prüfvorschriften dienen üblicherweise folgende Regelwerke: DIN EN 10228 (Teile 3 + 4), SEP 1921, SEP 1923 und ASTM A 388. Diese Standardprüfvorschriften sind weltweit gängig für die Ultraschallprüfung von Schmiedestücken [3-6]. Aufwändige Schallfeldvermessungen an künstlichen Fehlstellen stellten sicher, dass eine lückenlose Abtastung der Prüfteile gegeben ist [7]. Zur Erleichterung der Suche nach Fehlstellen, wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Eine ortstgetreue Farbmarkierung liefert die Fehlerposition in Achsrichtung des Bauteils.
- Das automatisch erzeugte Prüfergebnis in C-Bild-Form kann auf mehreren Monitoren (je ein Monitor pro Prüfstation und ein Monitor in der Prüfkabine) zur Anzeige gebracht werden. Die Monitore an den beiden Prüfstationen können entlang des Bauteils verschoben werden, um gute Sichtbarkeit zu gewährleisten.
- Der Prüfkopfhalter kann auf Wunsch zurück zum Fehlerort fahren, um die Fehlstelle erneut zu untersuchen (return to defect function).

Die Software zur Erstellung des Gesamt-C-Bilds war sehr komplex. Die Prüfergebnisse aller Einschallrichtungen wurden dabei ortstgetreu überlagert. Zudem mussten die Ergebnisse beider Prüfkopfhalter miteinander verknüpft werden. Voraussetzung hierfür ist eine gute Erfassung der Bauteilposition über möglichst schlupffreie Laufrollen. Der verbleibende (unvermeidliche) Schlupf wird über eine 12-Uhr-Erkennung pro Umdrehung ermittelt und eliminiert. Ultraschall- und Wegdaten werden genau synchronisiert, d.h. die Anzahl der Schüsse pro Umdrehung und die Schussabstände werden genau kontrolliert.

Detektierte Fehlstellen werden den zugehörigen Voxeln (Volumenelementen) zugeordnet und in einer Fehlertabelle erfasst. Hierbei werden Fehlerposition, Amplitude im Vergleich zur Schwelle und der zugehörige Prüfkopf kenntlich gemacht. Eine Abstandsermittlung benachbarter Fehlstellen berücksichtigt auch die ggf. unterschiedlichen Tiefenlagen. Die Software verfügt über vielfältige Werkzeuge (Zoom, Wahl der Farbzuoordnung etc.), um ein komfortables Arbeiten zu ermöglichen.

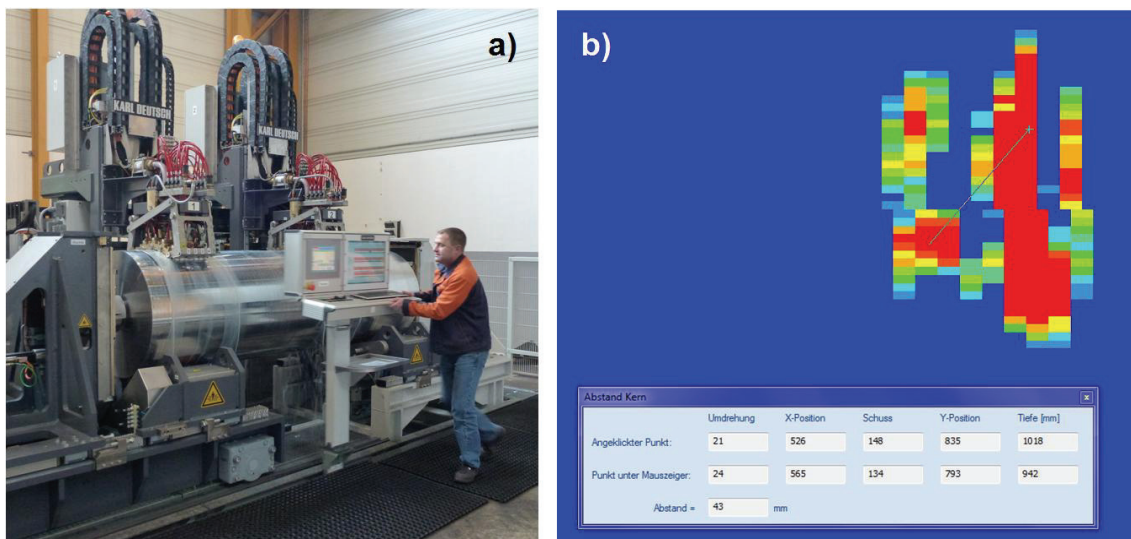


Bild 7. Auswertung der Prüfergebnisse, **a)** Betrachtung der Prüfergebnisse an fahrbarem Bedienpult (verfügbar an beiden Prüfstationen), **b)** Prüfergebnis als C-Bild mit der 3D-Abstandbestimmung zwischen zwei Fehlstellen (wobei sich die rechteckige Schwingergeometrie in länglichen Pixeln zeigt)

Weitere Nachuntersuchungen erfolgen mit Ultraschall-Handprüfgeräten vom Typ ECHOGRAPH 1090.

Referenzen

- [1] Deutsch, Volker, Michael Platte and Manfred Vogt: „Ultraschallprüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen“, 372 Seiten, Springer Verlag, 1997.
- [2] Deutsch, Volker, Michael Platte, Manfred Vogt, Wolfram Deutsch and Volker Schuster: „Die Ultraschallprüfung“, 89 Seiten, Band 1 der Reihe ZfP Kompakt und Verständlich, Castell Verlag Wuppertal, 2. Auflage, 2010.
- [3] DIN EN 10228 Zerstörungsfreie Prüfung von Schmiedestücken aus Stahl, Teil 3: Ultraschallprüfung von Schmiedestücken aus ferritischem oder martensitischem Stahl, Teil 4: Ultraschallprüfung von Schmiedestücken aus austenitischem und austenitisch-ferritischem nichtrostendem Stahl, Mai 1998.
- [4] SEP 1921: Ultraschallprüfung von Schmiedestücken und geschmiedetem Stabstahl ab 100 mm Durchmesser oder Kantenlänge, STAHL-EISEN-Prüfblätter des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute, Dezember 1984.
- [5] SEP 1923: Ultraschallprüfung von Schmiedestücken aus Stahl mit höheren Anforderungen, insbesondere für Bauteile in Turbinen- und Generatoranlagen, STAHL-EISEN-Prüfblätter (SEP) des Stahlinstitut VDEh, 2. Ausgabe, Februar 2009.
- [6] ASTM A 388: Standard Practice for Ultrasonic Examination of Steel Forgings, ASTM International USA, Mai 2011
- [7] Richtlinie zur Festlegung des Prüfrasters bei der automatisierten Ultraschallprüfung großer Schmiedestücke (Entwurf), DGZfP-Unterausschuss Automatisierte Ultraschallprüfsysteme, Stand April 2013.