

# Bruchmechanische Untersuchungen an 3,5%-Nickel-Stählen für große Schrauben hoher Festigkeit

E. Klausnitzer, A. Gerscha, Siemens AG, Reaktortechnik,  
Erlangen, Germany

## Abstract

The use of the high strength 3,5%-Ni-steel instead of the currently used 1,8%-Ni-steel for large diameter bolts (>250 mm dia.) is expected to result in better and more uniform mechanical properties of the bolts.

Four heats of the 3,5%-Ni-steel differing only in their carbon contents and in the melting process were investigated in different heat treated conditions. In addition to the more common mechanical tests, crack growth and fracture toughness tests were also conducted.

The results show a strong influence of the yield strength on both crack growth and fracture toughness. The influence of the carbon content and the melting process is negligible.

## 1. Einleitung

Für große Schrauben ist es interessant, anstelle des bisher verwendeten 1,8%-Nickel-Stahls einen 3,5%-Nickel-Stahl einzusetzen. Damit sollen auch Schrauben von mehr als 250 mm Durchmesser mit gleichmäßigen mechanischen Eigenschaften über den gesamten Querschnitt hergestellt werden können. Neben den konventionellen mechanischen Eigenschaften interessieren auch die bruchmechanischen Kennwerte.

## 2. Stahlauswahl

Es wurde eine Mindeststreckgrenze von  $800 \text{ N/mm}^2$  bei  $350^\circ\text{C}$  angestrebt, wobei die Kerbschlagzähigkeit  $80 \text{ J/cm}^2$  bei  $+20^\circ\text{C}$ , gemessen an DVM-Proben, erreichen soll. Auf-

grund einer Literaturlauswertung und Gesprächen mit Stahlherstellern wurden vier 3,5%-Nickel-Stähle ausgewählt. Ihre chemische Zusammensetzung ist zusammen mit der Richtanalyse des bisher verwendeten 1,8%-Nickel-Stahles in Tabelle 1 angegeben. Ferner ist daraus ersichtlich, daß ein Stahl in zwei Erschmelzungsvarianten untersucht wird. Durch die Elektroschlackeumschmelzung wird ein günstiger Einfluß auf die Zähigkeitseigenschaften und das Zeitschwingverhalten erwartet.

### 3. Werkstoffzustand

Die mechanischen Eigenschaften können durch Anlassen im Bereich von 500-650°C in weiten Grenzen variiert werden. Aus der Vielzahl der mit Zug- und Kerbschlagbiegeversuchen geprüften Werkstoffzustände wurden für die aufwendigeren bruchmechanischen Untersuchungen nur die in Tabelle 2 aufgeführten ausgewählt. Alle Stähle waren geschmiedet und anschließend vergütet.

### 4. Versuchsergebnisse

Tabelle 3 zeigt anhand der Streckgrenze und der Zugfestigkeit die bessere Durchvergütung des 3,5%-Nickel-Stahles gegenüber dem bisher verwendeten 1,8%-Nickel-Stahl. Tabelle 4 enthält Streckgrenze und Kerbschlagzähigkeit der näher untersuchten Werkstoffzustände. In Diagramm 1 sind die Ergebnisse der Rißwachstumsmessungen aufgetragen. Diagramm 2 zeigt den Einfluß der Anlaßbehandlung auf die Bruchzähigkeit und Diagramm 3 die Abhängigkeit der Bruchzähigkeit von der Temperatur. Die Bruchzähigkeit wurde entsprechend ASTM-E 399-70 T bestimmt.

### 4. Diskussion

Die Rißwachstumsrate des Stahles 35 NiCrMo 14 5 ist nur wenig größer als die des Stahles 26 NiCrMo 14 5. Der Unterschied ist vermutlich nicht auf die chemische Zusammensetzung, sondern auf die Streckgrenze (bei gleicher Prüftemperatur) zurückzuführen. Über den Einfluß der Er-

schmelzungsart auf das Rißwachstum liegen z.Zt. noch keine Ergebnisse vor. Die Bruchzähigkeit des Stahles 26 NiCrMo 14 5 steigt mit der Anlaßtemperatur. Die höhere Bruchzähigkeit der elektroschlackenumgeschmolzenen Variante ist nach den bisherigen Ergebnissen durch die niedrigere Streckgrenze bedingt. Die Bruchzähigkeit des Stahles 35 NiCrMo 14 5 ist im gesamten Temperaturbereich niedriger als die des Stahles 26 NiCrMo 14 5. Auch dabei wird als wesentliche Einflußgröße die Streckgrenze angenommen.

### 5. Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, daß chemische Zusammensetzung (unterschiedlicher Kohlenstoffgehalt) und Erschmelzungsart der untersuchten Stähle keinen entscheidenden Einfluß auf die Rißwachstumsrate und die Bruchzähigkeit haben. Die Auftragung der Bruchzähigkeit über der Streckgrenze in Diagramm 4 läßt einen starken Einfluß der Streckgrenze erwarten, die durch die Anlaßtemperatur in weiten Grenzen verändert werden kann.

| Stahlbezeichnung        | Erschmelzungsart | Chemische Zusammensetzung in Gew.-% |      |      |      |      |      |       |
|-------------------------|------------------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|-------|
|                         |                  | C                                   | Si   | Mn   | Cr   | Mo   | Ni   | V     |
| 35 NiCrMo 14 5          | E                | 0,36                                | 0,22 | 0,60 | 1,29 | 0,46 | 3,23 | 0,12  |
| 26 NiCrMo 14 5          | E                | 0,27                                | 0,10 | 0,24 | 1,28 | 0,32 | 3,44 | 0,07  |
| 26 NiCrMo 14 6          | E                | 0,29                                | 0,21 | 0,31 | 1,54 | 0,46 | 3,45 | <0,03 |
| 26 NiCrMo 14 6/ESU      | ESU              | 0,29                                | 0,21 | 0,31 | 1,54 | 0,46 | 3,45 | <0,03 |
| SAE 4340 (Richtanalyse) | -                | 0,40                                | 0,20 | 0,85 | 0,75 | 0,25 | 1,80 | -     |

Tabelle 1: Untersuchte Stähle

E: Elektrooofen

ESU: Elektroschlackeumgeschmolzen

| Stahlbezeichnung   | Durchmesser in mm | Wärmebehandlung  |
|--------------------|-------------------|--|
| 35 NiCrMo 14 5     | 300               | 870°C/Wasser+8h, 500°C/Luft  |
| 26 NiCrMo 14 5     | 300               | 860°C/Wasser+1h, 600°C/Luft  |
| 26 NiCrMo 14 6     | 330               | 860°C/Öl+2h, $\begin{matrix} 550^{\circ}\text{C} \\ 575^{\circ}\text{C} \\ 600^{\circ}\text{C} \\ 625^{\circ}\text{C} \\ 650^{\circ}\text{C} \end{matrix}$ /Luft |
| 26 NiCrMo 14 6/ESU | 330               |  |

Tabelle 2: Untersuchte Werkstoffzustände

| Stahl       | Durchm. in mm | $\sigma_{0,2}$ in N/mm <sup>2</sup> |      | $\sigma_B$ in N/mm <sup>2</sup> |      |
|-------------|---------------|-------------------------------------|------|---------------------------------|------|
|             |               | Rand                                | Kern | Rand                            | Kern |
| 1,5%-Nickel | 220           | 980                                 | 735  | 1080                            | 860  |
| 3,5%-Nickel | 300           | 1000                                | 1000 | 1080                            | 1080 |

Tabelle 3: Vergleich der Durchwärtung

| Stahlbezeichnung   | Anlaßtemp. in °C | $\sigma_{0,2}$ in N/mm <sup>2</sup> | $a_k$ (DVM) in J/cm <sup>2</sup> |
|--------------------|------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 35 NiCrMo 14 5     | 500              | 1250                                | 70                               |
| 26 NiCrMo 14 5     | 600              | 950                                 | 145                              |
| 26 NiCrMo 14 6     | 550              | 1060                                | 65                               |
|                    | 575              | 1000                                | 100                              |
|                    | 600              | 890                                 | 140                              |
|                    | 625              | 840                                 | 135                              |
|                    | 650              | 725                                 | 140                              |
| 26 NiCrMo 14 6/ESU | 550              | 950                                 | 90                               |
|                    | 575              | 910                                 | 155                              |
|                    | 600              | 790                                 | 185                              |
|                    | 625              | 735                                 | 210                              |
|                    | 650              | 635                                 | 210                              |

Tabelle 4: Streckgrenze und Kerbschlagzähigkeit bei Raumtemperatur

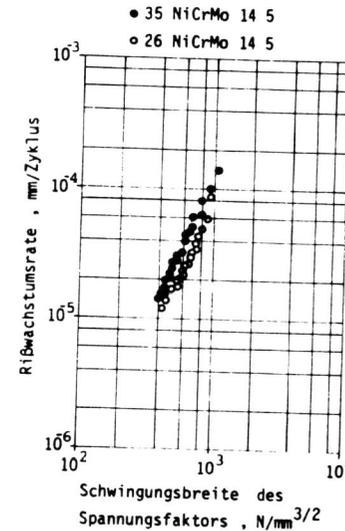


Diagramm 1: Rißwachstum bei Raumtemperatur

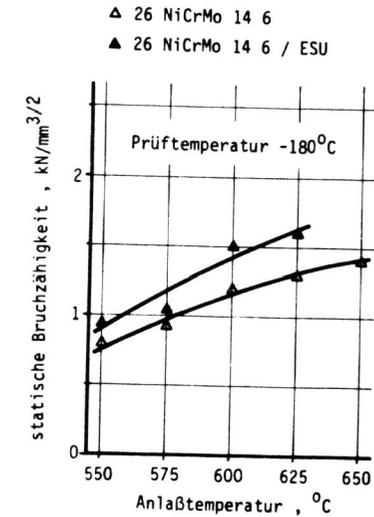


Diagramm 2: Einfluß der Anlaßtemperatur auf die Bruchzähigkeit

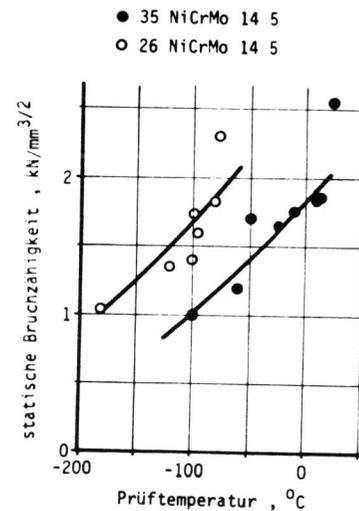


Diagramm 3: Abhängigkeit der Bruchzähigkeit von der Temperatur

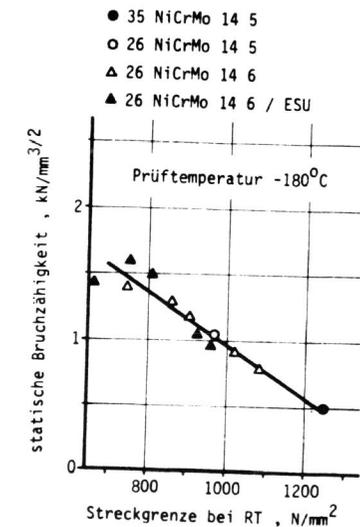


Diagramm 4: Abhängigkeit der Bruchzähigkeit von der Streckgrenze