

Untersuchung zur Kriechporenbildung an fehlerhaft wärmebehandeltem X20 CrMoV 12 1

Von H. Heinrich*

* Dr. H. Heinrich,
Rheinisch-Westfälischer Technischer
Überwachungs-Verein e.V., Essen.

Einleitung

Der Werkstoff X20 CrMoV 12 1 wird seit vielen Jahren für im Kriechbereich betriebene Kraftwerksbauteile eingesetzt. Der Einfluß unterschiedlicher Wärmebehandlungen auf die Lebensdauer von Neumaterial wurde bereits untersucht [2 und 5]. In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse einer Restlebensdaueruntersuchung vorgestellt, die an betriebsbeanspruchtem Material, dessen Wärmebehandlung offensichtlich nicht korrekt war, durchgeführt wurde.

Im Rahmen der regelmäßigen inneren Prüfung eines Dampfzeugers in einem Kraftwerk wurden in der Frischdampf-(FD-)Leitung und an Kesselrohren aus X20 CrMoV 12 1 Gefügestände festgestellt, die nicht zu erwarten waren. Um eine bessere Übersicht zu erlangen, wurden die bei 92 Replika-Entnahmen gefundenen Gefügestände in 4 Klassen (N, A, B, C) unterteilt (Bilder 1 bis 4). 57 % der Replikas zeigten ein normales Gefüge (N), 14 % fielen in Klasse A, 13 % in Klasse B und 16 % in Klasse C.

Bild 1 zeigt den Normalzustand, der bei Vorliegen eines ordnungsgemäßen Ausgangszustandes zu erwarten ist. Die Bilder 2 bis 4 zeigen typische Beispiele der von den Erwartungen abweichenden Gefügestände. Man erkennt, daß die Abweichungen, die in einem fallenden Anteil an Martensit sowie einem steigenden Anteil an ferritischem Gefüge und eingeformten Carbiden bestehen, von Klasse A nach Klasse C zunehmen.



Bild 1. X20 CrMoV 12 1, normaler Gefügestand (N) nach Betriebsbeanspruchung, $V = 200$ fach.

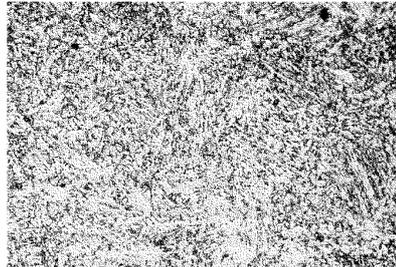


Bild 2. X20 CrMoV 12 1, abweichender Gefügestand (A) nach Betriebsbeanspruchung, $V = 200$ fach.

Die dargestellten Gefüge sind nach einer Betriebsbeanspruchung von rund 130 000 h bei 530 °C und 196 bar am Bauteil repliziert worden. Das Gefüge des Ausgangszustandes ist in keinem Fall bekannt.

Die aufgrund des Gefügestandes zu erwartende erniedrigte Restlebensdauer sollte mit Hilfe von Isostreißversuchen abgeschätzt werden. Durch eine zusätzliche Probe, deren Isostreißversuche mehrfach unterbrochen wurden (Einprobentechnik), sollte weiterhin versucht werden, den Nachweis zu führen, daß eine Kriechporenbildung in diesem Material frühzeitig nachweisbar ist und damit eine sichere Aussage über kritische Materialzustände (Gefügeschädigung als Vorläufer einer Ribbildung) mit Hilfe der Replika-Technik gemacht werden kann.

Probennahme

Die Auswahl eines geeigneten Bauteiles erfolgte mit Hilfe von Replikas. Dabei wurde, um eine untere Auffanggrenze für die anderen Teile der Rohrleitung zu erhalten, ein Rohrstück mit einem Gefügestand ent-

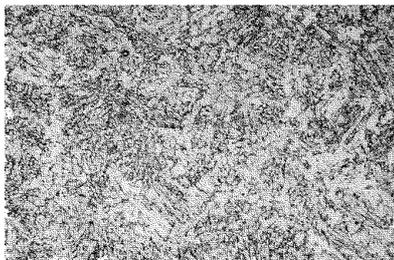


Bild 3. X20 CrMoV 12 1, abweichender Gefügestand (B) nach Betriebsbeanspruchung, $V = 200$ fach.

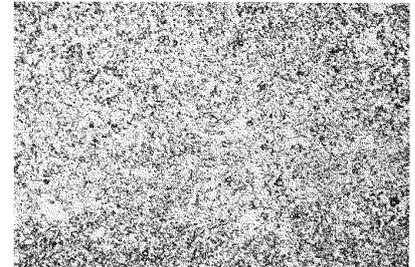


Bild 4. X20 CrMoV 12 1, abweichender Gefügestand (C) nach Betriebsbeanspruchung, $V = 200$ fach.

sprechend Bild 4 gewählt. Bild 5 zeigt das ausgewählte Geradrohr sowie die Orte der Replika- und Isostreißprobenentnahme. Die Probenentnahme erfolgte in Umfangsrichtung.

Versuchsdurchführung

Zur Ermittlung der Restlebensdauer wurden Isostreißversuche durchgeführt. Beim Isostreißversuch wird die Probe mit einer Spannung entsprechend dem Betriebszustand belastet. Zur Verkürzung der Versuchszeit wird die Temperatur gegenüber dem Betrieb erhöht. Es werden mehrere Proben bis zum Bruch gefahren. Trägt man die Bruchzeiten in einem halb-logarithmischen Diagramm über der Temperatur auf, so erhält man eine Gerade. Extrapoliert man diese Gerade auf Betriebstemperatur, kann man auf der Ordinate die zu erwartende Restlebensdauer ablesen.

Normalerweise werden bei Isostreißversuchen Rundproben verwendet. Bei dieser Untersuchung wurde neben den normalen Isostreißversuchen bei der niedrigsten Temperatur zusätzlich eine Probe mit quadratischem Querschnitt eingesetzt. Dieser Versuch wurde zwecks Replika-Entnahme mehrfach unterbrochen und die Probe an-

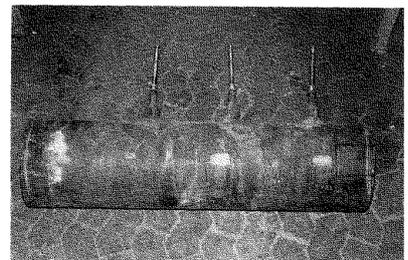


Bild 5. Untersucher Rohrabschnitt mit Orten der Gefügeabdruck- und Isostreißprobenentnahme.

schließend wieder eingesetzt. Mit Hilfe dieser hier angewendeten Einprobentechnik kann man Gefügeänderungen in Abhängigkeit von der Versuchszeit feststellen und dabei die bekannt großen Materialstreuungen ausschließen.

Bei den Replika-Entnahmen wurde die Probe zunächst feingeschliffen, dann elektroliert und anschließend mit Pikrinsäure geätzt.

Ergebnisse

Restlebensdauer (Probe-Nr. 2 bis 5):
 $t_r = \exp(-0,06924 T + 48,1551)$

Regressionsfaktor:
 $r^2 = 0,99668$

$T = 530 \text{ °C} \rightarrow t_r = 94\,421 \text{ h}$

Die Ergebnisse der Isostreßversuche sind in Tafel 1 aufgelistet und in Bild 6 graphisch dargestellt. Die Proben wurden mit der rechnerischen Betriebsspannung von $\sigma = 98 \text{ (94) N/mm}^2$ belastet. Extrapoliert man die Isostreßgerade auf Betriebstemperatur, so erhält man eine Restlebensdauer von rund 94 000 Stunden. Will man aus diesem Ergebnis die Restlebensdauer der Rohrleitung, aus der das geprüfte Rohr entnommen wurde, abschätzen, so muß man berücksichtigen, daß verschiedene Bauteile aufgrund unterschiedlicher Beanspruchungen (Zusatzkräfte) deutlich unterschiedliche Erschöpfungsgrade aufweisen können.

Aus Bild 6 ist ersichtlich, daß die Zeitstandeigenschaften des Werkstoffes deutlich unterhalb des Streubandes nach DIN 17 175 liegen. Berücksichtigt man die Betriebszeit (130 000 h), so ist die Lebensdauer um rund 360 000 h erniedrigt und beträgt damit weniger als $\frac{1}{5}$ des Wertes nach dem unteren Streuband.

Aufgrund des Gefügestandes (Bild 4) muß als Ursache hierfür eine fehlerhafte Wärmebehandlung (zu niedrige Austeni-

tisierungstemperatur) angenommen werden. Über den negativen Einfluß einer zu niedrigen Austenitierung auf die Zeitstandfestigkeit des X20 CrMoV 12 1 wurde bereits berichtet [1, 5].

Da eine fehlerhafte Wärmebehandlung am Gefügestand erkennbar ist, werden seit Bekanntwerden der beschriebenen Gefügestände neue Bauteile aus dem Werkstoff X20 CrMoV 12 1 vor dem Einbau mit Hilfe von Replikas auf einen ordnungsgemäßen Wärmebehandlungszustand überprüft.

Die Wärmebehandlung des Werkstoffes X20 CrMoV 12 1 besteht aus einem Austenitieren, woran sich nach dem Abkühlen ein Anlassen anschließt. Beim Austenitieren soll der vorhandene Kohlenstoff (Carbide) in Lösung gehen. Der in Lösung gegangene Kohlenstoff führt dann beim Abkühlen zur Martensitbildung. Grundsätzlich kann man somit aus der Härte nach dem Austenitieren auf die Austenitierungstemperatur zurückschließen (Bild 7).

Zur Erhöhung der Zeitstandfestigkeit und Zähigkeit werden die Bauteile nach dem Härten noch angelassen. Die Anlaßtemperatur ist für die Härte bestimmend. Deshalb kann, obwohl die Härte durch die Betriebsbeanspruchung nur unwesentlich beeinflußt wird, aus der Härte nicht mehr auf die Austenitierungstemperatur geschlossen werden. Somit kann die aus dem Ist-Zustand des Werkstoffes (Replika) ersichtliche zu niedrige Austenitierungstemperatur mit Hilfe von Härtemessungen nicht quantifiziert werden. Möglicherweise könnte dieses Problem durch Strukturuntersuchungen gelöst werden [2].

Beim Anlassen scheidet sich der Kohlenstoff in Form von feinstverteilten (Chrom- und Eisen-)Carbiden aus, deren versetzungsblockierende Wirkung wesentlich für die Kriechbeständigkeit des Werkstoffes ist. Bei zu niedriger Austenitierungstemperatur werden nicht alle Carbide gelöst, und diese wirken als Nukleationspunkte bei der Carbidbildung. Dadurch entstehen grobe Carbidstrukturen. Demzufolge zeigt der Werkstoff nach dem Anlassen eine zu geringe Kriechbeständigkeit.

Interessante Ergebnisse erbrachte die bei der niedrigsten Temperatur (längste Laufzeit) mitlaufende Probe, deren Kriechkurve in Bild 8 dargestellt ist. Die Probe hatte zur besseren Replika-Entnahme einen quadratischen Querschnitt. Nach neueren Veröffentlichungen ist am korrekt wärmebehandelten X20 CrMoV 12 1 sowohl im Bereich der normalen Einsatztemperatur [6, 7] als auch bei erhöhter Prüftemperatur [3, 4] ab etwa 50 % der Lebensdauer mit Hilfe spezieller Präparationstechniken der Nachweis von Kriechporen möglich. Dementsprechend wurde die Probe bei 60 % der zu erwartenden Restlebensdauer zum erstenmal ausgebaut und das Gefüge mit Hilfe von Replikas untersucht. Da die Laufzeit der Probe kürzer war als erwartet, ergab sich ein realer Restlebensdaueranteil bis zum Bruch (siehe Bild 8) von 69,0 %. Es stellte sich heraus, daß schon eine deutliche Kriechporenbildung eingesetzt hatte. Deren weitere Entwicklung wurde durch zwei zusätzliche Versuchsunterbrechungen bei 82,4 und 91,8 % der realen Restlebensdauer verfolgt. Das jeweilige Gefüge ist in den Bildern 9 bis 11 wiedergegeben.

Man erkennt, daß die Porenbildung sich weiter verstärkt. Da die beobachtete Porenbildung eine ähnliche Erscheinungsform zeigt, wie sie auch bei den niedriglegierten, ferritischen, warmfesten Stählen (10 CrMo 9 10, 13 CrMo 4 4) beobachtet werden kann, kann eine Einteilung der gefundenen Gefügeschädigungen in Schädigungsklassen nach VdTÜV-Merkblatt 451/TRD 508 vorgenommen werden [6, 7].

Da es sich hier um einen Werkstoffzustand handelt (unkorrekte Wärmebehandlung), mit dem man bisher keine Erfahrungen hat, sollten zusätzlich zu den in der TRD 508 entsprechend den einzelnen Schädigungsklassen vorgesehenen Maßnahmen Sicherheiten in Form weiterer Prüfungen oder eingeschränkter Betriebsbedingungen vorgesehen werden.

Bild 9 zeigt einzelne Poren (Schädigungsklasse 2), in Bild 10 sind Porenketten (Schädigungsklasse 3) und in Bild 11 deutliche Korngrenzentrennungen (Schädigungsklasse 4) erkennbar.

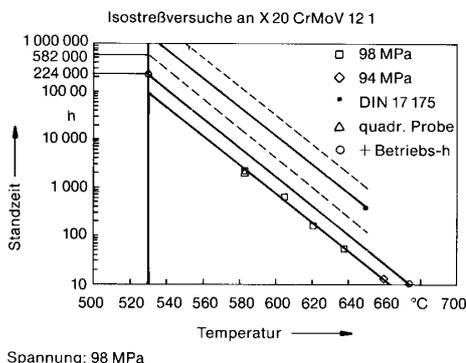


Bild 6. Isostreßversuche.

Tafel 1. Ergebnisse der Isostreßversuche.

Probe-Nr.	Prüftemperatur in °C	Bruchzeit in h	Spannung in N/mm ²	Probenform
1	660	12,5	94	rund
2	638	53,7	98	rund
3	621	159,7	98	rund
4	605	630	98	rund
5	583	2233	98	rund
6	583	1978	98	quadratisch

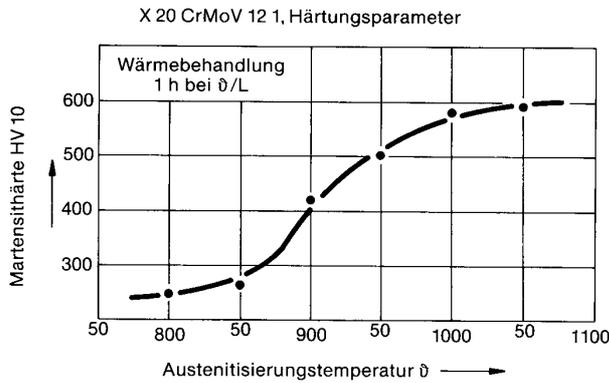


Bild 7. Martensithärte in Abhängigkeit von der Austenitisierungstemperatur für X20 CrMoV 12 1.

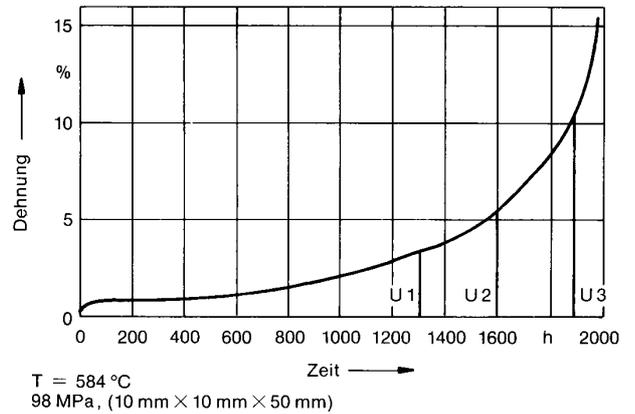


Bild 8. Kriechkurve der Probe mit quadratischem Querschnitt (Versuchsunterbrechungen bei U1, U2 und U3).

Schlußfolgerungen

Die vorgestellten Ergebnissen zeigen, daß sich ein fehlerhaft wärmebehandelter X20 CrMoV 12 1 deutlich von korrekt wärmebehandeltem Material unterscheidet. Dies wird ersichtlich aus dem Gefüge (vergleiche Bilder 2 bis 4 mit Bild 1) und aus der erniedrigten Lebensdauer (Bild 6).

Die Art der Porenbildung und die Möglichkeit von deren Nachweis durch ein routinemäßig angewendetes Replikaverfahren — Schleifen bis 600er Körnung, Elektropolieren und Ätzen mit Pikrinsäure — sowie der frühe Zeitpunkt, zu dem die Kriechporen unter Betriebsspannung (Bilder 8 und 9) nachweisbar sind, stellt sicher, daß eine Schädigung (Porenbildung) im Betrieb bei jährlicher Kontrolle mit Hilfe von Replikas rechtzeitig erkennbar ist. Weitere Untersuchungen an den Gefügeständen A und B sollen durchgeführt werden.

Literatur

- [1] Fabritius, H., und Weber, H.: Tagungsbericht zur VGB-Konferenz „Werkstoffe und Schweißtechnik im Kraftwerk 1976“, S. 180.
- [2] Kaes, H., und Weber, H.: Tagungsbericht zur VGB-Konferenz „Werkstoffe und Schweißtechnik im Kraftwerk 1987“, S. 242—285.
- [3] Nilsvang, N., Eggeler, G., und Ilschner, B.: Praktische Metallographie 19 (1988), S. 133—140.

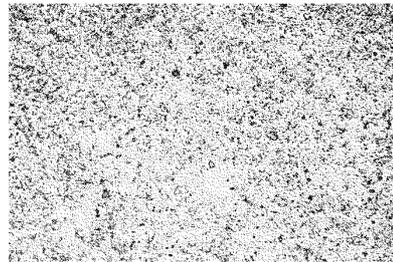


Bild 9. X20 CrMoV 12 1, Gefüge nach 69,0% der Restlebensdauer, V = 200fach.

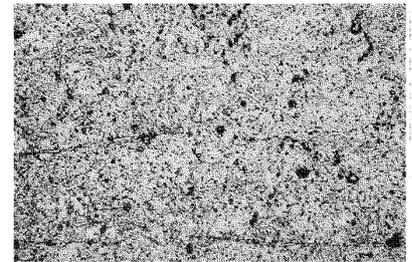


Bild 10. X20 CrMoV 12 1, Gefüge nach 82,4% der Restlebensdauer, V = 200fach.

- [4] Eggeler, G., Earthman, J.C., Nilsvang, N., und Ilschner, B.: Acta Metallurgica, 37 (1989), H. 1, S. 49—60.

- [5] Blum, R., Neubauer, B., und Schepp, P.: Tagungsbericht zur VGB-Konferenz „Instandhaltung 1988“: Vorbeugende Beherrschung von betrieblichen Schäden an X20 CrMoV 12 1 im Hinblick auf Erhöhung der Lebensdauer.

- [6] Bürgel, R., Poepfel, W., und Tolksdorf, E.: Tagungsbericht zur VGB-Konferenz „Erfahrungen und Maßnahmen zur Lebensdauer-Verlängerung von Rohrleitungen im Zeitstandbereich“, 1987, S. 160—186.

- [7] Trück, B., Schneider, K., und Bürgel, R.: Reaktortagung 1989: Schädigungsentwicklung in zeitstandbelasteten Hochtemperaturkomponenten aus X20 CrMoV 12 1.

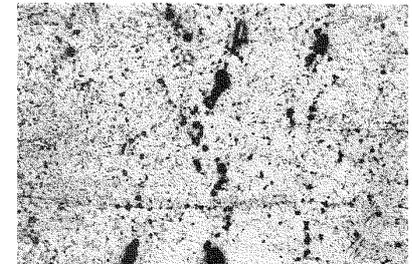


Bild 11. X20 CrMoV 12 1, Gefüge nach 91,8% der Restlebensdauer, V = 200fach.