In diesem Jahr hat die Firma Lufthansa Technik AG den 1. Platz beim Posterwettbewerb im Rahmen der Metallographie-Tagung belegt. Thema des Posters: „Der Einsatz der EDX-Analyse zum Nachweis von Vogelknochen in Flugzeugtriebwerken“

Polen:
Tel. 022 / 8245280
grzegorz.uszynski@struers.de

Ungarn:
Tel. 06 23 428 742
zoltan.kiss@struers.de

Volume XLI
December 2004

Practical
Metallography 2456 Per

[Materialprüfung]

Werkstoffprüfung *Technik*: Ermittlung der Eigenschaften und Kennwerte unter mechanischen, thermischen oder chemischen Beanspruchungen an Proben und Bauteilen.

Das ist Ihnen nicht neu? Wirklich Neues und Nützliches über zerstörungsfreie und zerstörende Prüfverfahren finden Sie in **MP Materialprüfung**.

Bestellen Sie jetzt Ihr kostenloses und unverbindliches Probeheft von **MP Materialprüfung**. Einfach Coupon ausfüllen und faxen an 089 / 98 46 00.

☐ Firmenadresse	☐ Privatschrift
Vorname	Name
Firma	
Branche	
Abteilung	Position
Straße / Postfach	
Land / PLZ / Ort	
Datum / Unterschrift	
Unternehmensgröße: ☐ 1-19 ☐ 20-49 ☐ 50-99 ☐ 100-199 ☐ 200-499 ☐ 500-999 ☐ über 1.000 Beschäftigte	

☐ Ja, ich möchte die **MP** kennen lernen.

Bitte senden Sie mir kostenlos und unverbindlich ein Probeheft.

MP erscheint 9x jährlich und kostet im Abonnement € 308,- (unverb. Preisempfehlung, zzgl. Versandkosten, Stand 2005)

Bitte informieren Sie mich per e-Mail über:

☐ Qualitätsmanagement

☐ Wirtschaft/Management

e-Mail:

Oder einfach direkt online anmelden unter www.hanser.de/newsletter

Trüllinger, S. u.a.: Schadensanalyse / Failure Analysis

Schadensuntersuchung an Messern aus einer Großmetzgerei

A Failure Analysis of Knives Used in a Large-Size Butchery

Samuel Trüllinger, Markus Zraggen, Markus Faller, Oliver von Trzebiatowski

Korrespondenzanschrift/Correspondence address:

Abteilung Metallische Werkstoffe EMPA Dübendorf, Überlandstraße 129, CH-8600 Dübendorf
E-Mail: samuel.truellinger@empa.ch

Eingegangen: 19. September 2003

Angenommen: 18. November 2003

Received: September 19, 2003

Accepted: November 18, 2003

Translation: J. Fritsche

Kurzfassung

Im Rahmen einer Schadensexpertise wurden drei Messer mittels fraktographischer, metallographischer und korrosionschemischer Methoden untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Messer qualitativ einwandfrei gefertigt waren. Die schadhaften Messer wiesen nebst mechanischen Beschädigungen und Anlassfarben von Nachschleifprozessen interkristalline Korrosionsangriffe auf, was Klingenbrüche begünstigte. Das Versagen war eindeutig auf fehlerhafte Einsatzbedingungen und mangelhafte Pflege zurückzuführen.

Abstract

Within a damage expertise, an examination was performed on three knives by means of fractographic, metallographic, and corrosion chemical characterization methods. The knives were proved to have been manufactured in a proper quality. Apart from showing mechanical damage and tempering colours left behind by regrinding procedures, the damaged knives showed to have undergone a corrosive intercrystalline attacks, which supported knife blade ruptures. Their failure was clearly caused by improper handling conditions and insufficient care.

Einleitung / Untersuchungsaufgaben

In einem Großmetzgereibetrieb sind zahlreiche Messer eines namhaften Messerherstellers aufgrund von Klingenbrüchen ausgefallen. In der Folge stellte der Metzgereibetrieb Schadenersatzforderungen gegenüber dem Messerhersteller. Um die Ausfallursache zu klären, gelangten drei der gebrochenen Messer zur Untersuchung.

Die Messer sind nach Herstellerangaben aus einem martensitischen Chromstahl entsprechend der DIN/EN Werkstoff Nr. 1.4034 (X46Cr13) hergestellt. Die schadhaften Messer tragen folgende Bezeichnungen:

Messer Nr. 1, Schlacht und Bankmesser

Messer Nr. 2, Schlacht und Bankmesser

Messer Nr. 3, Schinkenmesser

Introduction / Field of Examination

A large number of knives produced by a renowned knife manufacturer failed in a large-size butchery because of knife blade ruptures. As a consequence, the butchery claimed damage from the knife manufacturer. Three of the broken knives were subjected to an examination in order to finding out the cause of their failure.

As the manufacturer stated the knives were produced from a martensitic chromium steel in accordance with DIN/EN, No. 1 Material (X46Cr13). The designations of the damaged knives were as follows:

Knife No. 1, slaughtering and block knife

Knife No. 2, slaughtering and block knife

Knife No. 3, ham knife.

Bild 1. Messer Nr. 1, Die Klinge ist ca. 9 cm vom Griff entfernt gebrochen

Fig. 1. No. 1 knife with the blade broken at a distance of abt. 9 cm from the haft

Als Vergleichsobjekte wurden zwei fabrikneue Messer mitgeliefert:

- 1 Schlacht und Bankmesser
- 1 Schinkenmesser

Makroskopische Zustandsbeurteilung

Zustand von Messer Nr. 1:

Die Klinge ist ca. 9 cm vom Messergriff entfernt gebrochen. Die Klinge zeigt ausgeprägte Schleifspuren und vereinzelt Stellen mit Anlassfarben (Bild 1 und 2). An der Schneidkante sind zwei ca. 2 cm und 8 cm vom Griff entfernte Risse vorhanden (Bild 2).

Zustand von Messer Nr. 2:

Der Klingenbruch befindet sich ca. 31 cm von der Messerspitze entfernt. Die Klinge weist ausgeprägte Schleifspuren auf und es sind diverse Flecken auf der Klinge sichtbar, die vermutlich von eingetrocknetem Blut stammen. Einer dieser Flecken befindet sich unmittelbar bei der Bruchfläche (Bild 3). Auf dem Messerrücken sind im Bereich der Klingenspitze zahlreiche Schlagspuren vorhanden. (Bild 4).

Bild 2. Messer Nr. 1, Risse und Stellen mit Anlassfarben an der Schneidekante

Fig. 2. No. 1 knife having cracks and points of tempering colours on the cutting edge

Two new knives straight from the factory were also delivered as reference objects for the comparison:

- 1 slaughtering and block knife
- 1 ham knife

Assessment of Macroscopic Condition

Condition of the No. 1 knife:

The blade was broken at a distance of abt. 9 cm from the haft. The blade exhibited pronounced grinding marks and tempering colours at a few points (Figs. 1 and 2). At the cutting edge side of the knife, two cracks were observed at distances of abt. 2 cm and 8 cm from the haft (Fig. 2).

Condition of the No. 2 knife:

The location where the blade broke was at a distance of abt. 31 cm from the knife tip. The blade had pronounced grinding marks and various stains, which presumably originated from dried blood. One of these stains was found very close to the rupture surface (Fig. 3). Numerous impact marks were observed at the back of the knife in the area of the blade tip (Fig. 4).

Bild 3. Messer Nr. 2, Die Klinge ist ca. 31 cm von der Messerspitze entfernt gebrochen. Auf der Schneide können Blutflecken festgestellt werden

Fig. 3. No. 2 knife with the blade broken at a distance of abt. 31 cm from the knife tip. Blood stains are shown to exist on the edge

Zustand von Messer Nr. 3:

Die Bruchstelle ist ca. 4 cm vom Messergriff entfernt. Auf der Klinge sind ausgeprägte Eindrücke feststellbar (Bild 5).

Bild 4. Messer Nr. 2, Mehrere Schlagstellen am Messerrücken

Fig. 4. No. 2 knife presenting several impact points at the back of the knife

Condition of the No. 3 knife:

The point where the knife broke was at a distance of abt. 4 cm from the knife haft. Pronounced impressions were found to exist on the blade (Fig. 5).

Metallographische Untersuchung

Von den Messern 1 bis 3 und von den zwei Referenzmessern wurde je ein Querschliff entnommen. Beim Messer Nr. 1 wurde zusätzlich noch ein Längsschliff durch die Risse hergestellt. Im geätzten Zustand ist beim Messer Nr. 1 auf einer Länge von ca. 2 mm von der Schneidkante Richtung Messerrücken eine Zone mit angelassenem Martensit und Ferritflecken nachweisbar (Bild 6 und 7). Die Referenzmesser haben über die gesamte Klingenhöhe eine homogene Gefügeausbildung aus Martensit mit Karbiden (Bild 8). Bei der Härtemessung nach Vickers HV 0.3 wurde festgestellt, dass das Messer Nr. 1 in der angelassenen Zone einen Härteabfall von 620 HV im unbeeinflussten Bereich auf 460 HV im angelassenen Bereich hat. Gemäß Anlassschaubild für Stähle vom Typ 1.4034 ergibt sich aus diesem Härteabfall eine Erhitzungstemperatur über 500° C [1]. Martensitische Chromstähle zeigen in diesem Temperaturbereich ein Maximum an Korro-

Metallographic Examination

A transverse microsection was performed on each of the knives 1 to 3 and on the two reference knives. A longitudinal microsection through the cracks was additionally made for the No. 1 knife. After an etching procedure, the No. 1 knife was also proved to have a zone of tempered martensite and ferrite stains along a length of abt. 2 mm towards the back of the knife from the cutting edge (Figs. 6 and 7). The reference knives exhibited a homogeneous microstructure configuration of martensite with carbides over the entire height of the blade (Fig. 8). Hardness measurement according to Vickers HV 0.3 revealed that the No. 1 knife experienced a drop of hardness in the tempered zone, from 620 HV in the non-influenced area to 460 HV in the tempered area. According to the tempering graph of the 1.4034 type steel, this drop of hardness leads to the conclusion that there had been a heating temperature exceeding 500 °C [1]. Martensitic

Bild 5. Messer Nr. 3, Der Klingenbruch ist ca. 4 cm vom Messergriff entfernt. Auf der Klinge sind mehrere, ausgeprägte Eindrücke feststellbar

Fig. 5. No. 3 knife with the blade broken at a distance of abt. 4 cm from the knife haft. Several pronounced indentations can be seen to exist on the blade

Bild 7. Geätztes Gefüge von Messer Nr. 1. Es liegt angelassener Martensit mit Ferritflecken vor

Fig. 7. Etched microstructure of the No. 1 knife, showing tempered martensite with ferrite stains

sionsanfälligkeit [2]. Das Referenz – Schlachtmesser weist über die gesamte Klingenhöhe Härtewerte zwischen 610 und 630 HV auf. Bei den Rissen im Längsschliff von Messer Nr. 1 sind neben den Hauptrissen zahlreiche feine Nebenrisse vorhanden, wie sie typischerweise bei interkristalliner Korrosion auftreten (Bild 9). Der Bruch am Messer Nr. 1 kann somit eindeutig auf

Bild 6. Messer Nr. 1, Dunkel verfärbte Zone aus angelassenem Martensit

Fig. 6. No. 1 knife having a dark discoloured zone of tempered martensite

Bild 8. Geätztes Gefüge des Referenzmessers. Martensitisches Gefüge mit Sonderkarbiden

Fig. 8. Etched microstructure of the reference knife, showing a martensitic microstructure including special carbides

chromium steels show a corrosion sensitivity maximum in this temperature range [2]. The referenced slaughtering knife exhibited hardness values between 610 and 630 throughout the entire blade height. Regarding the cracks in the longitudinal microsection made on the No. 1 knife; this knife not only had a main cracks, but proved to have numerous fine secondary fissures that

Bild 9. Messer Nr. 1, Riss mit interkristalliner Korrosion

Fig. 9. No. 1 knife presenting a crack with intercrystalline corrosion

Bild 11. Messer Nr. 2, interkristalliner Korrosionsangriff ausgehend von einer Lochfraßstelle

Fig. 11. No. 2 knife presenting an intercrystalline corrosion attack starting from a pit

eine unzulässige Überhitzung der Schneidkante durch den Schleifprozess zurückgeführt werden.

Die Messer Nr. 2 und 3 zeigen im Vergleich zu den Referenzmessern keine Unterschiede in der Gefügeausbildung.

Bild 10. Messer Nr. 2, mehrere Lochfraßstellen (schwarz) unter den Blutflecken

Fig. 10. No. 2 knife presenting several (black) pits underneath the blood stains

Bild 12. Messer Nr. 2, Bruchausgang an einer Lochfraßstelle (Pfeil)

Fig. 12. No. 2 knife having a rupture starting from a pit (arrow)

are typically found in case of intercrystalline corrosion (Fig. 9). Therefore, the rupture on the No. 1 knife can clearly be attributed to the fact that the cutting edge was inadmissibly overheated during the grinding procedure.

The knives No. 2 and No. 3 showed no differences in their microstructure configurations as compared to the reference knives.

Ergebnisse des Korrosionstests nach DIN 58298

Der Korrosionstest nach DIN 58298 [3], der auch Anwendung in der Prüfung von chirurgischen Instrumenten findet, wurde an Abschnitten aus nicht beschädigten Zonen der schadhaften Messer und an Abschnitten der Referenzmesser durchgeführt. Dabei hat man die Proben 30 Minuten in deionisiertem Wasser gekocht, in der Lösung abkühlen lassen und anschließend 2 Stunden lang trocknen lassen. Keine der Proben zeigte nach dem Test Korrosionsspuren. Das bedeutet, dass die Messer vom Hersteller in einem Wärmebehandlungs- und Oberflächenzustand ausgeliefert wurden, der die Anforderungen hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit für chirurgische Instrumente erfüllt.

Fraktographische Untersuchung

Die Messer Nr. 2 und 3 wurden im Rasterelektronenmikroskop fraktographisch untersucht. Beim Messer Nr. 2 konnten unter den Blutflecken Lochfrassstellen nachgewiesen werden (Bild 10). In diesen Lochfrassstellen lässt sich ein interkristalliner Korrosionsangriff nachweisen (Bild 11). Der Bruch ist von einer solchen Lochfrassstelle ausgegangen (Bild 12).

Auf der Klinge des Messers Nr. 3 ist neben den mechanischen Beschädigungen noch eine Elektroschreiber – Beschriftung vorhanden (Bild 13). Der Bruchausgang ist genau bei dieser Elektroschreibermarkierung lokalisierbar (Bild 14). Durch den Elektroschreiber wurde der Stahl in der Schreibspur umgeschmolzen und sehr rasch wieder abgekühlt. Daraus resultierte eine Versprödung, die bruchbegünstigend wirkte.

Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Brüche der drei Messer auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen sind:

Das Messer Nr. 1 wurde offensichtlich beim Nachschleifen verbrannt, was zu interkristalliner Korrosion und Rissen führte.

Results of a Corrosion Test According to DIN 58298

The corrosion test according to DIN 58298 [3], which also finds an application in testing surgical instruments, was made in portions of non-damaged zones of the damaged knives and in portions of the reference knives. For this purpose, the samples were boiled in deionized water for 30 minutes, were allowed to cool in the solution and subsequently to dry for 2 hours. None of the samples showed hints of corrosion initiation after the test. This meant that the knives had been delivered by the manufacturer in thermally treated and surface conditions which met the requirements for an adequate corrosion resistance of surgical instruments.

Fractographic Examination

Fractographic examination of No. 2 and No. 3 knives was performed with a scanning electron microscope. No. 2 knife was proved to show pitting attack underneath the blood stains (Fig. 10). The presence of these pits allows to demonstrate an intercrystalline corrosion attack (Fig. 11). The rupture started from such pits (Fig. 12).

In addition to having mechanically damaged points, the blade of the No. 3 knife has an inscription made by an electro-engraving tool (Fig. 13). The outset of the rupture was localized exactly at this marking (Fig. 14). The electro-engraving tool caused the steel in the engraving mark to be remelted and to cool down again very fast. As a result, the steel became brittle, which supported its rupture.

Summary / Conclusions

The examinations showed that the ruptures of the three knives were caused by different reasons:

No. 1 knife obviously underwent burning while being regrounded, which led to intercrystalline corrosion and cracks.

Bild 13. Messer Nr. 3, Elektroschreiberspuren und mechanische Beschädigung (Glanzstelle)

Fig. 13. No. 3 knife having electro-engraving tool marks and mechanical damage (shiny point)

Bild 14. Messer Nr. 3, Bruchausgang bei der Elektroschreiberspuren

Fig. 14. No. 3 knife having a rupture starting near the electro-engraving tool mark

Das Messer Nr. 2 zeigte lochfraßartig ausgebildete, interkristalline Korrosion unter den Blutflecken und zahlreiche Schlagstellen im Bereich der Messerspitze. Das Messer wurde durch eine Kombination von mechanischer Überbeanspruchung und Korrosion zerstört.

Eine Elektroschreiber – Markierung in Kombination mit Deformationen durch mechanische Schläge verursachte den Bruch an Messer Nr. 3.

Allen schadhaften Messern ist gemeinsam, dass sie recht grobe Bearbeitungsspuren vom Nachschleifen aufweisen. Von den üblicherweise verwendeten Messerstählen des Typs X46Cr13 ist bekannt, dass sie ihre optimale Korrosionsbeständigkeit nur im feinbearbeiteten, beziehungsweise polierten, und gehärteten, niedrig angelassenen Zustand haben [2]. Die Korrosionsbeständigkeit ist selbst dann nur in schwach korrosiven Medien gewährleistet. Blut wirkt von der chemischen Zusammensetzung her korrosiv, da erhebliche Chloridmengen enthalten sind (bei menschlichem Blut ca. 100 mmol/l @ 3.5 g/l [4]; bei tierischem Blut dürfte die Zusammensetzung ähnlich sein). Zudem herrschen unter den eintrocknenden Blutropfen Spaltkorrosionsbedingungen, die zu einer Aufkonzentrierung von Chloridionen und einem Absinken des pH-Wertes infolge Hydrolyse der Korrosionsprodukte führt [5].

No. 2 knife showed intercrystalline corrosion evidenced by pitting like spots underneath the blood stains and numerous impact points in the area of the knife tip. The knife was destroyed by a combination of mechanical overstress and corrosion.

The rupture of the No. 3 knife was provoked by an electro-engraving tool with which the knife was worked, in a combination with deformations by mechanical bumps.

What all of the damaged knives have in common, is that they exhibit rather heavy machining marks caused by regrinding. The knife steels of the type X46Cr13, which are commonly used, are known to present their optimum corrosion resistance only in a precisely machined or polished and hardened, low-tempered condition [2]. Even then, their corrosion resistance will be guaranteed only when they are in low-corrosion media. Blood is corrosive from its composition point of view because it contains very large amounts of chloride (which is abt. 100 mmole/l in human blood @ 3.5 g/l [4]; animal blood being presumed to have a similar composition). Moreover, crevice corrosion conditions prevail underneath the drying blood droplets that cause an increased concentration of chloride ions and a drop of the pH because of the hydrolysis of the corrosion products [5].

Es ist allgemein darauf zu achten, dass Messerstähle nicht unnötig lange korrosiven Medien ausgesetzt werden. Schlagbeanspruchungen mit harten Gegenständen, die zu Kerben und Eindrücken in der Klinge führen, wie sie im vorliegenden Fall nachgewiesen werden konnten, sind unbedingt zu vermeiden. Messerstähle müssen mit ausreichender Kühlung nachgeschliffen werden, da sie sonst ihre Korrosionsbeständigkeit verlieren und zusätzliche Spannungen in den Werkstoff gebracht werden können, die dann zu Rissen führen.

Literatur/References

- [1] Dr. Sommer Werkstofftechnik, Datenbank StahlWissen – NaviMat 3.0
- [2] Rapatz, Die Edelmessstähle, Springer Verlag 1962, S. 600, 602
- [3] DIN Norm 58298-7 Werkstoffe, Ausführung und Prüfung medizinischer Instrumente, Skalpelle und Messer, S 227 Kap.4.2
- [4] Thiemes, Pflege, Georg Thieme Verlag Stuttgart, S. 1482 [4]
- [5] Nürnberger, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen Band 2, Bauverlag GmbH 1995, S. 962 -970

HEITERE METALLOGRAPHIE/HUMOROUS METALLOGRAPHY

Korrosionsspilz / Corrosion Mushroom

Korrosionsspilz mit Sporenaura in einem Torstahl Ø 12 mm, gezüchtet in Cl-haltigem Nährsubstrat und im Stereomikroskop betrachtet

Corrosion mushroom surrounded by spores on steel, grown in a Cl containing substrate, observed by stereo microscopy

P. Unterlechner
Institut für Betonbau, Baustoffe und Bauphysik
Innsbruck

Mäuschen / Mouse

Pore mit Heißriss im Übergang einer austenitischen Schweißverbindung

Pore with hot cracking in the transition zone of an austenitic welding

C. Stephan
TÜV Süddeutschland, Mannheim

Generally, it should be noted that knife steels are not exposed to corrosive media for an unnecessarily long time. Impact stresses caused by bumping with hard objects, which result in notches and indentations in the blade as were proved in the present case, should be strictly avoided. Knife steels require to be reground only if sufficient cooling is available because otherwise they lose their corrosion resistance and additional stresses can be induced into the material which then leads to cracks.

Einfluss der Sigma-Phasenausscheidung auf die Korrosionsresistenz der ferritisch-austenitischen Duplex-Stähle am Beispiel eines REA-Pumpenläufers

The Effect of Sigma-Phase Precipitation on the Corrosion Resistance of Ferritic-Austenitic Duplex Steels in an REA-Pump Impeller

O. Storz, M. Pohl

Korrespondenzanschrift/Correspondence address:
Ruhr-Universität Bochum, Institut für Werkstoffe, D-44780 Bochum
E-Mail: storz@wp.ruhr-uni-bochum.de

Eingegangen: 23. Juni 2003
Angenommen: 17. Oktober 2003

Received: June 23, 2003
Accepted: October 17, 2003
Translation: Ph. Tate

Kurzfassung

Die Ausscheidung der intermetallischen Sigma-Phase in den ferritisch-austenitischen Duplex-Stählen ist bekannt für ihre stark versprödenen Eigenschaften.

Neben ihrer versprödenen Wirkung hat die Sigma-Phasenausscheidung jedoch auch eine lokale Verarmung der Legierungselemente Chrom und Molybdän zur Folge, so dass die Korrosionsempfindlichkeit steigt.

Die Auswirkung dieser Verarmung an Legierungselementen wird anhand eines Schadensfalles diskutiert.

Einleitung

Die ferritisch-austenitischen Duplex-Stähle finden aufgrund ihres guten Korrosionsverhaltens verbunden mit einer vergleichsweise hohen Festigkeit gegenüber anderen nichtrostenden Stählen eine weit verbreitete Anwendung [1]. Typische Einsatzgebiete dieser hochlegierten Stähle liegen in der chemischen und petrochemischen Industrie, der Meerestechnik und dem Anlagenbau.

Wegen der hohen Legierungsgehalte, vor allem an Chrom und Molybdän, besitzen die Duplex-Stähle ein komplexes Umwandlungs- und Aus-

Abstract

The precipitation of the intermetallic sigma-phase in ferritic-austenitic duplex stainless steels is known to cause embrittlement.

In addition to its embrittling effect the sigma-phase precipitation also causes a localized reduction in the alloying elements chromium and molybdenum which increases the sensitivity to corrosion.

The effect of the reduction in these alloying elements is discussed with reference to a failure examination exhibiting this phenomenon.

Introduction

The ferritic-austenitic duplex stainless steels are widely used due to their good resistance to corrosion combined with their relatively high mechanical strength compared with other stainless steels [1]. Typical application fields of these highly alloyed steels are in chemical and petrochemical industries, as well as in marine technology and the plant construction.

Due to their high alloy content, especially chromium and molybdenum, these duplex stainless steels exhibit a particularly complex transforma-