

Eine neue Methode zur Feststellung von Rissen in spröden Materialien

R. BAREŠ, Praha

Einleitung

Immer häufiger macht es sich in den letzten Jahren bei der Materialprüfung erforderlich, den Augenblick und den Ort der Entstehung von Rissen festzustellen. Gleichzeitig werden auch höhere Ansprüche an die Genauigkeit und Empfindlichkeit der Prüfungsmethoden gestellt. Mit den besten bisher bekannten Methoden konnte man im Beton nur Risse feststellen, die breiter als 0,2 mm und schon mit bloßem Auge sichtbar waren. Bei diesen Methoden werden spröde, leitfähige Lacke verwendet. Auf das zu prüfende Element wird ein Streifen des Lackes aufgetragen, das in einen Stromkreis eingeschaltet, von einem sehr schwachen Strom durchflossen wird. Der Widerstand des etwa 30 cm langen Streifens liegt in der Größenordnung von 100 Ω bis 1000 Ω . Bei der Entstehung des Risses im Material soll das leitende Streifen zerreißen und den Stromkreis unterbrechen. Die resultierende starke Vergrößerung des Widerstandes zeigt die Entstehung eines Risses an. Solche leitfähige Lacke werden z. B. von den Firmen Riedel de Haën AG. (Hydrolak) und Deutsche Gold- und Silber-Scheideanstalt (Leitsilber-Verdünnungsöl Nr. 14) hergestellt.

In dem Institut für theoretische und angewandte Mechanik der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften wurde eine neue auf einem anderen Prinzip beruhende Methode entwickelt, die es gestattet, Augenblick und Ort der Entstehung der Risse genauer zu bestimmen. Diese Methode wurde in der CSSR, Großbritannien, der Deutschen Bundesrepublik und in Frankreich als Patent angemeldet.

Das Prinzip der neuen Methode

Die neue Methode benutzt zum Nachweis der Risse ebenfalls ein Streifen aus leitendem Lack, das Bestandteil eines Stromkreises ist. Der benutzte Lack ist jedoch nicht spröde und hat eine bessere Leitfähigkeit (ein etwa 30 cm langes Streifen hat einen Widerstand von 1 Ω bis 30 Ω). Die angelegte Spannung wird so eingestellt, daß je nach Verwendungszweck ein Strom zwischen 2 A und 15 A fließt. Dazu sind Spannungen zwischen 20 V und 220 V erforderlich. Die im Lackstreifen entstehende Stromwärme wird infolge der großen Masse des Prüfelementes zum größten Teil abgeleitet.

Sollen Oberflächen von Beton auf bei Belastung entstehende Risse hin untersucht werden, so muß die Stromstärke so eingestellt werden, daß das Streifen auf 40 bis 60°C aufgeheizt wird. An der Stelle, wo ein Riß entsteht, wird die Wärmeableitung stark verringert; das Streifen wird überhitzt und brennt an

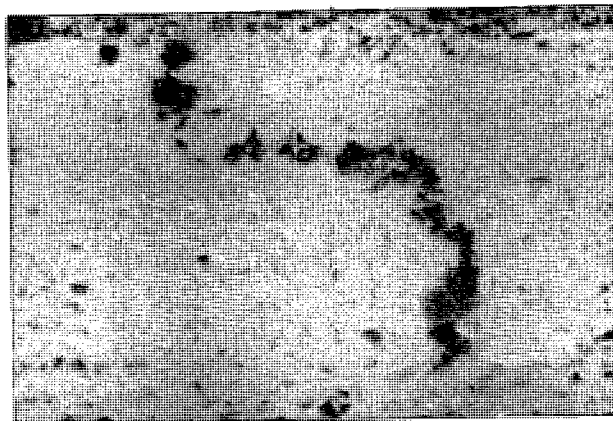


Bild 1
Das Durchbrennen des Lackes an der zerstörten Stelle, wie es mit dem bloßen Auge zu sehen ist

dieser Stelle durch. Der Widerstand des Indikationsstreifens nimmt so stark zu, daß die Stromstärke gegen Null geht. Die Rißbildung wird also durch ein plötzliches Absinken der Stromstärke auf einen unmeßbaren Wert angezeigt. Wenn man die Spannung nach Unterbrechung des Kreises mit einem Regeltransformator erhöht, so schlägt an der zerstörten Stelle ein Funke über, der ein sichtbares Durchbrennen des Lackes verursacht (Bild 1). So kann man nicht nur die Entstehung des Risses in einem bestimmten Gebiet, sondern auch den Verlauf des Risses genau beobachten, da auf dem Streifen nach Überschlag des Funkens der Riß sichtbar bleibt. Auf diese Art und Weise kann man Risse von $\frac{1}{1000}$ mm Breite, manchmal auch kleinere (Bild 2, 3), sicher feststellen.

Soll die Oberfläche des Betonelementes auf Mikrorisse untersucht werden, so wird die Stromstärke bis zum Augenblick des Durchbrennens laufend erhöht. Das Streifen aus leitendem Lack wird, wenn man konstante Dicke des Lackstreifens voraussetzt, an der Stelle der Mikrorisse in einer Breite von wenigstens $\frac{1}{10}$ Mikron (Bild 4) durchgebrannt. Die Spannung, bei der der Streifen durchbrennt, ist abhängig vom Widerstand und der Dicke des Streifens sowie von der Breite des Mikrorisses und schwankt zwischen 40 V und 240 Volt. Die dabei auftretenden Stromstärken variieren von 4 A bis 15 A. Beim Durchbrennen kommt es gewöhnlich zu einem Funkenüberschlag, der den Verlauf des Risses aufzeichnet. Diese Methode wurde für die Feststellung von Rissen im Beton entwickelt. Es bestehen jedoch keine Hindernisse, diese Methode auch für andere spröde Materialien zu benutzen.

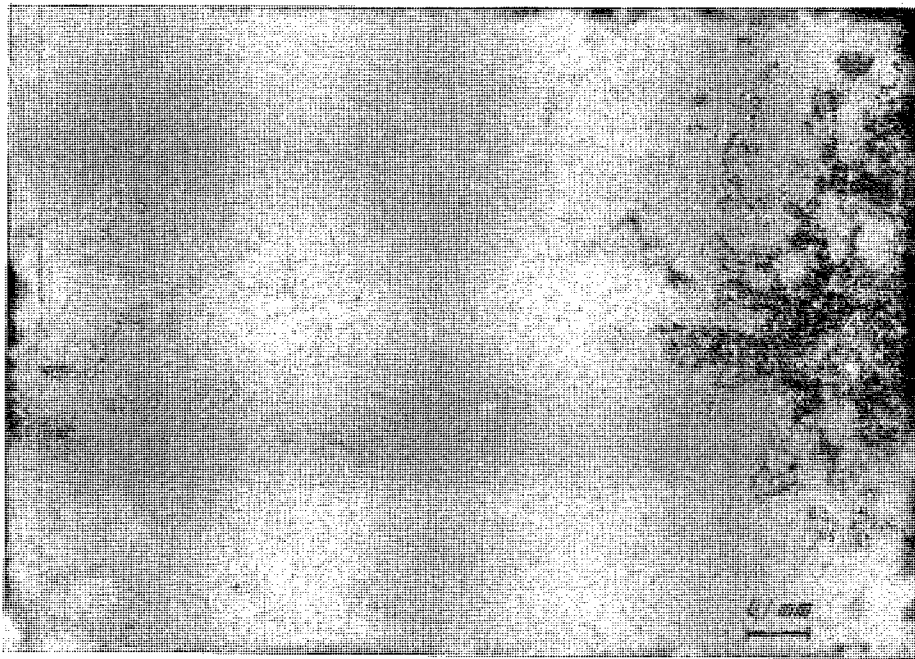


Bild 2

Das Durchbrennen des Lackes an der Stelle der Zerstörung nach Überschlag des Funkens

Der leitfähige Lack ist eine Wasserdispersion eines mit pulverisiertem Kontaktsilber, pulverisiertem Eisen oder mit einem anderen geeigneten leitenden Material in Pulverform gefüllten Kunstharzes.

Das Gerät für die Anzeige der Risse bei statischer Belastung besteht aus einer Stromquelle, (einem Regeltransformator), einem Serienwiderstand einem Amperemeter und einem Umschalter (Bild 5). Wenn ein Riß entsteht, so wird der Stromfluß unterbrochen. Falls der Riß nicht zu sehen ist, kann man die Spannung mit dem Regeltransformator langsam steigern und so das Streifen am Ort des Risses durchbrennen. Die Apparatur zur Ermittlung der Risse bei dynamischer Belastung besteht im Prinzip aus genau so vielen Zählern wie Streifen verwendet werden, einer Stromquelle und einem Quecksilberrelais. Als Stromquelle

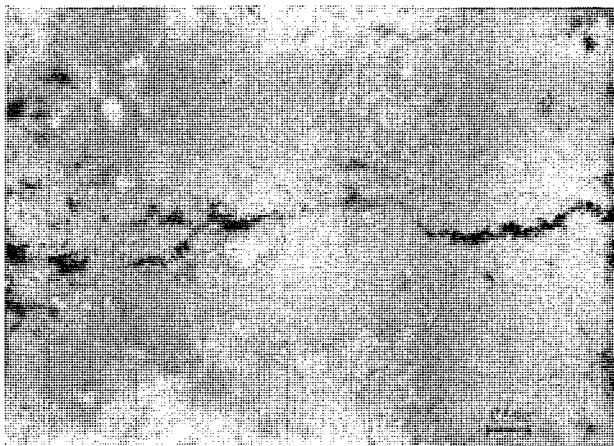


Bild 3

Die Feststellung eines bei der Belastung des geprüften Elementes entstandenen Risses in Breite von etwa 0,03 mm

dient ein Transformator mit Gleichrichter, dessen Primärspannung mit einem Regeltransformator reguliert werden kann. Der Stromkreis über die Zähler kann mit dem Kontakt des Relais geöffnet und geschlossen werden. Ein Ende der Relaiswicklung wird an eine Stromquelle von 220 V angeschlossen und das andere Ende über den Kontakt des Impulszählers geredet (Bild 6). Gewöhnlich braucht man die Streifen an Rissen nicht extra durchzubrennen, da durch den Einfluß des wechselnden Öffnens und Schließens der Risse sich eine deutliche verbrannte Spur bildet.

Die Vorbereitung und Durchführung des Versuches

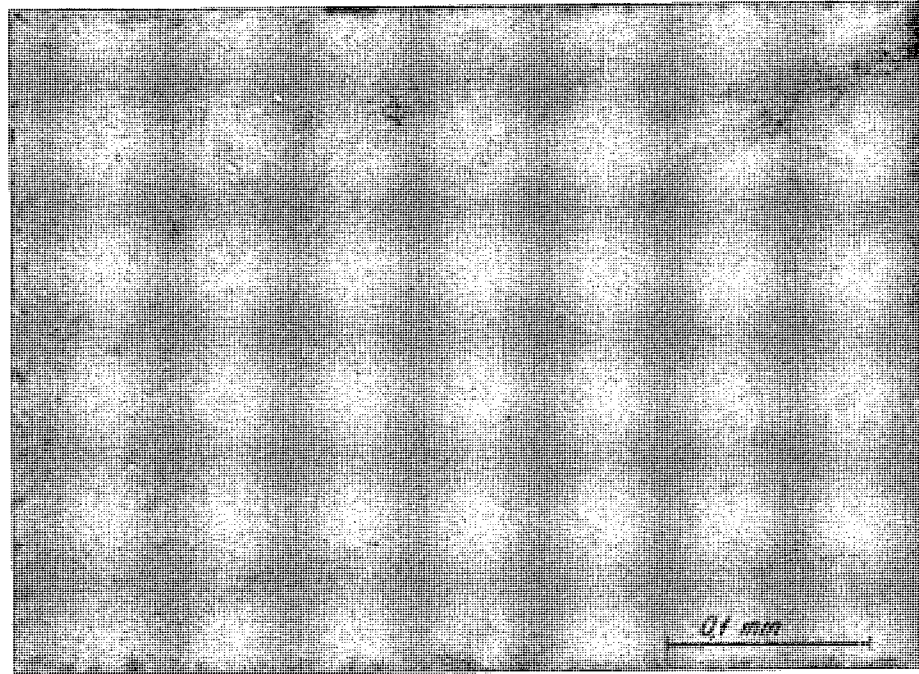
Für die Feststellung der Risse, die bei der Belastung des Prüfelementes entstehen, ist es notwendig, die Oberfläche des Betons so zu bearbeiten, daß diese so glatt wie möglich ist. Es ist jedoch nicht notwendig, den Prüfkörper so weit abzuschleifen, daß die Betonstruktur sichtbar wird. Eine genügend glatte Oberfläche erzielt man z. B. beim Betonieren mit einer gehobelten Holzschalung. Vor dem Auftragen des Streifchens muß die Oberfläche entfettet und vollkommen vom Staub befreit werden.

Für die Untersuchung auf Mikrorisse wird die Oberfläche des Betons nur ordentlich gereinigt und entfettet. Durch das Abschleifen der Oberfläche kann man fehlerhafte Ergebnisse erzielen, da die feinen Mikrorisse mit Staub gefüllt werden.

Der leitfähige Lack wird mit einem kleinen Pinsel in einer Breite von etwa 1 cm und in einer Länge von 10 cm bis 50 cm als dünne Schicht auf die gereinigte und entfettete Oberfläche des Betons aufgetragen. Die Dicke der Schicht soll gleichmäßig sein und sich in den Grenzen von 0,05 mm bis 0,15 mm bewegen. Praktisch erzielt man die richtige Dicke des Streifchens, wenn man folgende Begrenzungen berücksichtigt: Das Streif-

Bild 4

Die Feststellung eines durch Schrumpfen im Beton entstandenen Mikrorisses in Breite von etwa 0,003 mm



ehen soll mindestens so dick sein, daß die Oberfläche des Betons nicht durchleuchtet, aber nicht so dick, daß sich in ihm beim Austrocknen sichtbare Poren bilden. Nach Eintrocknen wird an den Enden des Streifchens Zinn aufgetragen, welches sehr gut am Lack haftet und später ein leichtes Einschalten des Streifchens in den Stromkreis ermöglicht.

Nach Einschalten des Streifchens in den Stromkreis überprüft man, ob sich alle Streifchen beim Durchfließen des Stromes von 2 A bis 4 A in einigen Minuten auf die optimale Temperatur von 40°C bis 60°C erwärmen. Nach Einsetzen des Prüfkörpers in die Prüfmaschine und Einschalten der Apparatur wird das Prüfelement allmählich belastet. Während der Untersuchung wird jeder Stromkreis eine gewisse Zeit geschlossen. Diese Zeitdauer, in der jeweils die optimale Stromstärke herrscht, muß so lang (gewöhnlich einige Sekunden) gewählt werden, daß sich das Meßstreifchen genügend stark erwärmen kann. Wenn der Stromkreis unterbrochen ist (dies wird vom Amperemeter angezeigt), kann man durch Erhöhung der Spannung einen Funkenüberschlag und damit eine sichtbare Spur des Risses auf dem Streifen erzeugen. Die Mikrophotographien (Bild 2 und Bild 3) zeigen solche Spuren von Rissen, die bei einem auf Biegung beanspruchten Balken entstanden sind, an der Grenze zwischen Indikationslack und Beton.

Bei der Suche nach Mikrorissen erhöht man nach Einschaltung der einzelnen Streifchen in den Stromkreis die Stromstärke stetig, bis der Lackstreifen am Reiß durchbrennt. Die dazu erforderliche Stromstärke hängt von der Dicke des Streifchens und der Breite des Risses ab; bei kleinen Rissen braucht man eine hohe Stromstärke. Risse, die breiter als 0,1 mm sind, kann man nach dieser Methode nicht feststellen, weil der Lack beim Auftragen in solche Risse hineinfließt. Dadurch wird die Streifendicke an dieser Stelle vergrößert und

der Meßstreifen brennt eher am Ort eines kleineren Risses durch, weil die Lackschicht dort dünner ist. Die Empfindlichkeit dieses Untersuchungsverfahrens wurde durch Vergleich mit einem $\frac{1}{100}$ -mm-Maßstab unter dem Metallographen-Mikroskop bestimmt. Risse, deren Breite geringer als ein Mikron war, konnten infolge des beschränkten Auflösungsvermögens des

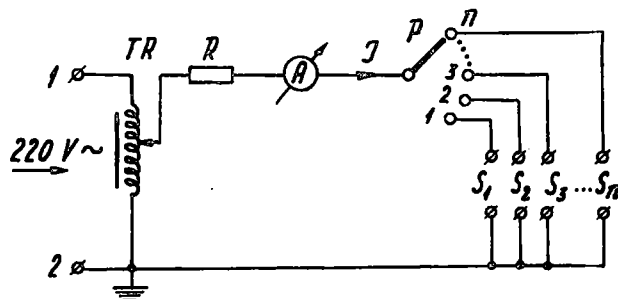


Bild 5

Das Schema einer Apparatur für die Bestimmung von Rissen bei statischer Belastung

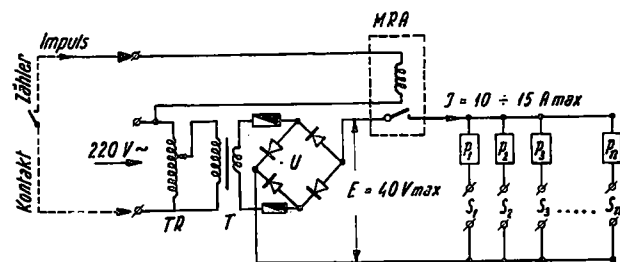


Bild 6

Das Schema einer Apparatur für die Ermittlung von Rissen bei dynamischer Belastung

Lichtmikroskopes nicht genau bestimmt werden. Einen größeren Mikroriß, dessen Breite auf $2\ \mu\text{m}$ bis $3\ \mu\text{m}$ abgeschätzt wurde, zeigt Bild 4.

Die Bestimmung der Risse, die bei wechselnder Belastung auftreten, verläuft ähnlich wie die Prüfung bei statischer Belastung. Der Unterschied besteht darin, daß die einzelnen Stromkreise automatisch synchronisiert mit einer bestimmten Frequenz (100, 1000 Hz u. dgl.) geschlossen werden. Den Augenblick der Bildung eines Risses kann man an den in den Stromkreis eingeschalteten Zählern ablesen. Der Funkenüberschlag kann mit der Hand durch Erhöhung des Stromes in dem entsprechenden Streifen verursacht werden.

Zusammenfassung

Die neue Methode zur Ermittlung von Rissen in Materialien, welche in dem Institut für theoretische und angewandte Mechanik der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften entwickelt wurden, benutzt einen in Form eines Streifchens auf die Ober-

fläche des zu prüfenden Materials aufgetragenen, leitfähigen Lack. Der benutzte Lack ist eine Wasserdispersion eines mit pulverisiertem Silber gefüllten Kunstharzes. Dieser Lack ist nicht spröde, besitzt aber eine gute Leitfähigkeit. Das Meßstreifen wird in einen Meßkreis eingeschaltet, der aus einer Stromquelle, einem Amperemeter und einem Umschalter besteht. Wenn im Material unter dem Streifen ein Riß entsteht, so steigt an dieser Stelle die Temperatur; der Lack brennt durch und der Stromkreis wird unterbrochen. Der Vorteil liegt darin, daß man mit einfachen Handgriffen den Riß auf dem Streifen sichtbar machen kann.

Mit dieser Methode kann man einerseits die durch Schrumpfen entstandenen Mikrorisse, die sich schon vor dem Auftragen des Lackes auf der Oberfläche befanden und andererseits die Risse, die nach dem Auftragen des Lackes unter dem Einfluß der Belastung des Elementes entstehen, feststellen. Mikrorisse von $\frac{1}{10}\ \mu\text{m}$ Breite können noch erkannt werden; durch Belastung hervorgerufene Risse lassen sich sicher feststellen, wenn sie breiter als $1\ \mu\text{m}$ sind.