

UNTERSUCHUNG GESCHWEISSTER SCHIENEN- VERBINDUNGEN MIT EINER ROLLASTPRÜFMASCHINE

Von

L. TÓTH

Lehrstuhl für Technologie der Maschinenindustrie, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 7. Juli 1970)

Vorgelegt von Prof. Dr. I. TURÁNYI

Durch die gestiegene Beanspruchung der Gleise werden an die Schienen und geschweißten Schienenverbindungen erhöhte Anforderungen gestellt. Die Sicherheit, die wirtschaftliche Lebensdauer der lückenlosen Gleise werden in entscheidendem Maße durch die Güte, die Verschleißfestigkeit, die mechanischen und Dauerfestigkeitseigenschaften der verschweißten Schienenverbindungen bestimmt.

Durch die gewachsenen Achsendrücke und Transportgeschwindigkeiten, durch die erhöhten Bruttotonnenkilometerleistungen werden vor allem in Bögen ein rascher Verschleiß, Ermüdungs- und Sprödbruch der Leit- und Laufflächen der Schienen verursacht.

Durch die große Beanspruchung wird die Lebensdauer der verschiedenartig geschweißten Schienenverbindungen und der Schienenstöße stark eingeschränkt. Die große Geschwindigkeit und der Achsendruck stellen eine außerordentlich hohe dynamische Belastung für die Schienenstöße dar, durch die die Deformation, das Verschlagen, das Scharflaufen der Schienenden, u. U. der Bruch der Verbindungen verursacht werden können. Durch den größeren Höhenverschleiß und die Deformation der einer Wärmewirkung ausgesetzten, weicheren Zonen in den geschweißten Schienenverbindungen wird die Auswölbung der Lauffläche herbeigeführt. Diese kann sich so stark austiefen, daß die Verbindung im weiteren Betrieb wie eine Laschenverbindung wirkt. Die Naht oder die spröderen Zonen des Wärmewirkungsbereiches können unter der erhöhten dynamischen Last leicht einen Spröd- oder Ermüdungsbruch erleiden.

Von der Ungarischen Staatsbahn (MÁV) wurde zur Verminderung des Schienenverschleißes das Anköpfen nach Induktionserhitzung der Schienen ausgearbeitet. Mit dem Einsatz der oberflächengehärteten Schienen von größerer Härte, besonders in Bögen wurden bei der MÁV gute Betriebserfahrungen gemacht.

Bei dem Bau von lückenlosen Gleisen mit oberflächengehärteten Schienen versucht die MÁV die Einführung der eine höhere Festigkeit der Verbindung gewährleistenden Abbrennstumpfschweißung mit harter Arbeitsweise, ferner der hochfeste Nähte ergebenden, aluminothermischen Schweißung.

Im Aufsatz werden die Dauer-Verschleißprüfungen unter Rollast der in verschiedenen Arbeitsweisen abbrennstumpfgeschweißten und mit Thermitdosen verschiedener Zusammensetzung hergestellten Verbindungen von nicht-wärmebehandelten, niedriggekohten Schienen und von oberflächengehärteten Schienen sowie die Prüfungsergebnisse behandelt.

1. Dauer-Verschleiß-Prüfmaschine zur Prüfung von Schienenverbindungen unter rollender Last und eine Methode zur Untersuchung von geschweißten Schienenverbindungen

Ermüdungsverschleiß von Schienen unter rollender Last durch eine beschleunigte Labor-Standfestigkeitsprüfung von Schienen-Prüfkörpern in technischem Maßstab, unter die Betriebsbeanspruchungen annähernden Modellierungsbedingungen.

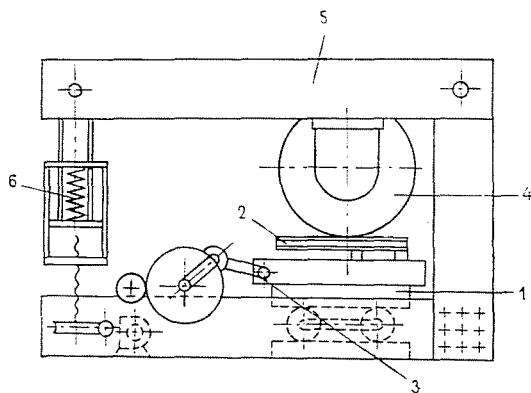


Abb. 1. Prinzipskizze der Rollast-Verschleißprüfmaschine

Dieses Verfahren wurde zum ersten Mal von MOOR und CRAMER für Schienenprüfungen verwendet [1].

Der grundsätzliche Aufbau und der Betrieb der Dauer-Verschleiß-Prüfmaschine zur Untersuchung von Schienenprüfkörpern unter rollender Last in technischem Maßstab, die am Lehrstuhl für Maschinenbautechnologie der Technischen Universität Budapest entworfen und ausgeführt wurde, sind in Abb. 1 dargestellt. Der auf dem Wagen (1) einseitig eingespannte Schienenprüfkörper (2) mit einer Abbrennstumpfschweißverbindung führt — durch die Kurbelwelle (3) angetrieben — unter dem Eisenbahnfahrzeugrad (4) eine Wechselbewegung aus. Das Fahrzeugrad wurde über den Träger (5), durch Anspannung von Feder (6) auf 25 Mp eingestellt. Die Hublänge des Kurbelantriebs, der Rollweg des Rades auf der Schiene, ist gleich 300 mm. Die Hubzahl pro Minute beträgt 64.

Das die Belastung übertragende Rad ist flanschlos, seine Lauffläche ist parallel zur Radachse. Als Radreifenwerkstoff diente Ab 80 (MSZ 2752). Die Härte der abgedrehten Lauffläche beträgt HB 175 . . . 185 kp/mm². Durchmesser: 850 mm.

Bei der Laboruntersuchung der Lebensdauer wurden folgende Schienenverbindungen geprüft:

I. — Abbrennstumpfschweißverbindung — mit einer Schweißmaschine Typ UMA-25 ausgeführt — nichtwärmebehandelter Schienen von Normalqualität;

— Abbrennstumpfschweißverbindung — mit einer Maschine Typ UMA-25 ausgeführt — oberflächengehärteter Schienen von Normalqualität;

— Abbrennstumpfschweißverbindung — mit einer Maschine mit harter Arbeitsweise ausgeführt — oberflächengehärteter Schienen von Normalqualität.

Die kennzeichnende Zusammensetzung der Schiene von Normalqualität mit niedrigem Kohlegehalt ist wie folgt:

$$\begin{array}{ll} \text{C} = 0,45 \dots 0,52\% & \text{Mn} = 0,7 \dots 1,0\% \\ \text{Si} = 0,15 \dots 0,35\% & \text{P}_{\text{max}} = 0,04\% \\ & \text{S}_{\text{max}} = 0,04\% \end{array}$$

Das Gefüge des nichtwärmebehandelten Schienenkopfes besteht aus feinkörnigem Perlit mit Ferritnetz (Abb. 2), seine auf der Lauffläche in der Symmetrieebene gemessene Härte beträgt HB 200 . . . 230 kp/mm². Das Gefüge der Schienenköpfe von oberflächengehärteten Schienen weist in einer Kruste von 12 . . . 14 mm Dicke eine vorwiegend troostitische Außenschicht (Abb. 3) auf, deren Härte in der Regel HB 320 . . . 360 kp/mm² beträgt.

Die einseitige Einspannung des Schienenprüfkörpers mit einer Abbrennstumpfschweißverbindung ist in Abb. 4 dargestellt. Die Lauffläche der Schweißverbindung wird infolge der Rollreibung durch das Fahrzeugrad abgenutzt, andererseits in der Umgebung der Schweißnaht auf Hin- und Herbiegung beansprucht. Durch das Biegemoment werden im Schienenkopf Zugspannungs-, im Schienenfuß Druckspannungspulsierung erzeugt.

In Tabelle 1 sind die Beanspruchungen der Schienenprüfkörper mit Abbrennstumpfschweißverbindungen zusammengefaßt. Die in einer harten Arbeitsweise geschweißte Schienenverbindung ist steifer, daher ist die Naht einer höheren Biegebeanspruchung ausgesetzt.

Aus den Ergebnissen der Dauer-Verschleißprüfung von auf diese Weise beanspruchten Schienenprüfkörpern von technischem Maßstab lassen sich Folgerungen auf die Betriebsbeständigkeit und Lebensdauer der Schienenverbindungen ziehen.

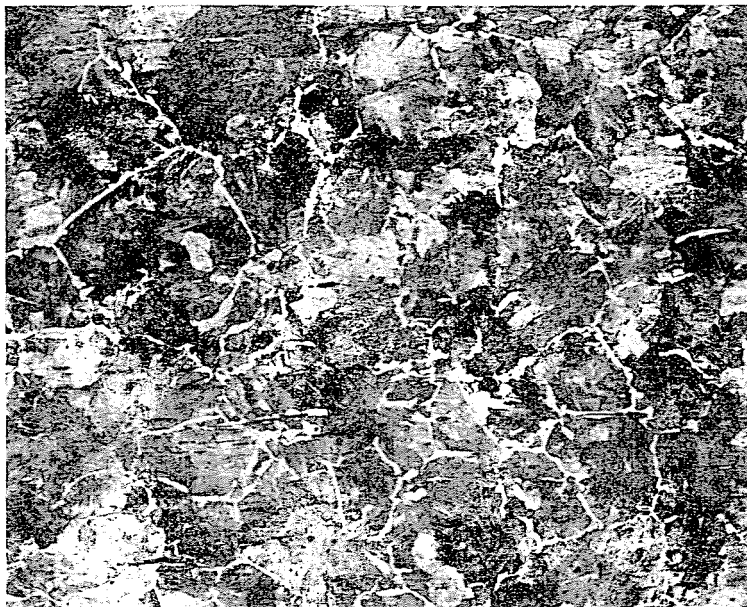


Abb. 2. Mikrostruktur des nichtwärmebehandelten Schienenkopfes 100 ×



Abb. 3. Mikrostruktur eines oberflächengehärteten Schienenkopfes in der Symmetrieebene.
2 mm unter der Lauffläche 100 ×

Tabelle I

Kennwerte der Belastung von nichtwärmebehandelten und oberflächengehärteten Schienen mit Abbrenn-Stumpfschweißverbindungen

| Kennwerte der Belastung | Mit einer Schweißmaschine Typ UMA-25 ausgeführte Verbindung | Mit einer Schweißmaschine Typ UMAK-50 ausgeführte Verbindung |
|--|---|--|
| Raddruck über der Abstützung Mp | 29 | 27 |
| Raddruck am antriebsseitigen Ende des Hubes Mp | 22 | 24 |
| Max. Zug- bzw. Druckspannungen im Schienenquerschnitt über der Abstützung kp/mm ² | 29,47 | 32,15 |
| Min. Zug- bzw. Druckspannungen im Schienenquerschnitt über der Abstützung kp/mm ² | 1,10 | 1,16 |
| Berührungsspannung in der Nahtumgebung nach 100 Lastwechseln kp/mm ² | 68,5 | 70 |
| Berührungsspannung in der Nahtumgebung nach 1 000 000 Lastwechseln kp/mm ² | 60,5 | 65,4 |

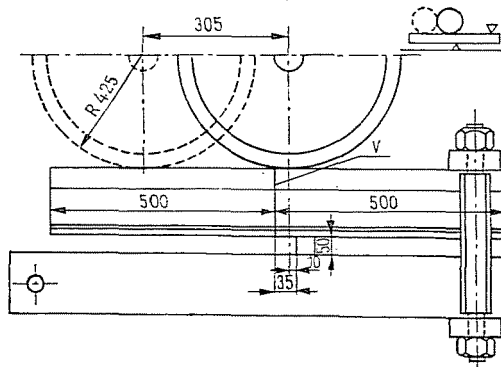


Abb. 4. Einseitig eingespannter Schienenprüfkörper v-Schweißverbindung

Die Prüfung von Verbindungen in technischem Maßstab hat den großen Vorteil, daß sich die Abnutzung und ihr Mechanismus nicht nur im allgemeinen verfolgen lassen, sondern auch die Veränderungen der Form und Abmessungen der Schiene, die raschere, lokale Abnutzung der im Makromaßstab heterogenen Schienenverbindung und ihre Deformation nachgewiesen werden können. Die Ergebnisse der Modellprüfung geben nicht nur über das Material der Schienenverbindung, sondern auch über die gesamte Verbindung, über die Wärmewirkungszone als Gleiselement mit heterogenem Gefüge und heterogenen mechanischen Eigenschaften Aufschluß.

Die Verschleißfestigkeit, die Auswölbung der Schweißverbindung werden aus der Geschwindigkeit des Laufflächenverschleißes durch Rollreibung, als des »führenden Verschleißes«, bestimmt. Der Verschleiß, die plastische Formänderung, die Zerwalkung der Verbindung werden vor allem durch den Raddruck beeinflusst. Beim Versuch wurden die Höhenabnutzung der Schienenverbindung und ihrer Umgebung sowie deren plastische Formänderung, als die für die Betriebsbeständigkeit der Schiene kennzeichnenden Kennwerte, in der Symmetrieebene durch Messung der Einsekung der Lauffläche bestimmt.

Unter der Wirkung der Spannungspulsation bricht die Schweißverbindung nach einer gewissen Zahl von Beanspruchungen. Die Betriebsbeständigkeit der Verbindung wird durch die Art des Bruches, durch die Lastspielzahl bis zum Bruch gekennzeichnet. Somit läßt sich durch die Rollast-Dauerprüfung der Querschnitt ermitteln, der den Dauerbeanspruchungen gegenüber in der Schweißzone am wenigsten widerstandsfähig ist.

Durch unsere Untersuchungen soll nicht die Dauerfestigkeit der Verbindung ermittelt, sondern lediglich ein Vergleichswert zur Ergänzung der Betriebsbeständigkeit geprüft werden.

2. Untersuchungsergebnisse und Auswertung

Abbrennstumpfgeschweißte Schienenverbindung

Die durch Abbrenn-Stumpfschweißung hergestellten Verbindungen von oberflächengehärteten Schienen haben eine größere Beständigkeit als die der nichtwärmebehandelten Schienen, wie es aus den Angaben der Tabelle 2 folgt.

Die mit einer Maschine Typ UMA-25 hergestellten Verbindungen von nichtwärmebehandelten Schienen haben eine größere Härte als der Grundstoff. Die charakteristische Härteverteilung in der Verbindung ist in Abb. 5 dar-

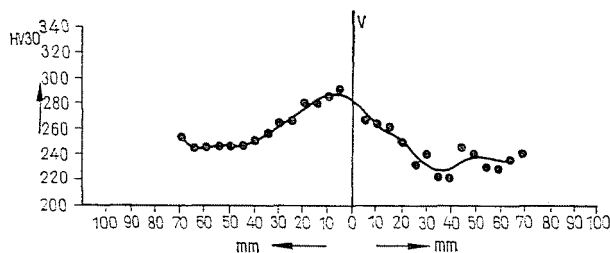


Abb. 5. Härteverteilung in der mit einer Maschine Typ UMA-25 ausgeführten Abbrenn-Stumpfschweißverbindung der nichtwärmebehandelten Schienen v-Schweißung-Weißlinie

gestellt. Trotz der größeren Härte der Verbindung erfolgte der Ermüdungsbruch die weiße Linie mit Widmanstädtenschem Gefüge entlang (Abb. 6), obwohl nicht die weiße Linie durch die größte Zugspannungspulsation belastet

Tabelle 2

Rollast-Verschleiß-Prüfungsergebnisse in unterschiedlicher Weise abbrennstumpfgeschweißter Verbindungen nichtwärmebehandelter und oberflächengehärteter Schienen

| Lfd. Nummer | Die Schiene | Typ der Schweißmaschine | HV _{0,2} - Härte kp/mm ² | | Lastwechsel bis zum Bruch | Auswölbung mm | Bemerkung |
|-------------|---------------------|-------------------------|--|------------------------|---------------------------|---------------|--|
| | | | Durchschnitt | Wärmewirkungszone min. | | | |
| 1 | Unbehandelt | UMA 25 | 240 | 270 | 1 041 208 | 0,3 | Ermüdungsbruch die weiße Linie der Schweißnaht entlang |
| 2 | Unbehandelt | UMA 25 | 240 | 230 | 766 068 | 0,27 | |
| 3 | Unbehandelt | UMA 25 | 250 | 245 | 466 152 | 0,46 | |
| 4 | Oberflächengehärtet | UMA 25 | 360 | 220 | 1 253 880 | 0,45 | Ermüdungsbruch 32 mm weit von der weißen Linie der Schweißnaht |
| 5 | Oberflächengehärtet | UMA 25 | 345 | 225 | 1 223 284 | 0,42 | Bruch im Schienenkopf wegen Schlacke |
| 6 | Oberflächengehärtet | UMA 25 | 350 | 185 | 940 098 | 0,45 | Ermüdungsbruch 40 mm weit von der weißen Linie der Schweißnaht |
| 7 | Oberflächengehärtet | UMAK 50 | 398 | 240 | 6 007 352 | 0,12 | Kein Ermüdungsbruch |
| 8 | Oberflächengehärtet | UMAK 50 | 415 | 230 | 6 069 368 | 0,19 | Kein Ermüdungsbruch |
| 9 | Oberflächengehärtet | UMAK 50 | 370 | 225 | 2 393 650 | 0,20 | Bruch die weiße Linie der Schweißnaht entlang |

war, wie das aus Abb. 4 zu erkennen ist. Der Bruch ist in Abb. 7 gezeigt. Die Ermüdungslebensdauer der Verbindungen ist verhältnismäßig kurz und es erfolgt dabei auch ein bedeutender Verschleiß. Gemäß Abb. 8 ist die Auswölbung der Wärmewirkungszone im Vergleich zur nichtwärmebehandelten Lauffläche unwesentlich.

Die mit einer Maschine Typ UMA-25 geschweißten Verbindungen der oberflächengehärteten Schienen weisen hingegen in der weichen Übergangszone eine bedeutende Auswölbung auf. Vermutlich ist es gerade diesem Umstand zuzuschreiben, daß die Übergangszone den hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit schwächsten Querschnitt darstellt. Die Härteverteilung in der Nahtumgebung ist in Abb. 9 dargestellt, während Abb. 10 den Verschleiß zeigt. Selbstverständlich weist außerhalb der Wärmewirkungszone die harte, oberflächengehärtete Schiene nach der Lastwechselzahl von 940 098 eine Abnutzung von kaum einigen Hundertstel Millimetern auf.

Die Messungen zeigen, daß die Verschleißfestigkeit der Übergangszone annähernd gleich oder nur wenig niedriger als die Verschleißfestigkeit der Lauffläche der nichtwärmebehandelten Schiene ist. Es läßt sich jedoch anneh-



Abb. 6. Mikrostruktur der Verschweißungs-Weißlinie 100 ×

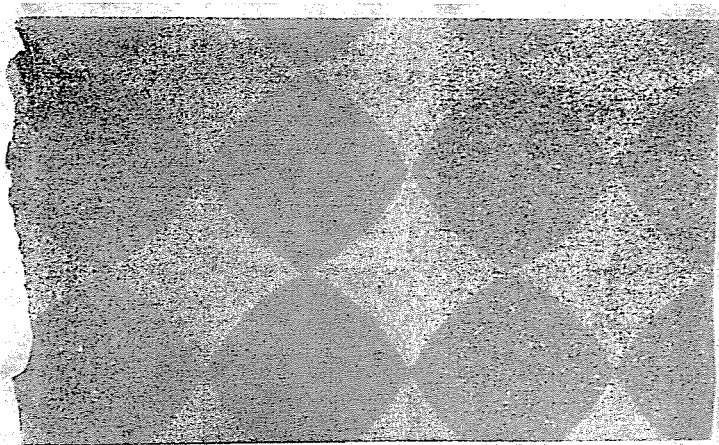


Abb. 7. Ermüdungsbruch die weiße Linie entlang

men, daß mit wachsender Lastspielzahl, gerade wegen der zunehmenden dynamischen Wirkung, die Auswölbung in dieser weichen Zone bei den späteren Beanspruchungen rasch zunehmen wird. Bei den untersuchten Impulszahlen war es — da die Lastspielzahlen durch die Ermüdungskennwerte der weichsten, feinkörnigen Zone der Übergangszone bestimmt wurden — nicht möglich, größere Auswölbungen zu beobachten. Die Mikrostruktur der Feinkornzone

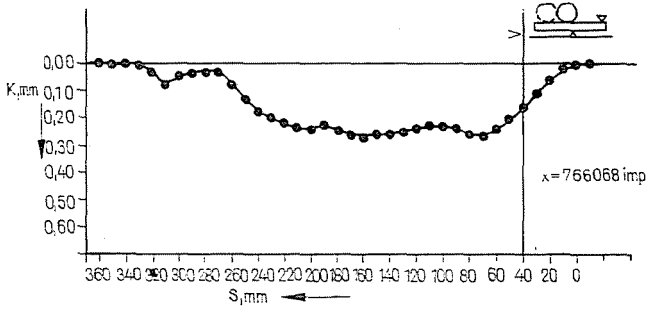


Abb. 8. Auswölbung der mit einer Maschine Typ UMA-25 ausgeführten Schweißverbindung von nichtwärmebehandelten Schienen: v-Schweißung-Weißlinie. S-Verschleißweg

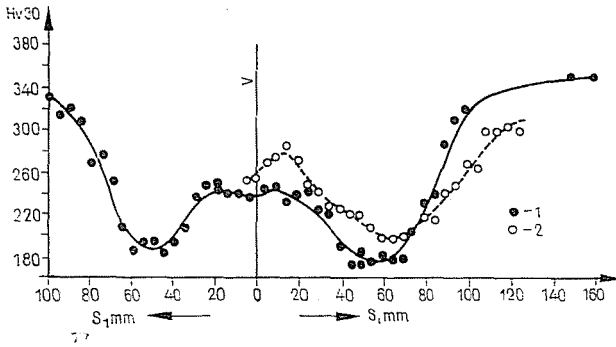


Abb. 9. Härteverteilung in der mit einer Maschine Typ UMA-25 hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen; v-Schweißung-Weißlinie. S-Verschleißweg

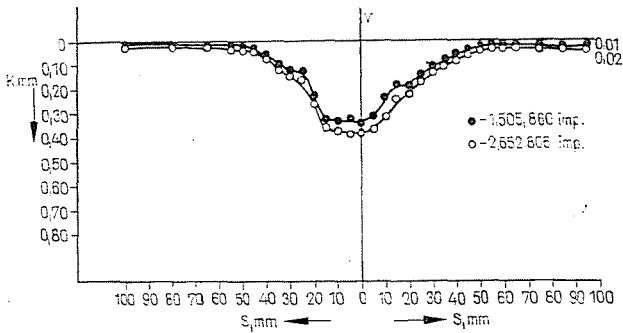


Abb. 10. Auswölbung der mit einer Maschine Typ UMA-25 hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen: v-Schweißung-Weißlinie. K-Verschleiß

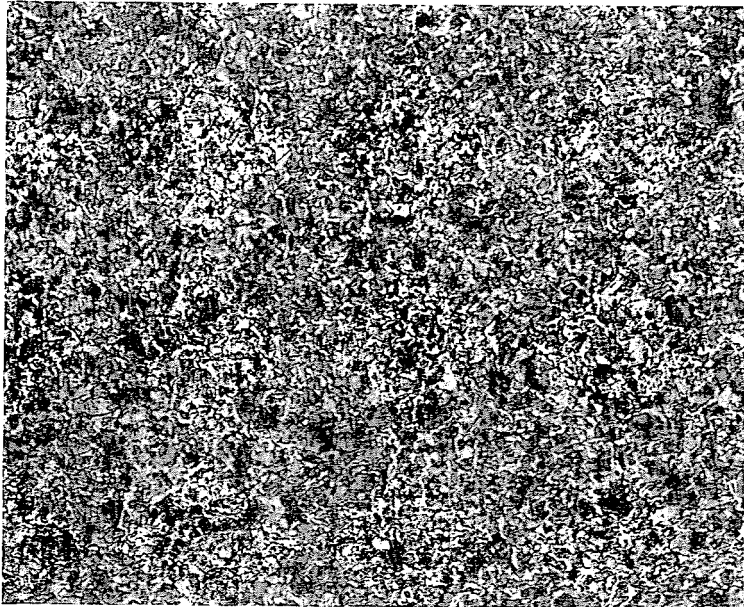


Abb. 11. Mikrostruktur der Wärmewirkungszone der mit einer Maschine Typ UMA-25 hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen $100\times$

ist in Abb. 11 dargestellt. Unter den Prüfbedingungen erfolgte der Ermüdungsbruch kennzeichnenderweise in dieser Zone.

Die Impulszahlen bis zum Bruch zeigen, daß die Ermüdungsfestigkeit der Verbindungen von oberflächengehärteten Schienen etwas höher ist.

Aus den Versuchsergebnissen ist auch zu erkennen, daß je schmaler die Wärmewirkungszone bzw. je härter die Arbeitsweise der Schweißtechnologie, um so geringer die Auswölbung ist und um so bessere Ermüdungskennwerte in der Übergangzone erhalten werden. Diese Feststellung folgt eindeutig aus den Daten der Tafel 2 und aus den Makroschliffen in Längsrichtung der Schweißverbindungen in den Prüfkörpern 4 und 6 (Abb. 12 und 13).

Aus den Prüfergebnissen geht weiterhin hervor, daß die Schweißtechnologie der UMA-25 zur Herstellung von Schweißverbindungen der oberflächengehärteten Schienen nicht vollkommen geeignet ist. Die weiche Naht und die weiche und breite Übergangszone stellen sowohl aus der Sicht der Verschleißfestigkeit als auch aus jener der Ermüdungsfestigkeit das schwächste Element des Gleises dar.

Für oberflächengehärtete Schienen ergibt die eine Stauchkraft von etwa 45 Mp erzeugende Schweißmaschine mit harter Arbeitsweise eine bedeutend bessere Verschleißfestigkeit und eine ausgezeichnete Ermüdungsfestigkeit. Die Wärmewirkungszone der Verbindung ist hart und feinkörnig (Abb. 14). Der

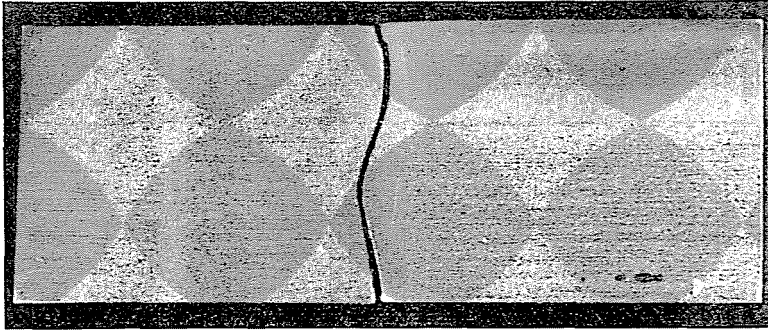


Abb. 12. Makroschliff der mit einer Maschine Typ UMA-25 hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen, 1× (Prüfkörper Nr 4)

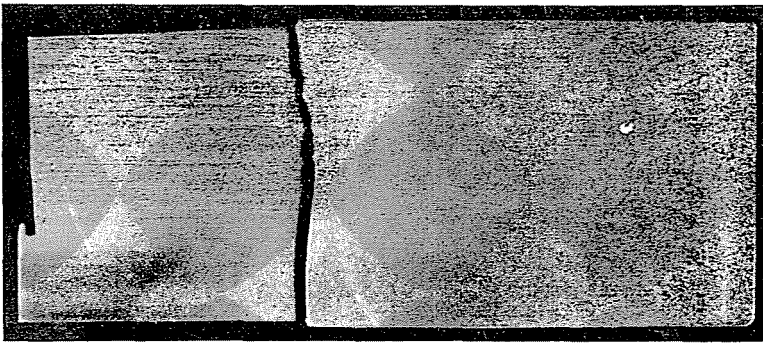


Abb. 13. Makroschliff der mit einer Maschine Typ UMA-25 hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen, 1×

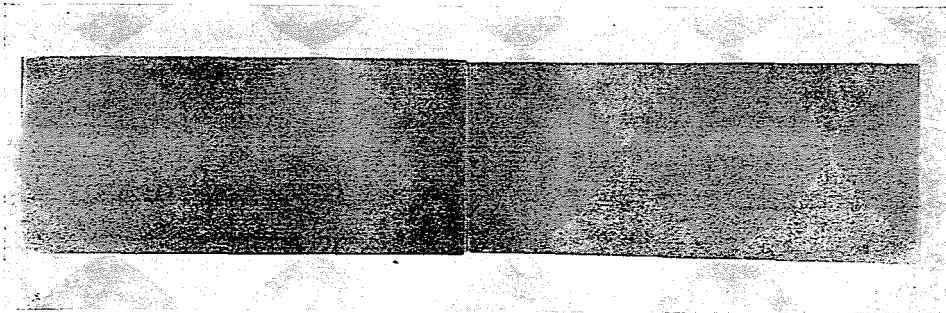


Abb. 14. Makroschliff der mit einer Maschine mit harter Arbeitsweise hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen, 1× (Prüfkörper Nr 7)

Verschleiß der Schiene mit vergüteter Oberfläche von einer verhältnismäßig großen Härte von $HV_{30} = 398 \text{ kp/mm}^2$ beträgt kaum einige Hundertstel Millimeter. Die Auswölbung der Naht und der Wärmebehandlungszone erreicht trotz der hohen Zahl der Beanspruchungen kaum 0,15 mm, wie das aus Abb. 15

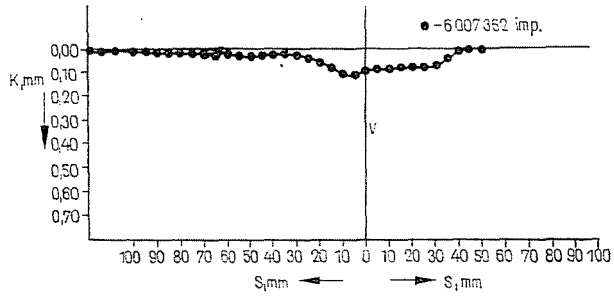


Abb. 15. Auswölbung der mit einer Maschine mit harter Arbeitsweise hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen. v-Schweißung-Weißlinie, K-Verschleiß, S-Verschleißweg

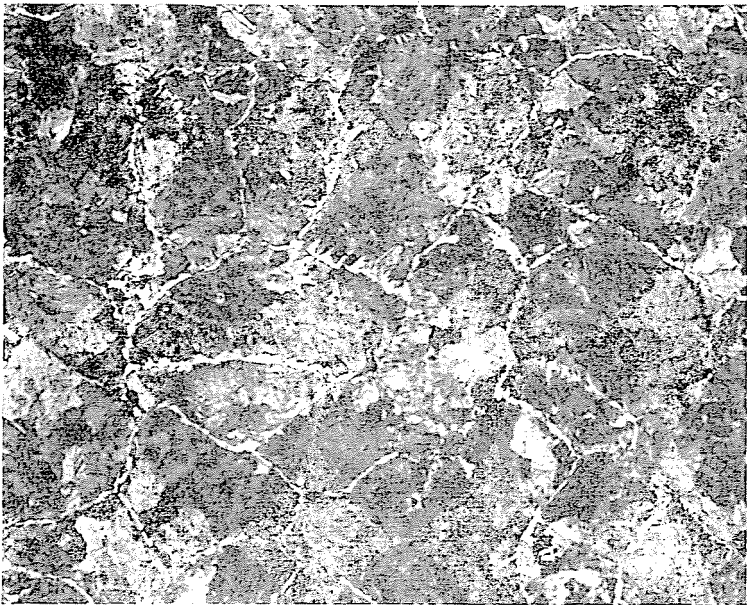


Abb. 16. Mit einer Maschine mit harter Arbeitsweise hergestellte Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen. Mikrostruktur der weißen Linie 100 \times

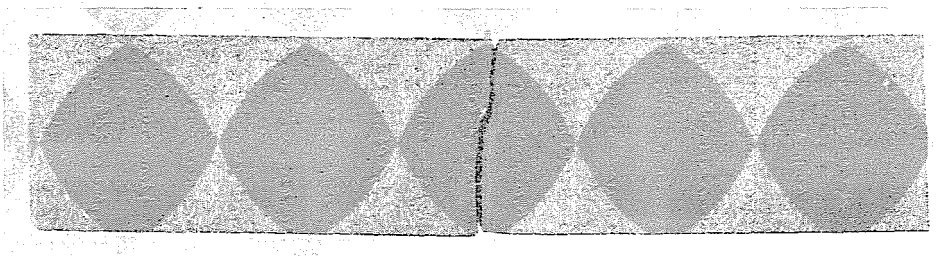


Abb. 17. Makroschliff der mit einer Maschine mit harter Arbeitsweise hergestellten Schweißverbindung von oberflächengehärteten Schienen 1 \times (Prüfkörper Nr 9)

zu erkennen ist, obwohl die schmale Wärmewirkungszone und die Härte der weißen Linie im großen und ganzen mit der der Schweißnaht der UMA-25 übereinstimmen. Die hervorragende Ermüdungsfestigkeit der Verbindung ist mutmaßlich eine Folge der harten Wärmewirkungszone und der ganz schmalen weißen Linie. Übrigens enthält die Mikrostruktur der weißen Linie — wie das aus Abb. 16 ersichtlich ist — viel weniger Ferrit, und ihr Gefüge ist weniger widmannstädtenscher Natur.

Auch bei im wesentlichen gleichen Härten führt die Ausbreitung der Wärmewirkungszone eindeutig zur Verschlechterung der Ermüdungskennwerte und zu einem stärkeren Verschleiß in der Wärmewirkungszone. Diese Feststellung wird durch die Angaben der Prüfkörper 7 und 9 und durch die Längsschnitte der Schweißverbindungen bekräftigt (Abb. 17).

3. Schlußfolgerungen

Aus Ergebnissen der Rollast-Verschleißprüfungen von Schweißverbindungen lassen sich folgende Folgerungen ziehen:

1. Für Schweißverbindungen von nichtwärmebehandelten Schienen sind die Abbrenn-Stumpfschweißung mit einer Schweißmaschine Typ UMA-25 und die Thermiterschweißung normaler Festigkeit geeignet.

2. Zur Herstellung von Schweißverbindungen in oberflächengehärteten Schienen ist die Abbrennstumpfschweißmaschine mit harter Arbeitsweise, die auch eine große Stauchkraft entwickelt, vorzugsweise geeignet. Die mit dieser Maschine hergestellte Naht und ihre Umgebung weisen einen geringen Verschleiß auf, gleichzeitig ist auch die Ermüdungsfestigkeit der Verbindung hervorragend.

Zusammenfassung

Unter den Bedingungen des zeitgemäßen Eisenbahntransports ist die Lebensdauer der geschweißten Schienenverbindungen sehr wichtig.

Die Abhandlung beschäftigt sich mit Fragen der Lebensdauerprüfung abbrennstumpfgeschweißter Schienenverbindungen von ungehärteten und nach induktiver Erwärmung oberflächengehärteten Schienen. Es wird über Dauerverschleißprüfungen mit einer Rollastprüfmaschine der geschweißten Schienenverbindungen und über deren Ergebnisse berichtet.

Für die Ausführung der Schweißverbindungen an gehärteten Schienen mit einer Oberflächenhärte von $HV_{30} = 330 \dots 400 \text{ kp/mm}^2$ ist das Abbrennstumpfschweißen mit einer harten Arbeitsweise am entsprechendsten. Verschleiß und Auswölbung sind niedrig, die Ermüdungsfestigkeit ist hoch.

Literatur

CRAMER, R. E.—JENSEN, R. S.: Progress report of investigation of railroad rails. Bulletin of Illinois University, Eng. Exp. Station, Reprint Series No. 16, 22, 39, 46, 61.

Dr. Lajos TÓTH, Budapest IX., Kinizsi u. 1—7, Ungarn