

340 Dobain HSH – Schienenwerkstoff gegen Head Checks

Über die Entwicklung und den Einsatz einer neuen Schienengüte für mehr Sicherheit im Betrieb und geringerer Instandhaltung

JULIAN WIEDORN | CHRISTOPH KAMMERHOFER | STEPHAN SCHERIAU

Die Anforderungen an Schienen, vor allem im Mischverkehr (Personen- und Gütertransport) sind einzigartig. Verschiedene Arten von Fahrzeugkonstruktionen, Achslasten und Zuggeschwindigkeiten und eine hohe Zugfrequenz verursachen eine Vielzahl von Lastsituationen. Aktuelle Entwicklungen in der Eisenbahnindustrie – Erhöhung der Transportkapazität, enge Fahrpläne – und vor allem die unveränderte Forderung nach mehr Wirtschaftlichkeit und Sicherheit sind zudem Treiber für neue Bahntechnologien. Herkömmliche Schienenstähle kommen hier an ihre Grenzen und umfangreiche Instandhaltungsmaßnahmen müssen die Sicherheit und Verfügbarkeit der Strecke gewährleisten. Weiter- bzw. Neuentwicklungen von Schienenwerkstoffen bieten die Möglichkeit, diesen Problemen entgegenzuwirken.

Belastung der Schiene und ihre Reaktion

Schienen haben die Aufgabe, das Fahrzeug zu tragen und zu führen, und unterliegen im Betrieb einer komplexen Belastung, verursacht durch die Kraftübertragung der Räder, die notwendig ist, um die mechanische Fortbewegung zu gewährleisten. Schienenwerkstoffe reagieren dabei auf die zyklische Beanspruchung in der Berührungszone zwischen Rad und Schiene mit sicherheitsrelevanter Materialermüdung. Dabei kommt es vor allem in Bögen, neben anderen Effekten wie Verschleiß oder Schlupfwellen, zur Rollkontaktermüdung (Rolling Contact Fatigue, RCF) [1].

Die auftretenden Risse, sogenannte Head Checks (Abb. 1), werden dabei durch zyklische Schienenbearbeitung im Gleis entfernt. Dies geschieht durch den Einsatz von Schleif- oder Fräsmaschinen, bevor Risse ein sicherheitskritisches Niveau erreichen.

Die in den letzten Jahren rasant ansteigenden Kapazitäten unterschiedlicher Schienenbearbeitungsmethoden spiegeln dabei den erhöhten Instandhaltungsbedarf der Schiene wider, der vor allem durch die Zunahme von Verkehr als auch durch Weiterentwicklungen auf Fahrzeugseite (Traktionsverhalten) getrieben wurde [2].

Um dem Trend der steigenden Anforderungen und Kosten entgegenzuwirken, werden in stark belasteten Bereichen des Eisenbahnnetzes wärmebehandelte, perlitische Schienen verwendet (R350HT, R400HT). Ihre erhöhte Resistenz gegen Verformung ermöglicht es, die Bildung typischer Schienenschäden wie Head Checks (aber auch Schlupfwellen und Verschleiß) hinauszuzögern. Für viele Beanspruchungsarten ist dies ein guter Weg, um die Lebenszykluskosten von Schienen zu minimieren [3]. Internationale Forschungsprojekte [4] sowie Einsätze im Gleis – auch in anderen Bereichen des Eisenbahnwesens (Nahverkehr, Schwerlast) – bestätigen den erzielbaren Vorteil durch den Einsatz dieser Schienengüten [5, 6].

Ein anderer Weg, um das Gesamtsystem Fahrweg zu entlasten und Engpässen in Bezug auf Verfügbarkeit vorzubeugen, ist eine werkstoffseitige Vermeidung von Head Checks. Der richtige Einsatz in hoch beanspruchten Bereichen des Schienennetzes reduziert dabei anfallende Instandhaltungsmaßnahmen und führt letztendlich zur Senkung von Aufwand und Kosten.

Der erste Schritt hier ist die Erforschung alternativer Mikrostrukturen (andere Phasen-

gebiete) des Stahls – weg von der Struktur klassischer Schienenstähle (Perlit). Dabei werden ihre Eigenschaften über Versuchslegierungen und Tests im Labor und Gleis erprobt.

Head Checks – eine Eigenschaft perlitischer Schienengüten

Die bisherige Schienenwerkstoffentwicklung war im Wesentlichen geprägt von der Beibehaltung der perlitischen Mikrostruktur und der Erhöhung des Widerstandes gegen Schienenschädigungen durch Adaptierungen. Im Fall von Head Checks zögert dies zwar die Bildung hinaus, verhindert diese aber nicht.

Abb. 2 skizziert den verantwortlichen Mechanismus der Head-Check-Initiierung auf Mikrostrukturebene.

Durch die Belastung der überrollenden Räder kommt es im Werkstoff zu einer massiven Verformung in der oberflächennahen Zone (Abb. 2, l. o.). Dies hat eine Änderung der Materialeigenschaften zur Folge: Eine ausgeprägte Materialanisotropie und stark veränderte mechanische Kennwerte machen den Werkstoff anfällig für Risse [7]. Durch die Belastung verformt sich das Material weiter in

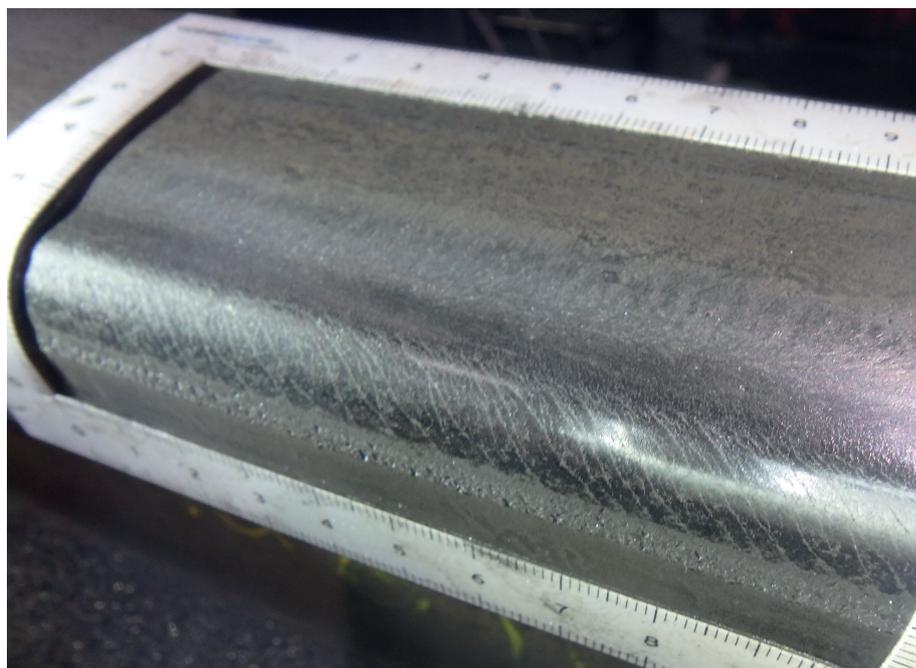


Abb. 1: Head Checks an der Fahrkante der Schiene

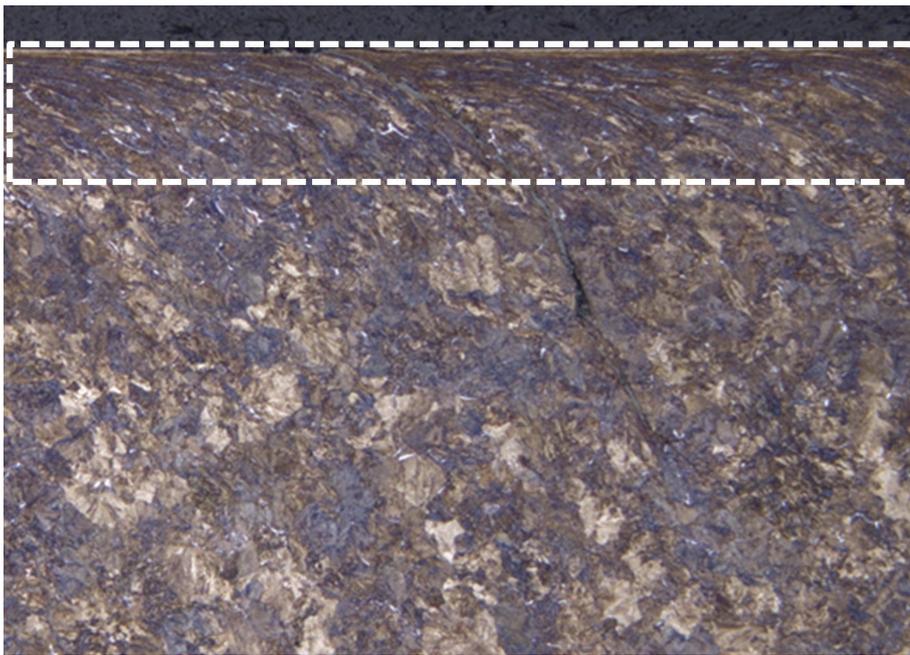


Abb. 2: Entstehung von Head Checks

die Tiefe. Bei Erreichung eines Grenzzustandes der Verformung kommt es zur Bildung von Delaminationen (Risskeimen) (Abb. 2, r. o.). Die zyklische Belastung im Rad/Schiene-Kontakt begünstigt das Wachstum vom Mikroriss zum Makroriss (Abb. 2, r. u.).

Die Veränderungen bzw. Adaptierungen der perlitischen Mikrostruktur greifen in den maßgeblich verantwortlichen Prozess ein: die Verformung im Bereich des Rad/Schiene-Kontakts. Diese wird durch mechanische Kennwerte wie Festigkeit und Zähigkeit

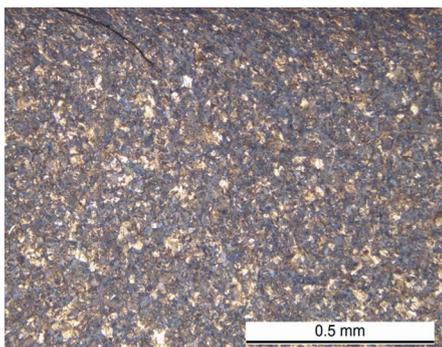
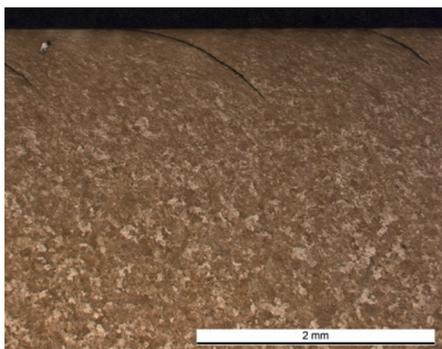


Abb. 3: Verformung und Head Checks für die Schienengüten R260 (o.) und R350HT (u.)

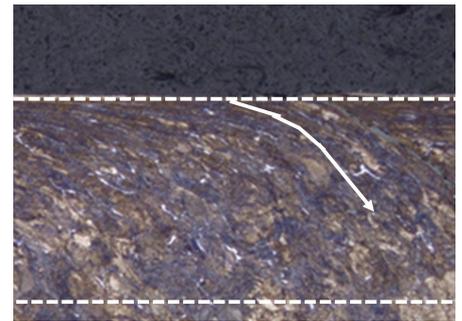
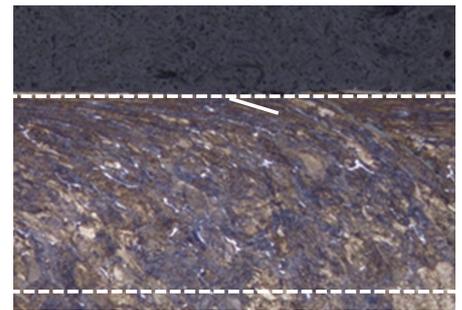
gesteuert. Neben anderen Effekten (bspw. Crack Shielding) ermöglicht die (plastische) Verformung die Entstehung und das Wachstum von Head Checks.

Abb. 3 zeigt Head Checks in unterschiedlichen Schienengüten. Dabei sind in der Schiene der Güte R260 tiefere Risse als in jener der Güte R350HT sichtbar. Grund dafür ist die größere Verformung (in die Tiefe) im Schienenwerkstoff bei der Güte R260 – maßgeblich bedingt durch die geringere Festigkeit. Das veränderte Material ermöglicht die Entwicklung deutlich längerer Risse. Da Risslängen messtechnisch als Grundlage für Instandhaltungsaufgaben herangezogen werden, bedeutet dies die Notwendigkeit einer früheren Instandhaltung.

Von perlitischen zu bainitischen Stählen

Die Mikrostruktur bestimmt also die Reaktion des Materials auf ihre Belastungen: Im obigen Fall bestimmt sie die Verformung des Materials (und dadurch die Initiierung von Head Checks). Wichtige Einflussfaktoren dafür sind die Ausprägung der lamellaren Strukturen (Lamellenabstände) [8] und die chemische Zusammensetzung (Kohlenstoffgehalt bzw. Legierungselemente) [9]. Eine gezielte Wärmebehandlung stellt dann im Herstellprozess die erforderliche Mikrostruktur ein.

Daraus ergeben sich Abhängigkeiten bzw. Wechselwirkungen aus Mikrostruktur, Chemie, Herstellprozess und mechanischen Kennwerten. Deren Kombination bildet die Grundlage für die Entwicklung eines Schienenstahls und die Zutaten, um das Problem Head Check bereits auf Materialebene zu verhindern.



Besonders interessant sind dabei Stähle mit bainitischer Mikrostruktur mit z.B. nadel-förmiger Gefügeausprägung, die deutlich feiner ist als jene einer hochfesten, perlitischen Mikrostruktur (R350HT, R400HT) [10]. Diese Änderung erlaubt es, hohe Festigkeiten mit hohen Zähigkeiten zu kombinieren. Zusätzlich ermöglichen bainitische Stähle die Einstellung einer Vielzahl unterschiedlicher Morphologien bzw. Phasen (mehrere Phasen – Multiphasenstahl). Dadurch können neue mikromechanische Eigenschaften ausgenutzt werden, die sich direkt auf die Head-Check-Entstehung auswirken. Das Entwicklungsziel des von der voestalpine entwickelten 340 Dobain HSH war es, eine Mikrostruktur zu finden, die die Verformung in der Oberfläche auf ein Minimum reduziert und somit keinen Raum für die Bildung von Head Checks bietet.

Entwicklung der 340 Dobain HSH

Neben der Resistenz gegen Head Checks müssen auch weitere Eigenschaften erfüllt sein, die einen sinnvollen Einsatz der Schienengüte im Gleis ermöglichen. Darunter fallen neben der Bearbeitbarkeit der Schienen und der Prüfbarkeit vor allem die Schweißbarkeit, das Verschleißverhalten und über allem die (Inter-)Operabilität der Schiene. Während Operabilität vor allem das Handling der Schiene adressiert, versteht man unter Interoperabilität die Einhaltung der von der Europäischen Kommission definierten technischen Spezifikationen (TSI). Für Infrastruktur und Schiene behandelt dies bspw. Themen wie Schienenkopfprofil bzw. Schienenstahl.

Bezüglich Verschleiß ist es das Ziel, eine Resistenz zu entwickeln, die zwischen einer

R350HT bzw. einer R260 Schienengüte liegt. Hier geht es um das Erreichen ähnlicher Liegedauern in der Geraden und im Bogen, um vorzeitige Neulagen zu vermeiden und so Kosten zu sparen. Der Einsatz der 340 Dobain HSH zielt auf Bögen ab, die zu RCF neigen und ab Radien oberhalb von ca. 700 m zu finden sind und wo der Schienenverschleiß eine nur noch untergeordnete Rolle spielt.

Bei der Schweißtechnik geht es darum, die Schiene unter gleisüblichen Bedingungen problemlos mit herkömmlichen Methoden – Aluminothermisches (AT) Schweißen und Abbrennstumpfschweißen (AB) – zu verbinden. Vor allem der beherrschbare Einfluss des Schweißverfahrens (Wärme) auf das Schienenmaterial und die Erhaltung der beschriebenen Eigenschaften (Resistenz gegen Head Checks) muss gegeben sein. Dabei werden herkömmliche Schweißverfahren erprobt bzw. Programme (für AB-Schweißmaschinen) entwickelt.

Eigenschaften der 340 Dobain HSH

Durch die richtige Wahl der Chemie bzw. Prozessparameter konnte durch Anwendung

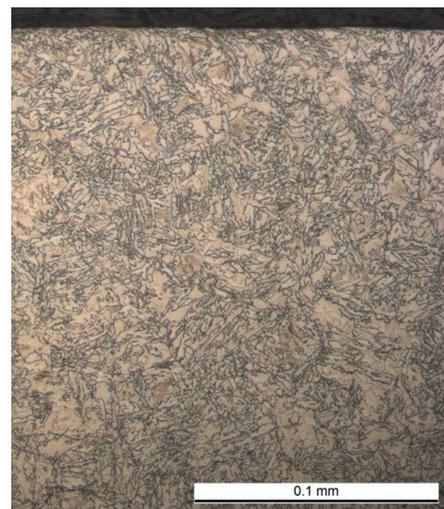


Abb. 4: Mikrostruktur einer perlitischen Schienengüte (l.) und der 340 Dobain HSH-Güte (r.) nach Überrollungen am Rad/Schiene-Prüfstand

der HSH-Technologie (Wärmebehandlung) eine Legierung und daher ein Schienenmaterial gefunden werden, das den oben beschriebenen Eigenschaften entspricht und dabei die Initiierung von Head Checks ver-

hindert – die 340 Dobain HSH. Diese unterdrückte Initiierung wurde durch eine Minimierung der Verformung an der Oberfläche erreicht. Der daraus entstandene Effekt wird Microstructure-Related Polishing

Materials Services | Materials Germany

360° Betrachtung von Stahlfahrbahnen

Für den Schienenweg auf Stahlfahrbahnen haben wir als Alternative zum Unterguss den Präzisionsstahlhocker PSH entwickelt. Dieser ermöglicht mit unserem elastischen Schienenlagerungssystem ECF eine Justierung in vertikaler und horizontaler Richtung.

www.thyssenkrupp-schulte-oberbau.de



engineering.tomorrow.together.



thyssenkrupp

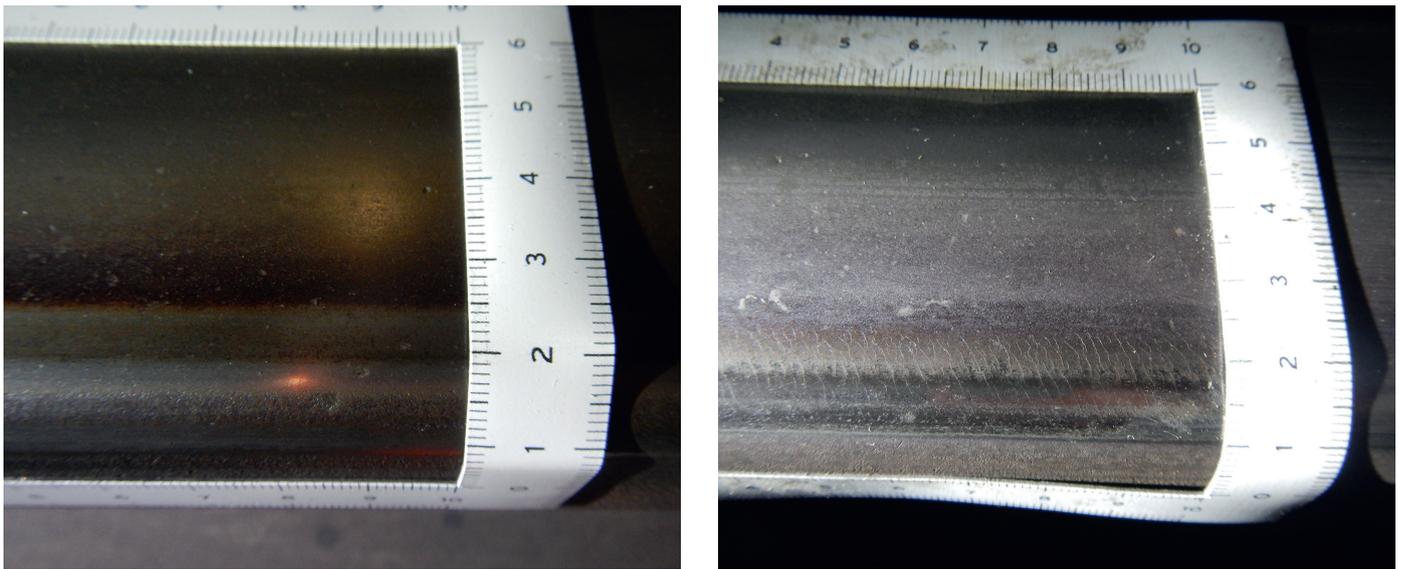


Abb. 5: Oberflächenbild von Schienen der Güte 340 Dobain HSH (l.), Head-Check-frei, und Schienen der Güte R350HT (r.) mit sichtbaren Head Checks – Belastung jeweils über 250 MGT
Quelle aller Abb.: eigene Darstellung

(MRP) genannt. Durch das Zusammenspiel der einzelnen Phasen in der bainitischen Mikrostruktur schafft es das MRP, bleibende Verformungen in oberflächennahen Bereichen so gering wie möglich zu halten und die Bildung von Head Checks unterstützend durch den natürlichen Verschleiß (Polishing) zu verhindern.

Durch die fehlende Verformung an der Oberfläche wird die Bildung eines Scherverformungszustandes wie bei perlitischen Schienen verhindert. Dadurch kommt es zu nahezu keiner Veränderung der Mikrostruktur, was eine Delamination des Materials und somit die Bildung eines Risskeimes unterdrückt. Der natürliche Verschleiß unterstützt diesen Prozess: Er hilft die Verformung auf einem Minimum zu halten und zu „erneuern“ – das Material an der Oberfläche wird sprichwörtlich dabei poliert.

Abb. 4 zeigt eine geschädigte, perlitische Mikrostruktur und die ungeschädigte Mikrostruktur einer 340-Dobain-HSH-Schiene nach derselben Anzahl an Überrollungen durch Eisenbahnräder.

Dabei ist eine Verscherung in der perlitischen Schiene deutlich erkennbar (Abb. 4, l.): Aufgrund der Belastung richtet sich das Gefüge zur Oberfläche hin – gemäß einem Gradienten – zu Beginn schräg bis parallel gegen Ende aus. In der Tiefe ist die ursprüngliche, nicht verschernte Mikrostruktur erkennbar. Zusätzlich sind bei der perlitischen Schienengüte erste Anrisse (Head Checks) ersichtlich.

Im Gegensatz zur perlitischen Schiene ist die 340 Dobain HSH Schiene rissfrei (Abb. 4, r.). Zur Oberfläche hin ist kein Gradient der Verformung erkennbar. Erst bei noch höheren Auflösungen bzw. anderen Methoden zur Beurteilung der Mikrostruktur können kleine Verformungen erkannt werden.

Die Abwesenheit einer großflächig-verscher-

ten Mikrostruktur verhindert die Initiierung eines Head Checks (Abb. 4, l.). Die Versuche wurden mehrmals und in unterschiedlichen Belastungsvarianten durchgeführt. Das Ergebnis blieb unverändert.

Auch bzgl. Verschleißverhalten wurde das geplante Ziel erreicht: Die 340 Dobain HSH reiht sich dabei zwischen R350HT und R260 ein und wird im Einzelfall von der jeweiligen Belastungssituation vor Ort bestimmt.

Erfahrungen im Gleis

Um die Ergebnisse unter realen Bedingungen zu bestätigen, wurden Schienen der Güte 340 Dobain HSH im Gleis ausgewählter Betreiber in Form von Piloteinbauten während der Entwicklungsphase getestet. Abb. 5 zeigt eine Oberflächenaufnahme dieser Schienen (Abb. 5, l.) und Schienen der Güte R350HT (perlitisch, Abb. 5, r.).

Auf den Schienen der Güte R350HT sind Head Checks deutlich erkennbar. Während ihrer Liegedauer von über 250 Megatonnen mussten diese Schienen (R350HT) zur Entfernung von Head Checks bereits bearbeitet werden. Die Head Checks wurden jedoch nur temporär entfernt und treten aufgrund der perlitischen Mikrostruktur immer wieder auf.

Die Schiene der Güte 340 Dobain HSH ist frei von Head Checks. Seit dem Einbau gibt es keine Notwendigkeit der schleiftechnischen Bearbeitung zur Entfernung von Head Checks oder anderer Defekte. Weitere Zulassungserprobungen wurden seitdem im europäischen Raum gestartet, mit dem Ziel, diese Güte in bisher instandhaltungsaufwendigen Bereichen einzusetzen.

Zusammenfassung

Mit der Schienengüte 340 Dobain HSH ist eine Schiene mit neuem Material und – im Vergleich zu herkömmlichen Schienengü-

ten – einzigartigen Eigenschaften entwickelt worden.

Die 340 Dobain HSH wurde bereits erfolgreich bei unterschiedlichen Bedingungen eingesetzt. Während andere Schienengüten dabei Head Checks entwickelten, blieb die 340 Dobain HSH – durch das Konzept des MRP – frei von Head Checks.

Die Entwicklung einer Head-Check-freien Schienengüte hat das Potenzial, die Eisenbahnwelt von Grund auf zu ändern. Der richtige Einsatz hilft dabei, Ressourcen einzusparen bzw. sie dorthin zu verschieben, wo es notwendig ist. Dadurch können Kosten nachhaltig für den Betreiber gesenkt und Unannehmlichkeiten für den Kunden vermieden werden. Darüber hinaus verhindert die Schiene durch die Vermeidung von Head Checks die Initiierung von anderen, oft schwerwiegenden Schienenschäden und erhöht die Sicherheit des Bahnbetriebs auf ein Maximum. ■

QUELLEN

- [1] Heyder, R.: Der neue Schienenfehlerkatalog der UIC: UIC-Spezial, EI - DER EISENBAHNINGENIEUR 09/2001, S. 94–109
- [2] Nerlich, I.; Mentsh, S.: Sichtbare Zusammenhänge zwischen dem dynamischen Adhäsionsverhalten von Antrieben und Schienenschäden, ZEVrail (2019) S. 152–162
- [3] Dartzalis, E.; Joerg, A.: Komplexe Herausforderungen, innovative Lösungskonzepte – Systemoptimierung bei der Sihltal Zürich Uetliberg Bahn SZU AG, ZEVrail (2014) S. 31–37
- [4] INNOTRACK Project, report D.4.1.5 – Definitive guidelines on the use of different rail grades, 2006 (2006)
- [5] Girsch, G.; Heyder, R.; Kumpfmüller, N.; Belz, R.: Comparing the life-cycle costs of standard and head-hardened rail, Railway Gazette International (2005) S. 549–551
- [6] Frank, N.; Uhrig, R.: LCC am Beispiel von Rillenschienen eines Nahverkehrsbetriebes, EI - DER EISENBAHNINGENIEUR 01/2002, S. 28–36
- [7] Hohenwarter, A.; Taylor, A.; Stock, R.; Pippan, R.: Effect of Large Shear Deformations on the Fracture Behavior of a Fully Pearlitic Steel, Metall and Mat Trans A 42 (2011) 1609–1618. <https://doi.org/10.1007/s11661-010-0541-7>
- [8] Hyzak, J. M.; Bernstein, I. M.: The role of microstructure on the strength and toughness of fully pearlitic steels, Metall Mater Trans A 7 (1976) pp. 1217–1224. <https://doi.org/10.1007/BF02656606>
- [9] Karlsson, B.; Lindén, G.: Plastic deformation of ferrite-pearlite structures in steel, Materials Science and Engineering 17 (1975) pp. 209–219. [https://doi.org/10.1016/0025-5416\(75\)90232-3](https://doi.org/10.1016/0025-5416(75)90232-3)
- [10] Edmonds, D. V.; Cochrane, R. C.: Structure-property relationships in bainitic steels, Metall Mater Trans A 21 (1990) pp. 1527–1540. <https://doi.org/10.1007/BF02672567>



GOLDSCHMIDT

Smart Rail Solutions



UNSICHTBARES SICHTBAR MACHEN

Den zukunftsweisenden Mess- und Prüflösungen von Goldschmidt bleibt nichts verborgen – sie erkennen auch verdeckte Schäden, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind.

Für eine genaue Analyse von Gleisgeometrie und Schienenfehlern wie z. B. Head Checks, Squats und erhöhtem Profilverschleiß bietet Goldschmidt passende Mess- und Prüfgeräte für jeden Anwendungsbereich: Ob als Handmessgerät, integriert in Trolleys, Gleiswagen, Zweibegefahrzeugen oder Mess- und Prüfzügen – mit unseren modularen Technologien liefern wir maßgeschneiderte Lösungen.

www.goldschmidt.com



Dr. Julian Wiedorn
Produktmanagement
julian.wiedorn@voestalpine.com



Dr. Christoph Kammerhofer
Forschung & Entwicklung
christoph.kammerhofer@voestalpine.com



Dr. Stephan Scheriau
Forschung & Entwicklung
stephan.scheriau@voestalpine.com

alle Autoren:
voestalpine Rail Technology GmbH,
AT-Leoben