

Steel

perdur[®]

Hinweise für die Anwendung und Verarbeitung



thyssenkrupp

Stand: Februar 2024

Einleitung

Mit perdur[®] 400 und perdur[®] 450 bieten wir Ihnen vielseitig einsetzbare Bandbleche, die Verschleißbeständigkeit mit guter Verarbeitbarkeit vereinen. Das Besondere ist die garantierte Zähigkeit kombiniert mit allen Vorteilen von Bandblechen aus dem Hause thyssenkrupp. Unsere perdur[®]-Bandbleche sind im Dickenbereich von 4,00 mm bis 8,00 mm verfügbar und ermöglichen aufgrund ihrer sehr engen Dickentoleranzen sowohl Gewichtseinsparungen als auch Vorteile im Hinblick auf das Kaltumformen.

Inhalt

01	Einleitung
02	Kaltumformen
03	Zerspanen
04	Bohren
05	Thermisches Trennen
06	Schweißen
09	Verschleiß

Hinweise zur Verarbeitung

Kaltumformen

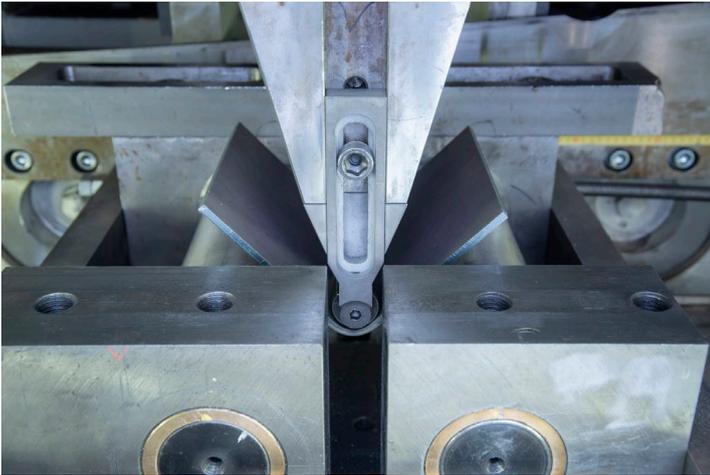


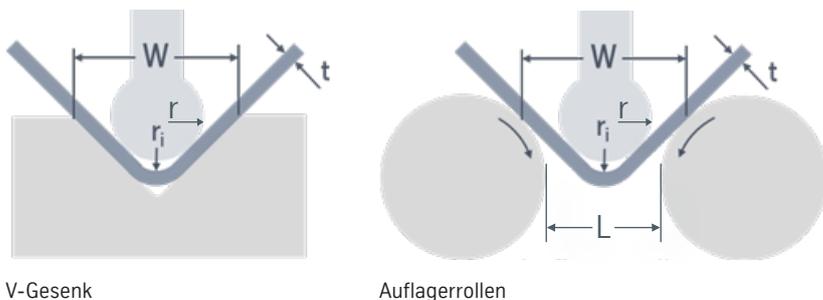
Abbildung 1: Biegevorrichtung mit Auflagerrollen.



Abbildung 2: Abkantpresse mit 90°-V-Gesenk.

Die Kaltumformung, z. B. durch Abkanten oder Biegen auf Pressen und Walzen, ist weit verbreitet und kommt auch bei den verschleißfesten Sonderbaustählen zur Anwendung. Das vorherrschende Umformverfahren ist das freie Biegen bzw. Abkanten im 90°-V-Gesenk auf Gesenkbiegepressen. Im Vergleich zu Stählen mit niedriger Streckgrenze müssen beim Umformen verschleißfester Stähle jedoch zwei zusätzliche Größen berücksichtigt werden: der erhöhte Kraftaufwand und die verstärkte Rückfederung. Höhere Kräfte sind erforderlich wegen des höheren Formänderungswiderstandes. Durch eine gute Schmierung der Matrizenkanten des V-Gesenks oder Anwendung von beweglichen Auflagerrollen kann allerdings die Biegekraft deutlich abgesenkt werden.

Unter günstigen Bedingungen haben sich die Mindestbiegeradien in Tabelle 1 bewährt. Dabei wird vorausgesetzt, dass durch Scheren verfestigte oder durch thermisches Trennen aufgehärtete Blechkanten kerbfrei abgearbeitet und entgratet sind. Im Allgemeinen ist das Umformverhalten quer zur Walzrichtung etwas günstiger als längs, da unvermeidliche sulfidische und oxidische Einschlüsse im Werkstoff weniger zur Auswirkung kommen. Beim Abkanten im V-Gesenk ist auf ein gutes Gleiten der Bleche zu achten, d. h. auf Schmierung der Matrizenkanten sowie auf regelmäßiges Säubern der Werkzeuge von losem, abgeblättertem Zunder.



V-Gesenk

Auflagerrollen

t = Blechdicke
 r = Stempelradius
 r_i = Innenradius am Werkstück
 W = Matrizenweite $\geq 2r + 5t$
 L = Lichte Weite $\geq 2r + 3t$

Abbildung 3: Abkanten mittels V-Gesenk und Auflagerrollen.

Tabelle 1: Mindestbiegeradien und -matrizenweiten beim Kaltumformen

	Nennstärke [mm]	r/t ⊥	r/t II	W/t ⊥	W/t II
Stahlsortenbezeichnung					
perdur® 400	4,0 – 8,0	3,5	5,0	11	13
perdur® 450	4,0 – 8,0	3,5	5,0	13	14

⊥ = Biegelinie senkrecht zur Walzrichtung | II = Biegelinie in Walzrichtung | W = Matrizenweite | r/t = Radius/Nennstärke

Die hier empfohlene Matrizenweite bezieht sich auf eine günstige Kombination der Umformkraft und Rückfederung. Eine Vergrößerung der Matrizenweite verringert die Biegekraft, muss jedoch im Hinblick auf den erhöhten Rückfederungswinkel nach Entlastung des Bauteils berücksichtigt werden.

Der Umformgrad bzw. die Rissneigung in der Biegezone werden dagegen hauptsächlich über den Stempelradius beeinflusst. Mit steigendem Biegewinkel muss beim freien Biegen bzw. Abkanten hochfester Stähle damit gerechnet werden, dass das Blech nicht mehr vollständig am Stempel anliegt.

Wärmebehandeln

Eine Warmumformung der perdur®-Stähle ist grundsätzlich nicht zu empfehlen, da der ursprüngliche Wärmebehandlungszustand des Werkstoffes aufgehoben wird. Dies führt zu einem Verlust der Härte und des Verschleißwiderstandes des Bauteils. Zur Vermeidung von Härteverlusten darf der Stahl nicht über 250 °C erwärmt werden.

Die Ermittlung der Brinellhärte erfolgt gemäß DIN EN ISO 6506. Die Härte wird ca. 1 mm unterhalb der Blechoberfläche gemessen.

In diesem Fall ist durch eine Vergrößerung des Stempelradius sicherzustellen, dass der Innenradius am Bauteil, den in Tabelle 1 aufgeführten Mindestbiegeradius nicht unterschreitet. Daneben sind Ausschnitte im Bereich der Biegezone zu vermeiden, da sie je nach Innenkontur und Lage den Umformgrad partiell erhöhen und so eine Rissbildung begünstigen können.

Zerspanen

Bei den verschleißfesten Sonderbaustählen liegende martensitische oder martensitisch-bainitische Grundgefüge vor, hier ist die Zerspanung anspruchsvoller als bei ferritisch-perlitischen Stählen.

Bohren

Für die Bearbeitung der Güten perdur® 400 und perdur® 450 wird der Einsatz von Vollhartmetallbohrern, Bohrer mit Wechselkopf mit PVD-Beschichtung oder wendeschneidplattenbestückten Fräsköpfe für das Zirkularfräsen empfohlen.



Hier ist entsprechend dem Bohrungsdurchmesser das geeignete Werkzeug zu wählen. Beim Bohren der verschleißfesten Sonderbaustählen ist auf folgendes zu achten:

- Die Länge des verwendeten Bohrers ist möglichst klein zu halten, um eine Durchbiegung des Werkzeuges zu vermeiden.
 - Kurz vor Beendigung des Bohrprozesses dringen die Schneiden des Bohrers durch die untere Schicht des Werkstückes, der aufgebaute Schnittdruck entlädt sich in diesem Moment. Dies reduziert die Standzeit sehr stark, die Schneiden bzw. Wendeschneidplatten können hierbei beschädigt werden.
 - Es empfiehlt sich, unter dem zu bohrenden Werkstück eine Platte aus Holz, Kunststoff o. ä. zu platzieren, um den Schnittdruck abzufangen und dadurch die Standzeit der Werkzeuge zu erhöhen. Ergänzend oder alternativ kann der Vorschub und die Spindeldrehzahl reduziert werden, bevor der Bohrer am Ende des Bohrvorganges aus der Bohrung austritt.
 - Bei geringen Wandstärken verhindert das flächige Unterlegen auch eine Durchbiegung des Werkstückes.
- Das Bohren erfolgt in Teilschritten, d. h. es ist ein sogenannter Rückzug nach einer empirisch ermittelten Bohrungslänge vorzunehmen, dies dient dazu, die Späne zu brechen, bzw. aus der Bohrung heraus zu spülen und verbessert die Kühlung des Werkzeuges. Die Anzahl der Rückzüge ist bei diesen Güten zu erhöhen, da die Temperaturentwicklung im Bereich der Schneiden höher ist, ergänzend kann eine Haltezeit definiert werden, um einer zu hohen Temperatur entgegenzuwirken.

Allgemeine Hinweise zum Bohren

- Es sind bevorzugt Werkzeuge mit Innenkühlung einzusetzen.
- Es ist das von den Werkzeugherstellern empfohlene Kühlschmiermittel (KSM) zu nutzen.
- Beim Senken sind bevorzugt Werkzeuge mit Wendeschneidplatten zu nutzen.
- Fräsen im Gleichlauf, da hier die Spandicke beim Austritt der Schneide aus dem Werkstück minimal ist.
- Schnittdatenempfehlungen sind vom Werkzeughersteller zu übernehmen.

Thermisches Trennen

perdur® kann im angebotenen Dickenspektrum bis 8 mm mit allen gängigen thermischen Trennverfahren geschnitten werden. Eine Vorwärmung ist im Allgemeinen nicht notwendig, bei Verarbeitung der Stähle bei unter 15 °C sollte der Anwender dies aber im Einzelfall prüfen.

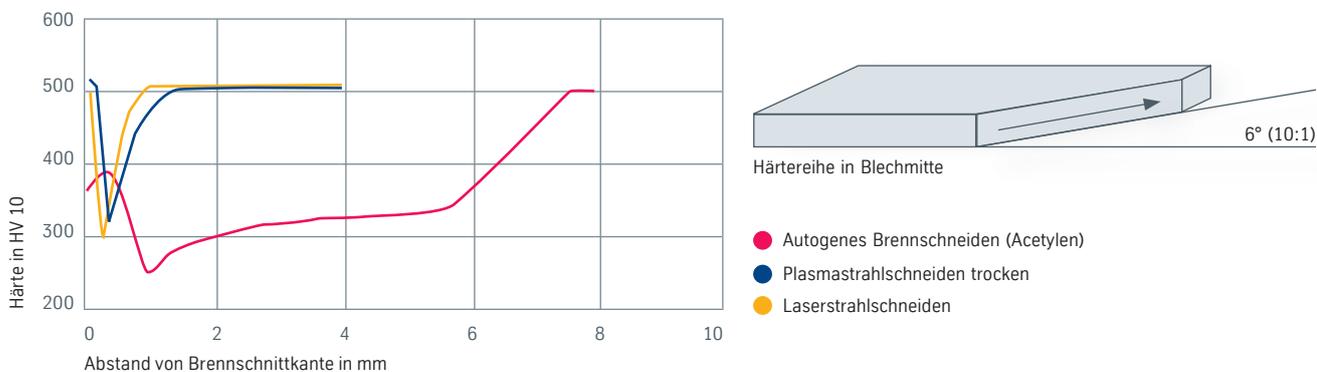
Wie bei allen Werkstoffen kann die Oberfläche die Schneideignung von perdur® beeinflussen, dies gilt vor allem für das Laserstrahlschneiden. Bei unzureichender Schnittqualität kann es sinnvoll sein, stark verzünderte oder korrodierte Oberflächen zu reinigen. Dies kann mechanisch oder thermisch erfolgen, beispielsweise durch das vorherige Abfahren der späteren Schnittkontur mit geringer Leistung. Beim thermischen Trennen kommt es im Bereich der Schnittkante kurzzeitig zu einer sehr hohen Temperatur und nachfolgend zu einer schnellen Abkühlung. Die hieraus resultierenden Werkstoffveränderungen äußern sich häufig in der Aufhärtung unmittelbar an der Schnittkante und

Die Abbildung 4 auf Seite 5 zeigt den typischen Härteverlauf in der Wärmeeinflusszone beim thermischen Schneiden von perdur® 450.

Die geringste thermische Beeinflussung tritt beim Laserstrahlschneiden auf. Eine nur geringfügig stärkere Beeinträchtigung erfolgt beim Plasmaschneiden. Alternativ stellt das Abrasiv-Wasserstrahlschneiden eine Möglichkeit dar, die Härte im Kantenbereich auch bei relativ kleinen Bauteilen bzw. engen Schnittkonturen vollständig zu erhalten.

Beim autogenen Brennschneiden empfiehlt es sich, eine geeignete Schnittfolge zu wählen, um eine zu starke Durchwärmung der Bauteile zu vermeiden.

Abbildung 4: Thermisches Schneiden von perdur® 450 (Härteverlauf in der Wärmeeinflusszone)



Schweißen

perdur®-Stähle wurden im Hinblick auf möglichst niedrige Kohlenstoffäquivalente optimiert und zeichnen sich deshalb durch eine hervorragende Eignung zum Schweißen aus. Sie lassen sich mit allen gängigen Verfahren schweißen, bevorzugt mit dem MAG- und dem Lichtbogenhandverfahren. Der Zusatzwerkstoff sollte in Abhängigkeit der Schweißaufgabe gewählt werden. Häufig bestehen beim Schweißen von verschleißbeständigen Stählen keine der Streckgrenze des Grundwerkstoffs entsprechenden Anforderungen an den Schweißzusatz.

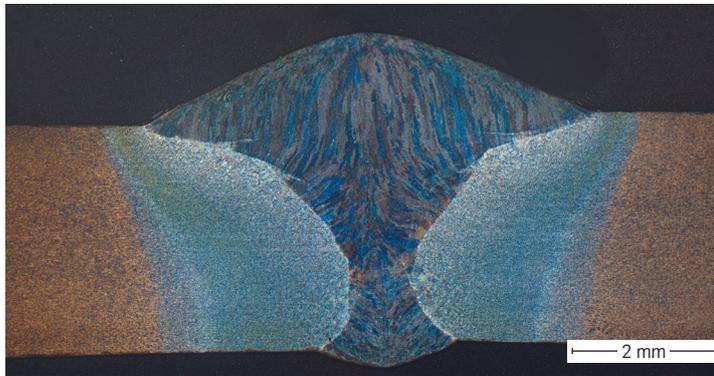


Abbildung 5: MSG-Schweißung an perdur® 450, Blechdicke 6 mm

Grundsätzlich ist dem Kaltrissverhalten bei allen verschleißfesten Stählen eine besondere Beachtung zu schenken. Kaltrisse sind zeitlich verzögert auftretende Risse in der Wärmeeinflusszone oder im Schweißgut, die sich unter Einwirkung von Wasserstoff und Spannungen bilden können. Das Vorwärmen der Bauteile ist ein wirksames Mittel, um diese Risse zu vermeiden. Es verzögert die Abkühlung des Nahtbereiches und begünstigt damit die Wasserstoffeffusion. Weiterhin sind Maßnahmen zu treffen, die einen möglichst geringen Eintrag von Wasserstoff in das Schweißgut sicherstellen, z. B. die Säuberung und das Trocknen der Nahtfugen, die Einstellung eines stabilen Schutzgasstromes beim MAG-Schweißen und die Verwendung von rückgetrockneten basischen Stabelektroden beim Lichtbogenhandschweißen. Die Schweißfolge soll auf eine möglichst geringe Eigenspannung ausgerichtet sein. Auf ein Vorwärmen kann bei austenitischem Schweißgut im Allgemeinen verzichtet

Somit sollte der Schweißzusatz in Abhängigkeit der Anforderungen an die Festigkeit, Kerbschlagarbeit und Kaltrissicherheit gewählt werden. Häufig stellt der ferritische Zusatzwerkstoff G69 M21 Mn4Ni1,5CrMo nach EN ISO 16834-A einen guten Kompromiss aus den oben genannten Forderungen dar, für erhöhte Kaltrissicherheit empfiehlt sich die Verwendung eines austenitischen Zusatzwerkstoffs wie G18 8 Mn nach ISO 14343-A.

werden, bei Verwendung von ferritischem Schweißgut sollte das MAG-Schweißen bevorzugt werden. Es bietet wegen des niedrigen Wasserstoffgehaltes im Schweißgut gegenüber dem Lichtbogenhandschweißen Vorteile.

Zur Einschätzung der allgemeinen Schweißeignung wird häufig den Kohlenstoffäquivalent CE herangezogen, welches durch die Formel $CE_{iww} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ abgeschätzt werden kann. Auch die Kaltrissempfindlichkeit eines Stahls lässt sich anhand seiner chemischen Zusammensetzung abschätzen. Dazu eignet sich in besonderem Maße das aus umfangreichen Kaltrissuntersuchungen abgeleitete Kohlenstoffäquivalent CET, welches sich über den folgenden Zusammenhang berechnen lässt: $CET = C + (Mn + Mo)/10 + (Cr + Cu)/20 + Ni/40$.

Tabelle 2: Typische Werte von CE_{IIW} und CET von perdur®

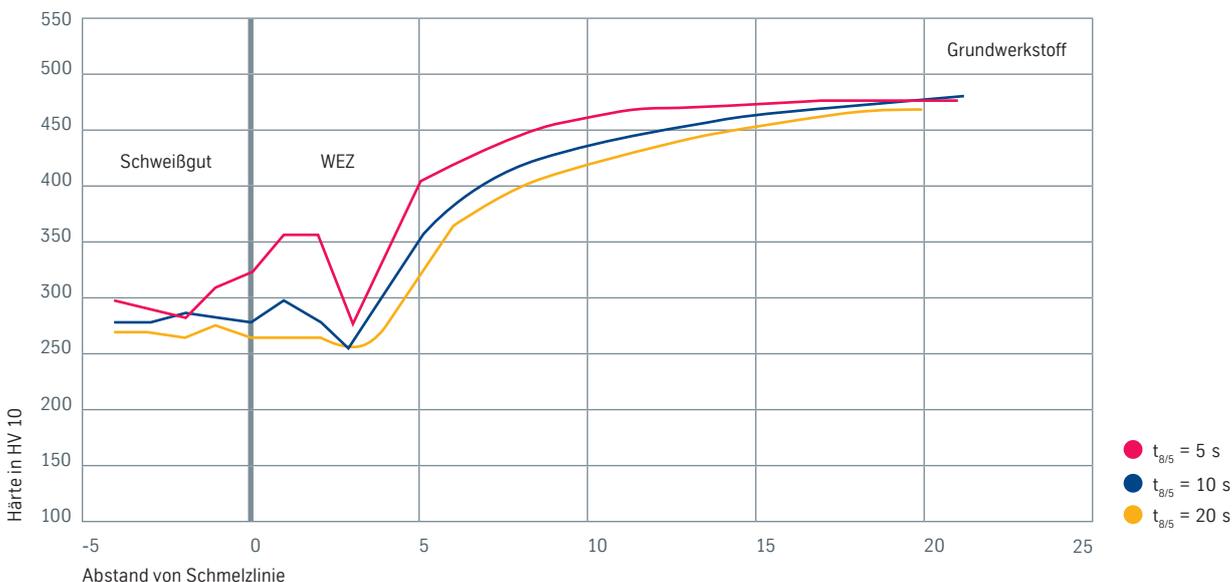
Stahlsorte	CE_{IIW} [%]	CET nach SEW088:2017-10 [%]
perdur® 400	0,36	0,25
perdur® 450	0,41	0,30

Das Kaltrissverhalten wird neben der chemischen Zusammensetzung des Grundwerkstoffes und des Schweißgutes von der Blechdicke, dem Wasserstoffgehalt des Schweißgutes und durch das Wärmeeinbringen beim Schweißen sowie durch den Eigenspannungszustand im Nahtbereich bestimmt. Untersuchungen zur Vermeidung von Kaltrissen haben als CET-Konzept Eingang in das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 088 und in die DIN EN 1011 (Teil 2, 2001) gefunden.

Wahl der Schweißbedingungen

In der Wärmeeinflusszone der Schweißnaht ergibt sich infolge des Temperatur-Zeit-Verlaufes beim Schweißen eine Veränderung der Eigenschaften. Der Temperatur-Zeit-Verlauf ist abhängig von den Schweißbedingungen, die sich durch die Abkühlzeit $t_{8/5}$ kennzeichnen lassen. Das ist die Zeit, die während des Abkühlens nach dem Schweißen einer Raupe benötigt wird, um den Temperaturbereich von 800 °C auf 500 °C zu durchlaufen. Eine zu schnelle Abkühlung der Schweißraupen führt zu einer hohen Härte an der Schmelzlinie und erhöht die Kaltrissgefahr im Schweißnahtbereich. Eine zu langsame Abkühlung hat

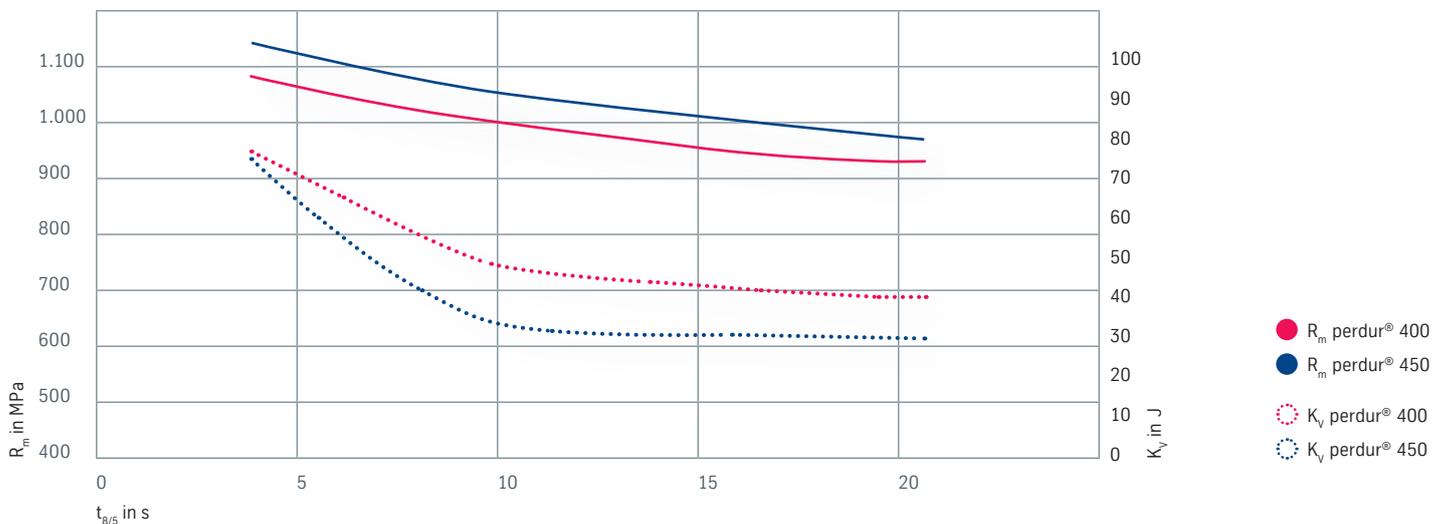
dagegen zur Folge, dass die Wärmeeinflusszone nahe der Schmelzlinie eine schlechtere Zähigkeit und Festigkeit aufweist. Aufgrund der hohen Härte des Grundwerkstoffes ist eine Erweichung im Bereich der Wärmeeinflusszone (WEZ) nicht zu vermeiden, die Breite der WEZ und die minimale Härte in WEZ und Schweißgut sind allerdings über Wärmeführung beeinflussbar. Abbildung 6 zeigt typische Härteverläufe im Bereich der Fügezone an perdur® 450 für verschiedene Abkühlzeiten $t_{8/5}$.

Abbildung 6: Typische Härteverläufe für verschiedene Abkühlzeiten $t_{8/5}$ für perdur® 450

Grundsätzlich können perdur® 400 und perdur® 450 über einen breiten Bereich der Abkühlzeit $t_{8/5}$ verarbeitet werden und weisen dabei gute mechanische Kennwerte auf, welche die technisch üblichen Anforderungen in der Regel übertreffen. Abbildung 7 zeigt den typischen Verlauf von Kerbschlagarbeit und Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Abkühlzeit $t_{8/5}$ bei einer Blechdicke von 6 mm und der Verwendung des Zusatzwerkstoff ZW G69 M21

Mn4Ni1,5CrMo, die Verbindung wurde als Stumpfstoß (V-Naht, 50° Öffnungswinkel) ausgeführt. Der V-Kerb der Kerbschlagbiegeproben lag zu 50% in der WEZ und zu 50% im Schweißgut, die Prüftemperatur betrug -40 °C. Die Zugproben wurden quasistatisch mit Nahtüberhöhung (unbeschleunigt) geprüft.

Abbildung 7: Typischer Verlauf der Kerbschlagarbeit und Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Abkühlzeit $t_{8/5}$, Blechdicke 6 mm



Das Konzept zur Abkühlzeit $t_{8/5}$ findet inzwischen weltweit Anwendung und hat Eingang in das Regelwerk gefunden, u. a. im SEW 088 und in der DIN EN 1011-2 (2001). Dort finden sich zahlreiche nützliche Hinweise für die Anwendung des Abkühlzeitkonzeptes in der Praxis.

Für die einfache Berechnung der Abkühlzeit und weiterer wichtiger Kenngrößen beim Lichtbogenschweißen kann die Software „ProWeld“ herangezogen werden. Sie steht als browserbasierte Variante zur Verfügung:

https://online.thyssenkrupp-Steel.com/ecmllogin/proweld_register.do

Verschleiß

Verschleiß ist eine Systemgröße und für ein genaues Verständnis von realen Verschleißvorgängen beim Kunden sollte idealerweise immer das dem Verschleiß zugrunde liegende Gesamtsystem (Tribosystem) analysiert werden. Verschiedene Verschleißvorgänge können auf vier grundlegende Verschleißmechanismen zurückgeführt werden, die einzeln oder in Kombination auftreten können. Die vier angesprochenen Verschleißmechanismen sind Abrasion, Adhäsion, Oberflächenzerrüttung und Tribokorrosion, wobei im Bereich üblicher Einsatzfelder für die Verschleißstähle schwerpunktmäßig Abrasion und Oberflächenzerrüttung relevant sind.

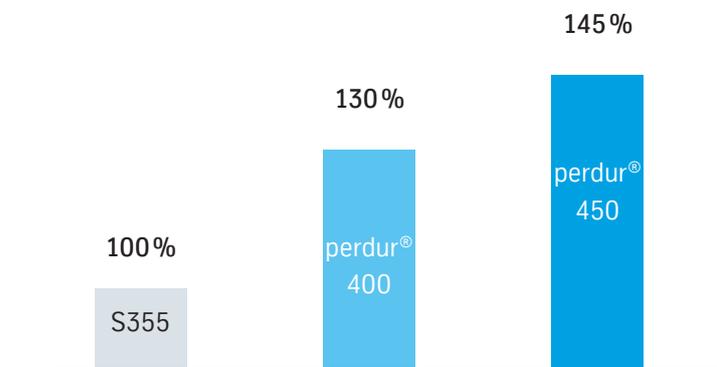
Trotz der Komplexität realer Verschleißvorgänge ist es sinnvoll, mittels Laborversuchen das Verschleißverhalten von Stählen vorab zu charakterisieren, um mit begrenztem Aufwand eine

erste Einschätzung und einen Vergleich der Verschleißperformance von Werkstoffen vornehmen zu können.

Bei thyssenkrupp Steel stehen hierfür unter anderem ein Reibrad-Prüfstand für Versuche nach ASTM G65 und ein Verschleißtopf zur Verfügung.

Die Verschleißstähle perdur® 400 und perdur® 450 bieten sehr gute Zähigkeit, d. h. eine hohe Verschleißbeständigkeit, gegen Prall- und Abrasivverschleiß. Interne Untersuchungen auf dem Reibrad nach ASTM G65-16 mit Ottawasand zeigen einen mit den wichtigsten Wettbewerbsgütern vergleichbaren Verschleißwiderstand auf hohem Niveau. Gleichzeitig wurde auch eine gleichbleibende Verschleißperformance bei unterschiedlichen Ausgangsblechdicken festgestellt.

Abbildung 8: Relative Lebensdauer von perdur® versus S355MC



Getestet mit Quarzsand mit einer Härte von ~ 1.100 HV.

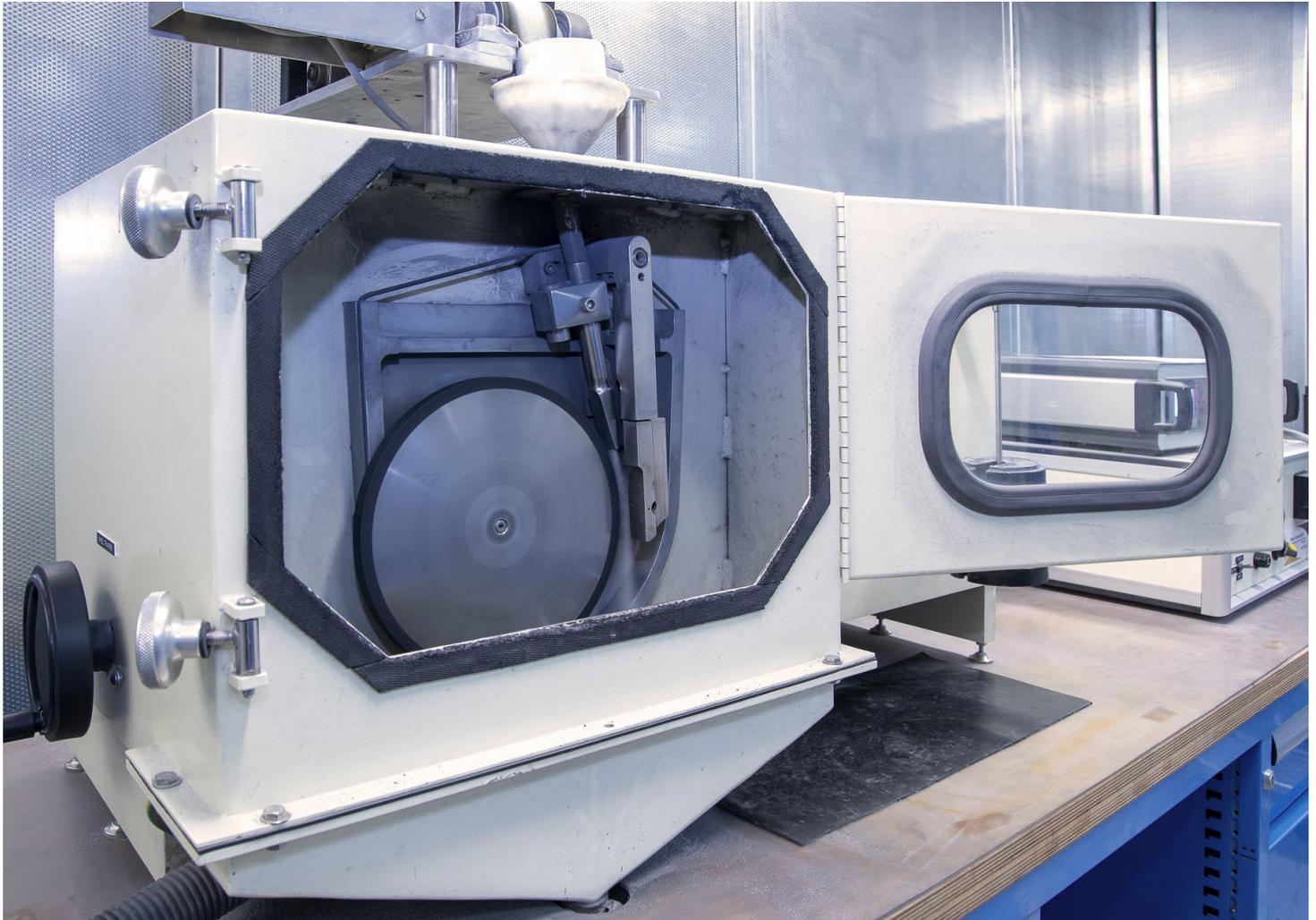


Verschleißprobe nach ASTM G65-Prüfung.

Neben einer ersten Untersuchung auf dem Reibrad-Prüfstand können im weiteren Verlauf anwendungsnähere Versuche auch mit kundenindividuellen Abrasivstoffen im Verschleißtopf durchgeführt werden.

Bei thyssenkrupp Steel werden regelmäßig Verschleißuntersuchungen durchgeführt, um einerseits die Verschleißperformance der perdur®-Güten zu kennen und andererseits auch einen Vergleich mit der Verschleißperformance von Wettbewerbsgütern vornehmen zu können.

perdur® im Test – Bestimmung Verschleißverhalten im Labor



Bei thyssenkrupp Steel betriebener Verschleißprüfstand.