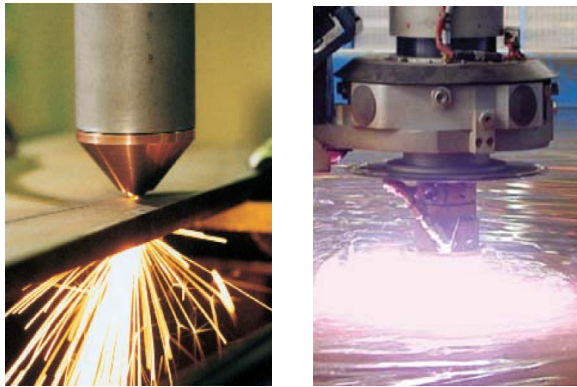


1. Allgemeines

ThyssenKrupp Steel stellt Grobbleche für den ballistischen Schutz mit dem Markennamen SECURE her. Diese Stähle werden vorwiegend für zivile Fahrzeuge und Gebäude eingesetzt. Die Beschussicherheit und die hohe Härte der Stähle **SECURE 400, 450, 500 und 600** ergeben sich aus der besonderen chemischen Zusammensetzung in Verbindung mit einer abgestimmten Wärmebehandlung durch Wasser- oder Ölvergütung. Infolge ihres Legierungsaufbaus und der hohen Härte sind bestimmte Maßnahmen zu berücksichtigen, um eine sichere Verarbeitung zu gewährleisten.

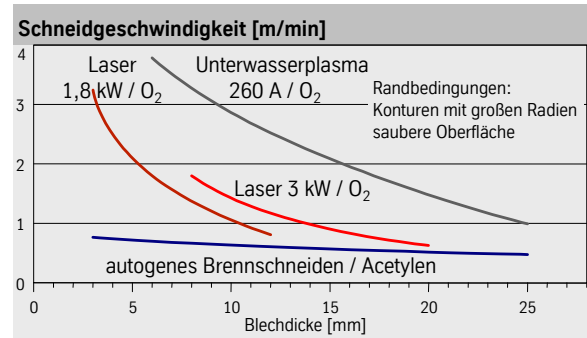


Bei dünneren Blechen tritt das Laserstrahlschneiden besonders in den Vordergrund. Das Plasmaschneiden kommt bei Blechdicken bis etwa 40 mm zum Einsatz. Bei diesem Verfahren werden die höchsten Schneidgeschwindigkeiten erzielt. Das autogene Brennschneiden lässt sich unter Vor- und Nachwärmung auch bei dickeren Blechen anwenden.

Empfohlene Schneidverfahren für SECURE

Blechdicke	bevorzugte Verfahren
bis 12 mm	Laserstrahlschneiden Unterwasser-Plasmaschneiden
> 12 - 40 mm	Unterwasser-Plasmaschneiden Abrasive-Wasserstrahlschneiden Autogenes Brennschneiden *)
über 40 mm	Abrasive-Wasserstrahlschneiden Autogenes Brennschneiden *)

*) unter Vor- und ggf. Nachwärmung



Alternativ zu den thermischen Verfahren stellt das Abrasive-Wasserstrahlschneiden eine ausgezeichnete Möglichkeit dar, auch schwierige Konturen rissfrei und ohne Härteverlust zu fertigen. Im Einzelfall kommt zudem das Trennschleifen in Betracht.

Der **SECURE 200** weist als thermomechanisch gewalzter Stahl eine besonders verarbeitungsfreundliche chemische Zusammensetzung auf.

2. Laserstrahlschneiden

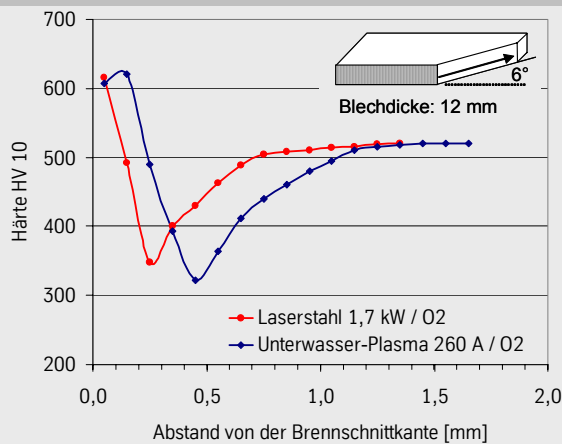
Das Laserstrahlschneiden hat sich inzwischen zu einem Standardverfahren entwickelt. CO₂-Laser mit einer Leistung von 3 kW schneiden heute bis zu 20 mm dicke Bleche. Die erreichbare Schneidgeschwindigkeit hängt von der Intensität des Laserlichtes ab und wird deshalb von der Fokussierung der Strahlung beeinflusst. Als Schneidgas wird Sauerstoff mit höherer Reinheit bevorzugt. Für die Schnittgüte ist zudem die Ausbildung der Gasströmung entscheidend. Bei eng verschachtelten Bauteilen sollte durch eine geeignete Schneidfolge einer starken Erwärmung des Bleches (> 120 °C) während des Schneidens vorgebeugt werden.

Der Zustand der Werkstoffoberfläche übt ebenfalls einen wichtigen Einfluss auf die Schnittgüte aus. Ein Anrosten, eine starke Rauheit (Sandstrahlen), eine Verschmutzung oder Beschädigung der Blechoberfläche sollten vermieden werden. Dünne, fest anhaftende Zunderschichten stören den Schneidprozess

nicht. Farbschichten mit einer zu großen Schichtdicke können hingegen bei dünneren Blechen von Nachteil sein. Beim Beschichten von Grobblechen kommt standardmäßig ein anorganischer Silikat-Shopprimer mit niedrigem Zinkanteil zum Einsatz. Bei einer feinen Abstimmung der Schneidparameter lässt sich auch bei geprimerten Blechen die höchste Schnittgüte nach DIN EN ISO 9013 erzielen.

Laser- und Unterwasser-Plasmaschneiden von SECURE 500

Härteverlauf in der Wärmeeinflusszone



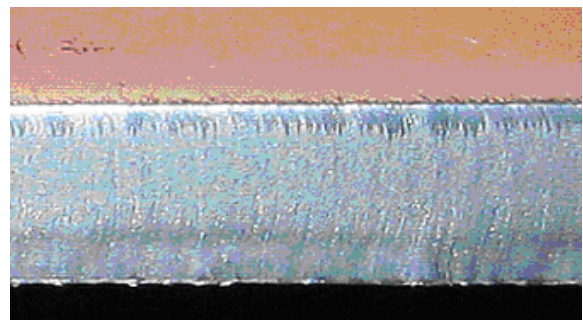
Beim thermischen Trennen kommt es im Bereich der Schnittkante kurzzeitig zu einer sehr hohen Temperatur und nachfolgend einer sehr schnellen Abkühlung. Die hieraus resultierenden Werkstoffveränderungen äußern sich in einer Aufhärtung unmittelbar an der Schnittkante und einer daran angrenzenden Anlasszone (Erweichungszone).

Der Vorteil des Laserstrahlverfahrens liegt neben der außerordentlichen Präzision vor allem in der geringen thermischen Beeinflussung der Schnittkanten. In Bezug auf die Energiedichte ist es allen anderen thermischen Schneidverfahren überlegen. Der geringe Wärmeeintrag wird am Härteverlauf der Schnittkante deutlich. Aufhärtungszone und Anlasszone sind äußerst schmal ausgebildet. Durch das niedrige Wärmeeinbringen werden nur geringe Eigenspannungen gebildet, wodurch nicht nur ein sehr geringer Verzug, sondern auch eine hohe Rissicherheit erreicht wird.

3. Plasmaschneiden

Im Hinblick auf die möglichst geringe thermische Beeinflussung der Schnittkante und auf den geringen Verzug bei der Verarbeitung dünner Bleche bietet das **Plasmaschneiden unter Wasser** ebenfalls günstige Voraussetzungen. Neben der guten Wärmeableitung im Wasserbad führt die hohe Schneidgeschwindigkeit zu einer sehr schmalen Wärmeeinflusszone. Der Einsatz von Sauerstoff verringert beim Unterwasserschneiden, aber auch bei den anderen Verfahrensvarianten, die Viskosität des aufgeschmolzenen Materials. Dadurch ergeben sich bartfreie Schnittkanten.

Das **trockene Plasmaschneiden** gewinnt zunehmend an Bedeutung. Spezielle Feinstrahl-Plasmapbrenner ermöglichen eine stärkere Einschnürung und Stabilisierung des Plasmastrahls durch eine effektive Sekundärgasführung (Wirbelgas). Dadurch wird die Geradheit bzw. Rechtwinkligkeit der Schnittkanten verbessert und in vielen Fällen eine vergleichbare Schnittgüte wie beim Laserstrahlschneiden erreicht.



Feinstrahl-Plasmaschnittkante am 12-mm-Blech

Die Ausbildung der Wärmeeinflusszone hängt nicht nur davon ab, ob das Plasmaschneiden trocken oder im Wasserbad erfolgt. Maßgebend ist auch die Leistung, d.h. die Schneidstromstärke der Anlage.

Versuche zum trockenen Feinstrahl-Plasmaschneiden der Stähle **SECURE 500 und 600** zeigen, dass dünnere Bleche (bis 6 mm) im Allgemeinen problemlos verarbeitet werden können. Bei Blechdicken ab etwa 10 mm sollten Anlagen höherer Leistung (ca. 300 A) bevorzugt werden. Dabei lässt sich durch die hohe Schneidgeschwindigkeit (ca. 4 m/min) die kritische Aufhärtungszone deutlich einschränken. Der Härteverlauf ist dabei mit dem von Unterwasser-Schnittkanten nahezu vergleichbar.

Plasmaschneiden von SECURE 500 (12 mm)

Ausbildung der Wärmeeinflusszone

Unterwasser-Plasmaschneiden / 260 A / O₂



Feinstrahl-Plasmaschneiden / 300 A / O₂



Kante Aufhärtung Anlasszone

Beim Schneiden auf kleineren Anlagen (Stromstärke 100 A / Schneidgeschwindigkeit < 2 m/min) sind Materialtrennungen in der breiteren, aufgehärteten Randschicht nicht auszuschließen. Die Schnittkanten sind vor der weiteren Verarbeitung zu überprüfen. Hierfür eignen sich in gleichem Maße die Farbeindring- und Magnetpulverprüfung. Gegebenenfalls sollte die Schnittkante etwa 1 mm abgeschliffen werden.

Der **SECURE 200** unterscheidet sich von den anderen Sicherheitsstählen grundlegend. Aufgrund des äußerst niedrigen Kohlenstoffgehaltes bzw. -äquivalentes wird die Schnittkante nur geringfügig aufgehärtet. Der Stahl eignet sich daher uneingeschränkt für alle Verfahrensvarianten.

4. Autogenes Brennschneiden

Die Sicherheitsstähle SECURE 400, 500 und 600 weisen infolge ihrer besonderen chemischen Zusammensetzung und Härte eine erhöhte Neigung zur Rissbildung beim autogenen Brennschneiden auf. Das Schneiden wird vorzugsweise mit Hochleistungsdüsen und hohen Sauerstoffdrücken ausgeführt. Anders als beim Schweißen sind Brennrisse grundsätzlich nicht auf die Wirkung von Wasserstoff zurückzuführen. Mit wasserstoffinduzierten Kaltrissen ist gemein, dass sie zeitlich verzögert auftreten können.



Die wirkungsvollste Maßnahme zur Vermeidung von Brennrisen ist das Vorwärmen. Dabei sollte das gesamte Blech, mindestens jedoch 150 mm beiderseits des vorgesehenen Schnittes auf die je nach Stahlsorte und Blechdicke empfohlene Temperatur erwärmt werden. Zur bevorzugten Ofenerwärmung bieten Brennerlanzen eine gute Alternative für die gleichmäßige Erwärmung. Durch Temperaturmessungen ist sicherzustellen, dass einerseits die gewünschte Temperatur auch auf der Rückseite erreicht, andererseits die beheizte Seite nicht überhitzt wird. Bei Blechtemperaturen unter 5 °C sollten auch dünnere Bleche vor dem Schneiden handwarm vorgewärmt werden.

Vorwärmtemperaturen für das autogene Brennschneiden

Stahlsorte	Blechdicke t in mm											
	≤ 5	≤ 10	≤ 15	≤ 20	≤ 25	≤ 30	≤ 35	≤ 40	≤ 45	≤ 50	> 50	
SECURE 400	ohne		100 °C			125 °C		150 °C		175 °C + NW*		
SECURE 450	ohne						75 °C					
SECURE 500	ohne		100 °C			125 °C		150 °C		175 °C + NW*		
SECURE 600	-	100 °C		150 °C		175 °C		175 °C + NW*				

* Nachwärmen 175 °C, mind. 2 min je mm Blechdicke, max. 4 Stunden

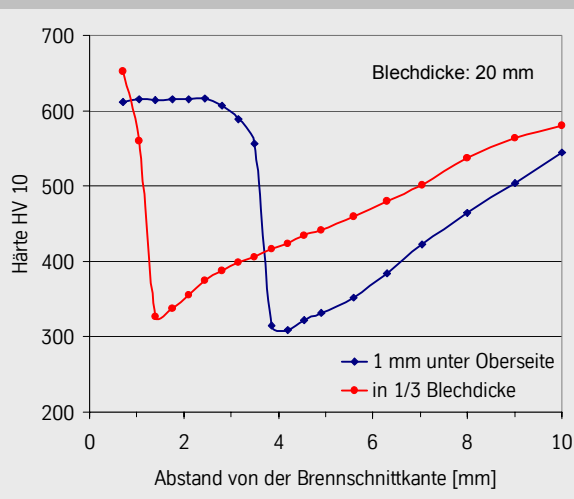
Bei Blechdicken über 50 mm empfiehlt es sich, zusätzlich unmittelbar nach dem Brennschneiden ein Nachwärmen des Schneidbereichs bei 175 °C durchzuführen. Als Haltezeit sind 2 Minuten je mm Blechdicke vorzusehen, maximal jedoch 4 Stunden. Der Einsatz von Isoliermatten hilft zusätzlich, um eine möglichst langsame Abkühlung zu erreichen.

Grundsätzlich lässt sich die Abkühlung auch durch ein Herabsetzen der Schneidgeschwindigkeit verzögern. Diese Methode ist jedoch gegenüber der Vorwärmung des Bleches weniger effektiv. Die Gefahr einer Überhitzung des Kantenbereiches nimmt hierbei zu.

Wegen des hohen Wärmeeinbringens beim Brennschneiden (besonders auf der Seite des Brenners) findet die Gefügeumwandlung in einer breiten Randschicht statt. Die angrenzende Erweichungszone ist bei diesem Schneidverfahren besonders ausgeprägt. Die Grundwerkstoffhärte wird, abhängig von Blechdicke und Schneidparametern, erst in einem relativ großen Abstand zur Schnittkante erreicht. Je nach Dicke und Größe der Bauteile sowie der Schneidfolge kann die Erwärmung beim Schneiden im Extremfall sogar zum Härteverlust im gesamten Bauteil führen. Um dem vorzubeugen, sollten die nachfolgend genannten Temperaturen nicht überschritten werden. Die Anlasswirkung verstärkt sich mit zunehmender Temperatur und Dauer der Überhitzung.

Autogenes Brennschneiden von SECURE 600

Härteverlauf in der Wärmeeinflusszone



Stahlsorte	Maximale Temperatur
SECURE 200	580 °C
SECURE 400	450 °C
SECURE 450	250 °C
SECURE 500	200 °C bei t ≤ 50 mm 250 °C bei t > 50 mm
SECURE 600	200 °C

Nach dem Brennschneiden müssen die Schnittflächen glatt und ohne Kerben sein. Tiefere örtliche Kolkungen sind vor der Weiterverarbeitung auszusleifen oder zu überschweißen und zu überschleifen. Eine Oberflächenrisprüfung oder Ultraschallprüfung sollte frühestens 48 Stunden nach dem Schneiden erfolgen. Bei SECURE 600 empfiehlt sich eine weitere Prüfung frühestens zwei Wochen nach dem Schneiden.