

Tiefeninduktion und ihre schweißtechnischen Anwendungen

T. Vauderwange, Offenburg

Induktion? Tiefeninduktion! In Summe geht es um eine spezielle Invertertechnologie mit Festfrequenztechnik, bei der durch aussergewöhnlich hohe Feldkonzentration die Vorgaben betreffend des Arbeitsschutzes auch in der manuellen Anwendung problemlos eingehalten werden können. Gleichzeitig gelingt bei richtiger Kombination aus Induktor, Geräteabstimmung und Handhabung eine Erzeugungswirktiefe, die deutlich über das hinausgeht, was man bei reinem Skineffekt erwartet. Damit ergeben sich interessante Anwendungen rings um die Schweisstechnik.

1 Grundlagen

1.1 Die Aufgabe

Im direkten Vergleich mit anderen Wärmeverfahren geht es darum, wie schnell man eine gewisse Temperatur in eine gewisse Tiefe des Metalls hineinbringt – aber auch um in einer gewissen Tiefe erreichbare Temperaturänderungsgeschwindigkeiten. Bei den ansonsten üblichen Wärmeverfahren wie (Autogen-)Flamme, Heißluft / Ofen oder die Art Induktion, die aufgrund ihres Aufbaus für manuelle Anwendung geeignet ist, wird die Wärmeenergie oberflächlich oder zumindest sehr oberflächennah eingebracht. Damit ist die Wärmeleitung der entscheidende Faktor. Diese wiederum ist bekanntlich abhängig von drei Faktoren:

- Temperaturdifferenz – je heißer die Oberfläche, desto schneller kommt man in die Tiefe. Nachteil: Je höher die Oberflächentemperatur, desto höher die Gefahr, etwas zu beschädigen. Sei es chemisch (Oxidation) oder metallurgisch (Aufhärtung, Versprödung, Anschmelzen).
- Wärmeleitfähigkeit – was bei Silber am schnellsten geht, ist bei Aluminium und Kupfer noch schnell, bei ferritischem Stahl so lala und bei Chromnickelstahl eher schlecht. Nur: Man hat nicht die Wahl, der Werkstoff liegt fest.
- Zeit – je länger man sich Zeit lässt, desto tiefer ist eine gewisse Temperaturhöhe erreicht. Was bei Anwendungen wie dem Vorwärmen aber einfach nur ein teurer Bremsklotz ist, führt beispielsweise beim thermischen Richten dazu, dass sich ein Richteffect gar nicht erst einstellt.

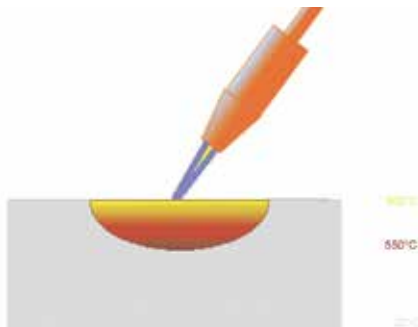


Bild 1: Rein oberflächlich wirksame Wärmeverfahren haben sekundäre Wirktiefe durch Wärmeleitung

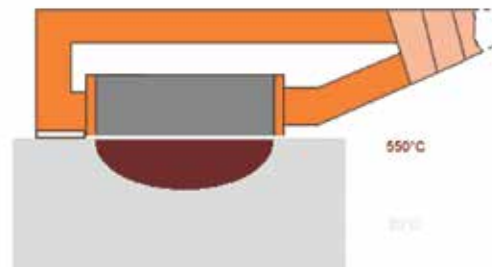


Bild 2: Mit Tiefeninduktion, hier vereinfacht am Beispiel des thermischen Richtens gezeugt, nutzt man die primäre Wirktiefe – wenn man es richtig macht!

Bei der Tiefeninduktion gelingt es nun bei richtiger Anwendung, die Wärmeentstehung ein Stück weit ins Material zu verlagern. Wie weit? Das ist tatsächlich abhängig von Material, Materialstärke und vor allem der Induktorposition und/oder dessen Bewegungsgeschwindigkeit. Ist aber in jedem Fall erfreulich reproduzierbar.

1.2 Die zwei Erwärmungsmechanismen der Induktion

Grundsätzlich geht es bei Induktion immer darum, ein elektromagnetisches Wechselfeld in das Werkstück einzukoppeln. Dies geschieht üblicherweise dadurch, dass ein elektrischer Leiter von einem Strom mit einer gewissen Frequenz (also kein Gleichstrom) durchflossen wird. Die einfachste Anwendung dabei ist die Innenfelderwärmung, bei der der Leiter ein- oder mehrmals um die zu erwärmende Zone gewickelt ist (Bild 3).

Dies ist mit die effizienteste Methode, die aber nur dann Sinn macht, wenn ein Bauteil wirklich auf dem kompletten Umfang relativ gleichmäßig erwärmt werden soll, rund oder eckig spielt dabei keine Rolle.

Nicht nur beim thermischen Richten, sondern tatsächlich auch bei Vorwärmungen stellt sich ein Ansatz mit Nutzung von sogenannten Feldverstärkern am Induktor (Bild 4) als vorteilhaft heraus. Es geht dabei darum, die Feldlinien auf eine begrenzte Fläche ausserhalb der eigentlichen Leiterschleife zu konzentrieren.



Bild 3: Innenfelderwärmung beim Hartlöten Chromnickel-Kupfer an Wärmetauscher



Bild 4: Induktor mit Feldverstärker beim Richten eines Längsträgers



Bild 5: Aussenfelderwärmung zum Ausschumpfen von Buchsen

Die dritte grundlegende Methode ist die sogenannte Aussenfelderwärmung, (Bild 5), bei der ein Ringinduktor kein Werkstück im Innern der Wicklung vorfindet und stattdessen das Feld beispielsweise in ein Rohr einkoppelt, in das der Induktor gesteckt ist.

Nun zur Erklärung des ersten der beiden Wirkmechanismen, der sogenannten Wirbelströme. Stellen wir uns einen Transformator vor. Besteht aus einer Primärwicklung, die von einem Wechselstrom durchflossen wird.

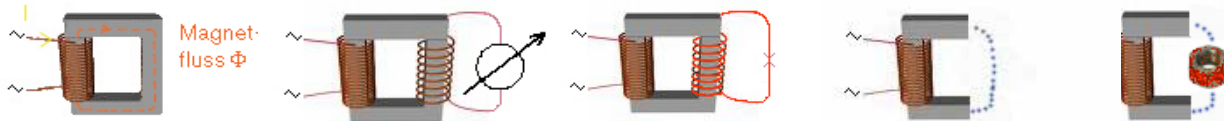


Bild 6: Transformator als Verständnisbildner, wie es zu Wirbelströmen im Werkstück und damit zur Erwärmung kommt

Der resultierende magnetische Fluss Φ breitet sich entlang der Kerngeometrie aus. Sobald nun in Bezug auf diesen Magnetfluss ein elektrisch leitfähiger Querschnitt mit einer nennenswerten Fläche durchströmt wird, erzeugt der magnetische Fluss in dieser Fläche Induktionsspannungen, hier bei einer Sekundärwicklung eines Transformators sichtbar gemacht durch ein Voltmeter.

Hinweis zur Leitfähigkeit des Kernmaterials: Eine hohe Permeabilitätszahl μ_r wird durch eine hohe Zahl an Eisena-tomen im Kern erreicht. Diese dürfen jedoch möglichst nicht in einem Metallgitter verbunden sein, denn die damit einhergehende Leitfähigkeit führt zu unbeabsichtigten Wirbelströmen und damit zu Verlusten – der Kern würde heiß. Die Primär- und die Sekundärwicklung sind elektrisch vollkommen voneinander isoliert

Schliesst man die zwei Enden einer Sekundärwicklung kurz, läuft sich die komplette, erzeugte Induktionsspannung tot und der resultierende Strom setzt die Energie am ohmschen Widerstand des Leiter in Wärmeleistung um.

Ausgehend von diesem Modell betrachten wir nun einen Transformator, bei dem nur die Primärwicklung und der halbe Transformator Kern vorhanden ist. In diesem Fall werden die Feldlinien des Magnetflusses im Trafokernstück auf die gewohnte Weise konzentriert. Sobald die durch den primärseitigen Stromfluss erzeugten Feldlinien auf ihrer Kreisbahn den Kern verlassen, suchen sie sich einen Weg zur Wiedereintrittsstelle.

Sobald nun in die Zone der ‚freien Feldlinien‘ ein elektrisch leitfähiges Objekt nennenswerten Querschnitts gelangt, agiert dies quasi gleich-



Bild 7: Die „Primärwicklung“ ist auf eine einzige Winding zusammengeschrumpft!

zeitig als Sekundärwicklung und dazugehöriger Kurzschluss.

Zusammen mit der Information, dass der ‚halbe Transformator kern‘ bei der verwendeten Technologie eine Breite von 20mm hat und je nach Geräteleistung zwischen 20mm und 120mm lang ist, versteht man nun, wie es gelingt, örtlich begrenzt in das Material hinein zu wirken.

In der Umsetzung stellt man fest, dass die ‚Primärwicklung‘ quasi auf eine Windung degeneriert (Bild 7) ist – der Kupfer-Hohlleiter wird genau einmal durch den U-förmigen Feldverstärker geführt. Durch den Hohlleiter fließen übrigens Ströme bis ca. 1000A, deswegen ist der überwachte Durchfluss mit einer Kühlflüssigkeit unerlässlich.

Bei welchen Werkstoffen funktioniert dieser Effekt? Bei allen, die elektrisch leitfähig sind. Also beispielsweise alle Metalle, aber auch Silizium.

Der zweite, grundlegende Erwärmungseffekt funktioniert nur bei ferromagnetischen Werkstoffen, also beispielsweise bei einem Baustahl unterhalb des „Curie-Punktes“ (769°C, A2-Linie im Eisen-Kohlenstoff-Diagramm).

Hierbei richten sich die Elementarmagnete im Metall jeweils nach der Polung des angelegten Magnetfelds. Da dessen Richtung bei der Tiefeninduktion mit einem Frequenzbereich um die 15kHz je Sekunde 15.000 mal wechselt, entsteht bei dieser Umpolung eine Art Reibungswärme, die sogenannten Hystereseverluste.

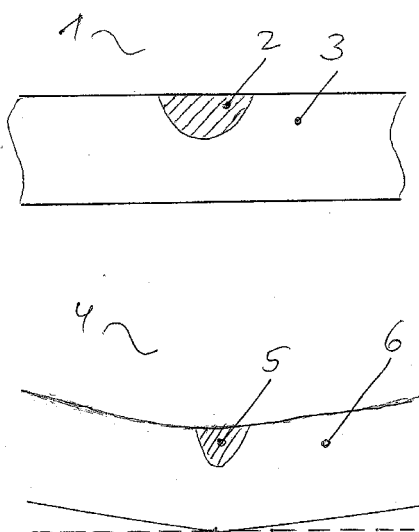
Damit ergibt sich die Situation, dass beispielsweise bei einem Baustahl beide Effekte wirken, bei Chromnickelstahl aber nur die Wirbelströme. Schon an dieser Stelle sei verraten, damit ist noch lange nicht gesagt, dass die Wirkung gerade an Chromnickelstahl so viel schlechter wäre!

2 Richten mit Tiefeninduktion

2.1 Richt-Grundlagen

Die Grundüberlegung ist folgende: Bei einer zu beseitigenden Deformation soll so materialschonend wie möglich Abhilfe geschaffen werden. Mit mechanischer Kraft bei Raumtemperatur zu richten, scheidet damit als erstes aus, da man damit das Material lokal über seine maximale Streckgrenze bringen muss und erhebliche Eigenspannungen verbleiben, die sowohl mit Wärme als auch durch Vibration freigesetzt werden und zum Effekt des „Zurückkehrenden Verzugs“ führen.

Die resultierende lokale Kaltverfestigung – speziell wenn man wie in der Praxis durchaus erst in die eine Richtung und dann korrigierend in die andere Richtung biegt - geht mit einer Versprödung einher, die je nach Material und Belastungsart durchaus zum Problem werden kann. Schlimmer noch: Wird dem gerichteten Werkstück später Energie zugeführt, kommt es durch Relaxierung von Eigenspannungen durchaus dazu, dass der Verzug wiederkommt. Beispiele gefällig? Warum wird ein perfekt gerichtetes Bauteil wieder krumm, wenn man es ins Feuerverzinkungsbad taucht? Und wieso führt ein LKW-Transport mit Vibrationen über ein paar Stunden dazu, dass das auf der Palette festgeschnallte Bauteil wieder deformiert?



Das großflächige Herabsetzen der Streckgrenze, um danach mit weniger mechanischer Kraft die für plastische Verformung erforderliche Biegespannung von außen aufzubringen (wärmeunterstütztes Biegen), dürfte aus energetischen und aus Zeitgründen nur im Ausnahmefall eine Option sein.

Mit der alten Handwerkskunst des Flammrichtens ist ein Zwischenweg gefunden, bei dem das Bauteil (1) lokal gewärmt wird und dadurch im Material eine Zone reduzierter Streckgrenze (2) geschaffen ist. Das umliegende Material (3) wird so wenig wie möglich erwärmt. Wenn dann noch in geeigneter Weise die notwendige thermische Ausdehnung dieser Zone verhindert - oder zumindest behindert - wird, kommt es dort zu einem Staucheffekt. Diesen an die richtige Stelle im Metall platziert, erreicht man eine Verformung des Bauteils. Ganz ohne externe Kräfte und Momente.

Die so gestauchte Zone hat nun im erwärmten Zustand die selben Ausmaße wie im kalten Ausgangszustand. Nach erfolgter Abkühlung

Bild 8: Thermischer Richtmechanismus auf Basis der verhinderten Ausdehnung

ist die Zone also kleiner als vorher (5), sie ist geschrumpft. Das Bauteil (4) hat nach diesem Vorgang durch die unterschiedliche Formänderung in der Stauchungszone (5) und dem umliegenden Material (6) die gewünschte Formänderung.

Da das nicht erwärmte Material seine volle Streckgrenze behält, hat dieses ein relativ großes Vermögen, die erwärmte Zone an der Ausdehnung zu hindern. Ob diese Eigendehnbehinderung ausreicht oder nicht, lässt sich daran ablesen, ob das Bauteil 'mitgeht', sich bei der Erwärmung also entgegen der gewünschten Formänderung verformt. Wenn das geschieht, ist das ein Zeichen dafür, dass die thermisch bedingte Ausdehnung der Erwärmungszone nicht oder nicht hinreichend verhindert wird. „Energieverschwendung“ ist die passende Vokabel dafür.

In so einem Fall ist es sinnvoll und erforderlich, durch externe Maßnahmen (verspannen, Auflegen von Gewichten etc) die Ausdehnung zu behindern. In der Realität trifft man leider immer wieder den Fall an, dass der Werker den mangelnden Richteffekt durch Steigerung der Temperatur (jenseits der Gefügeumwandlung und mit der Gefahr der lokalen Versprödung) auszugleichen versucht.

Damit ist das thermische Richten mit verhinderter Ausdehnung in der Theorie beschrieben. Zwei Zonen unterschiedlicher Temperatur und die thermische Ausdehnung der heißeren Zone wird verhindert, was zu einer Stauchung führt.

Die Realität weicht von der Theorie in einem wichtigen Punkt ab: die Temperatur der erhitzten Zone ist nicht gleichmäßig, da die Wärme mittels einer Autogenflamme nur mittels einer Übertemperatur an der Oberfläche eingebracht und über den Mechanismus der Wärmeleitung mit entsprechendem Zeitverzug in die Tiefe des Materials gebracht werden kann.

Ausserdem ist bei der Erwärmung mit der Flamme eine Erwärmung eines großen Bereichs um die gewünschte Zone herum durch die abgeleiteten Flammgase unvermeidlich.

Wichtiger Hinweis: Aufgrund der vorhandenen Eigenspannungssituation ist die benötigte Wärme für das Richten eines verzogenen Bauteils wesentlich geringer, als beim Versuch, ein gerades Bauteil im selben Umfang krumm zu machen!

2.2 Richten mit Tiefeninduktion

Der Gedanke, die nötige Wärme für den Richtvorgang nicht mit der Flamme von außen, sondern mit einem induktiven Effekt im Metall entstehen zu lassen, war naheliegend und ist nicht neu. An dieser Stelle ist aber ein Blick auf die entscheidenden Unterschiede der verschiedenen Induktionsverfahren erforderlich.

Entscheidend sind zwei Kriterien:

- Die PRIMÄRE WIRKTIEFE. Hochfrequenz- Induktionsverfahren lassen die Wärme grundsätzlich nur an der Oberfläche entstehen. Die ebenfalls verbreiteten Resonanz-Induktionsverfahren fangen zwar mit etwas Wirtiefe an, mit steigender Temperatur wird die Arbeitsfrequenz aber immer weiter angehoben, sodass es bei nennenswerter Temperatur wiederum nur zu einer Heizwirkung an der Oberfläche, dem sogenannten 'Skin Effekt' kommt. Die beiden genannten Verfahren sind übrigens das Mittel der Wahl, wenn es um das Oberflächenhärten geht.
- Die FELDKONZENTRATION. Hier spielt sowohl der Induktoraufbau in Bezug auf die Wärmeaufgabe eine Rolle, aber vor allem das Feldverstärkermaterial in Kombination mit der richtigen, elektrischen Anregung.

Aufgrund mangelnder Feldkonzentration hat man einerseits einen bescheidenen Koppelungsgrad, also wenig Wirkung bei viel Stromverbrauch. Andererseits wird der freundliche Herr von der Berufsgenossenschaft mit seinen Feldstärkemessgeräten festlegen, dass man entsprechend der Grenzwerte der DGUV Vorschrift 15 (früher BGV B11, Arbeitsschutzvorschrift für Gefährdung durch elektromagnetische Felder) metergroße Gefährdungsbereiche hat.

Etwas besser wird es, wenn zumindest einfache Feldkonzentratoren aus einem mehr oder weniger fortgeschrittenen Kernmaterial hoher Permeabilität (μ_r) und geringer elektrischer Leitfähigkeit verwendet werden.

Bei der Masse der seit den letzten 20 Jahren in der Praxis eingesetzten Induktionsrichtverfahren handelt es sich um Wärmeezeugung im oberen halben Millimeter des Materials.

Die Besonderheit der vorgestellten Tiefeninduktion besteht in der Kombination einer extremen Feldkonzentration durch einen Feldverstärker aus einem speziellen, amorphen Material, mit einer Anregung, die die Frequenz nicht

verändert und die durch eine Hypermagnetisierung einen unerwartet hohen Wirkungsgrad kombiniert mit einer großen Wirtiefe.

Damit lassen sich die vom Flammrichten prinzipiell bekannten Richtfiguren schnell und gezielt wärmen. Ein besonders ausgeprägter Temperaturunterschied zwischen der erwärmten und der nicht erwärmten Zone ist das wichtigste Charakteristikum.

Mit der vorgestellten Technologie erzielt man gegenüber der Erwärmung mit der Sauerstoff-verstärkten Flamme einen enormen Energiekostenvorteil. Bei Nutzung der Wärm- und Bewegungsmuster der Tiefeninduktion sind die Energiekosten typischerweise weniger als ein Fünftel dessen, was der Prozess mit der Flamme kostet. Im Gegenzug dazu ist die Investition in die benötigte Technologie höher als das, was man für die Anschaffung von Brenner und Gasversorgungs-/ Lagerungstechnologie veranschlagen muss. Voraussetzung ist in jedem Fall, die richtige Handhabung gezeigt zu bekommen und nicht einfach die Flamme nachzumachen.

2.3 Richten mit optimierter Dehn-/Eigendehnbehinderung

Da gibt es einen einfachen Geheimtipp: Nachmessen, wenn es am heißesten ist. Am Beispiel eines Trägers, der überhöht werden soll, sei das erklärt:

Der Träger liegt an seinen äusseren Enden auf. An einer Stelle nahe der Mitte macht man eine Markierung und misst den Abstand zum Boden. Dann bringt man das Wärmemuster so ein, wie man es für richtig hält. Nachmessen, wenn es am heißesten ist. Ist der Abstand GRÖßER geworden, ist das Bauteil „mitgegangen“. Also wurde die Ausdehnung der erwärmten Zone nicht hinreichend verhindert und wir sind wieder bei der oben erwähnten ENERGIEVERSCHWENDUNG. Das Schöne dabei: Nun kann man die Art der Wärmeeinbringung am (wieder abgekühlten) Bauteil variieren. Je weniger dieses beim Erwärmen mitgeht, desto besser wird der Richteffekt sein..



Bild 9: Thermischer Richtmechanismus auf Basis der verhinderten Ausdehnung

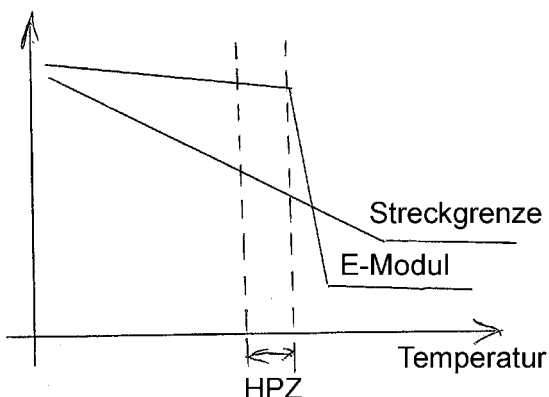
2.4 'Minimalinvasives Richten'

Die bisherigen Ausführungen gingen davon aus, dass man das, was man beim Flammrichten mit der Autogenflamme macht, mit dem Induktor mehr oder weniger nachempfunden wird.

Die erste prinzipielle Abweichung resultierte aus der Feststellung, dass man bei der Tiefeninduktion die überhöhten Temperaturen an der Oberfläche zur Beschleunigung der Wärmeleitung in die Tiefe bei dickem Material nicht mehr braucht. Hinzu kamen aber schon in den ersten Jahren der Nutzung in Einzelfällen wahrgenommene Fälle großer Richtwirkung bei erstaunlich niedrigen Temperaturen, die zunächst nicht reproduzierbar und nicht erklärbar waren.

Dass die STRECKGRENZE ($R_{p0.2}$) eines Metalls mit der Temperatur abnimmt, ist altbekannt - wahrscheinlich hat jeder schon mal einen Stahlstab über Rotglut erwärmt und dann mit wenig Kraft bleibend verformt.

Andererseits muss aber in der zusammengepressten, an der Ausdehnung gehinderten Zone erst einmal genügend Druckspannung entstehen, um die (wenn auch abgesenkte) Streckgrenze zu überschreiten. Denn externe Biegespannung ist beim Richten im Gegensatz zum Wärmeunterstützten Biegen nicht vorgesehen.



Also braucht es einen genügend hohen Elastizitätsmodul, der bei einem Metall quasi die Aufgabe einer Federkonstante übernimmt. Zu weit abgefallener E-Modul bedeutet zu wenig aufgebaute Druckspannung – bedeutet einen rein elastischen Effekt ohne bleibende Richtwirkung. Ein Blick auf den typischen Verlauf von Streckgrenze und E-Modul über der Temperatur erklärt, warum beispielsweise bei einem Baustahl ein Richteffektmaximum bei ca. 550°C entsteht.

Daraus resultiert nun die Definition einer 'Hyperplastizitätszone' (HPZ), innerhalb derer man die Streckgrenze schon reduziert, den Elastizitätsmodul aber noch so hoch wie möglich vorfindet.

Bild 10: Die Hyperplastizitätszone (HPZ)

3 Vorwärmen

3.1 Risikofreie Wärmeprozesse

Mit Hilfe der Tiefeninduktion gelingt es, in sehr kurzer Zeit und mit nur geringer Übertemperatur an der Werkstück-Oberfläche eine Durchwärmung im Bereich von z.B. 80..150°C zu erzielen. Die Wärmeanweisung legt dazu eine einzustellende Leistung fest und beispielsweise die Anweisung an den Werker, das Material nach leichten Anlauf-farben zu beobachten (diese können normalerweise sogar vermieden werden). Gemessen wird die Temperatur auf der Gegenseite.

Auf diese Weise sind in der Praxis hoch reproduzierbare Vorwärmprozesse entstanden, die auch an Feinkornstäh-len bis ultrahochfest, an Vergütungsstählen und Panzerstählen zur Anwendung kommen. Diese sind vor allem schnell und energieeffizient, lassen sich teilweise sogar direkt vorlaufend realisieren.

Dieser Vorgang wird zwischenzeitlich auch automatisiert ausgeführt. Teilweise führt ein Schweißroboter den Induk-tor, bei radialsymmetrischen Bauteilen findet man auch den fixierten oder an einer Linearführung befestigten Induk-tor, an dem das Werkstück vorbei gedreht wird.

Nur am Rande sei erwähnt, dass das Laserschweißen mit dieser Technologie ergänzt den Weg in viele Material-paarungen findet, die bislang als unschweisbar galten.

3.2 Verzugsvermeidungsstrategie - das 'freiwillige Vorwärmen'

Man könnte annehmen dass es darum geht, in möglichst vielen Fällen das Vorwärmen zu vermeiden. Zugegebe-nermaßen handelt es sich mit den gängigen Methoden um einen Arbeitsschritt, der

- zeitaufwändig ist
- hohe Energiekosten verursacht
- je nach Material mit dem Risiko der Materialschädigung durch zuviel Wärme einher geht

Betrachtet man den Vorwärmvorgang aber mit Tiefeninduktion, stellt man fest, dass durch die Anwendung der Tie-fenwirkung bei reduzierter Leistung ein sehr schnelles, risikofreies Vorwärmen mit nicht nennenswerten Energie-kosten möglich ist. Es sind gegenüber dem nicht vorgewärmten Fall natürlich deutlich reduzierte Schweißparameter zu verwenden.

Unter der Voraussetzung eines praktikablen Vorwärmverfahrens ohne die üblichen Nachteile wird man dann viele Schweißprozesse noch einmal überdenken müssen. Mit einer sinnvollen Vorwärmmethode entsteht der Verzug oft genug erst gar nicht. Es muss in jedem Fall klar sein, dass der Zeit- und Energieaufwand für das Vorwärmen einer Schweißnaht mit der neuen Technologie wesentlich geringer ist, als ein eventueller Richtaufwand in der Nachbe-handlung.

3.3 Energieumlagerung im Schweißprozess

Auch das hört sich absurd an: „Freiwilliges“ Vorwärmen und danach Energie aus dem eigentlichen Schweißpro-zess nehmen. Warum? Weil dadurch optimale Nahtqualität mit GERINGERER Gesamt-Streckenenergie erreicht wird und man beispielsweise noch einmal deutlich schneller schweißen kann.

Wie nimmt man Energie aus dem Schweißprozess? Bei WIG, E-Hand und den Strahlverfahren einfach den Strom / die Leistung zurückdrehen. Bei MAG und den verwandten Prozessen muss man hingegen den Stickout vergrößern (Gasdüse entsprechend vorschieben) und danach die Lichtbogenspannung wieder auf den Originalwert ohne Energieumlagerung korrigieren. Faustformel: 5mm mehr Stickout reduziert bei gleichem Lichtbogen die Strecken-energie um etwa 20%.

3.4 Unterwasser-Vorwärmen

Das beschriebene Verfahren ist betriebssicher auch unter Wasser zu nutzen. Hierbei bleibt das eigentliche Gerät an Land und nur der Induktor mit Schlauchpaket taucht unter. In dieser Anwendung wird die Oberflächentemperatur - bedingt durch die ständige Wasserkühlung - zwar kaum über 80°C steigen. Der positiven Wirkung auf den Schweißprozess tut das aufgrund der darunter liegenden, großen Wärmezone aber keinen Abbruch.

4 Sonderanwendungen

4.1 Demontage verrosteter Komponenten

Das Erhitzen einer verrosteten Mutter mit einer Flamme gilt als alteingesessene Handwerkskunst. Und wenn nicht gerade Einschränkungen aufgrund umliegender, hitzeempfindlicher Bauteile bestehen, bekommt man die Verbindung normalerweise gelöst. Jedoch muss man schnell sein - sobald die Mutter abgekühlt ist, geht nichts mehr. Wer sich ungeschickt anstellt und mehrere Wärmephasen braucht, dem droht die Katastrophe: Festgefressen.

In Wirklichkeit handelt es sich sehr oft gar nicht um 'Fressen', also das Einbringen von Schmutz oder Fremdkörpern ins Gewinde. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass jeder Glühvorgang die Mutter **SCHRUMPFEN** lässt. Die Erklärung findet sich weiter vorn im Dokument, wo einem die verhinderte Ausdehnung erklärt wird.



Bild 11: Rost zerstören ohne Glühen

Die Alternative: Mit Tiefeninduktion und genügend Leistung wird die Mutter großflächig und gleichmäßig sehr schnell auf maximal 200°C erhitzt - es glüht nicht. Dies geschieht so schnell, dass es zu einer Ausdehnung der Mutter kommt, während die Schraube noch wesentlich kühler ist. Die Folge: Der Rost ist weg und bleibt es. Selbst nach kompletter Abkühlung läuft die Mutter noch ganz leicht. Undenkbar mit rein oberflächlich wirkenden Wärmeverfahren, da dann die Temperaturänderungsgeschwindigkeit im Gewinde so langsam ist, dass dem Rost nichts passiert.

Dass dabei eine eventuelle Vergütung des Schraubenmaterials noch nicht einmal angelassen, geschweige denn aufgehärtet wird, sei nur der Vollständigkeit halber angemerkt.



Bild 12: Bolzen und Schrauben durch schnelle Erwärmung im Rost freidrücken

Unter Verwendung der beschriebenen Technologie gelingt auch ein handwerklich noch nicht sehr bekannter Kniff: Das Lösen von festgebackenen Schrauben und Bolzen durch Wärme 'vom Kopf her'. Hierbei wird dafür gesorgt, dass die Schraube ihrer kompletten Länge entlang jeweils für eine kurze Zeit um mindestens 100K heißer ist als das umliegende Material. Erfolg dieser ungewöhnlichen Methode, die mit einer Flamme nicht (und mit Induktion ohne Tiefenwirkung nur ganz ein-geschränkt) nachvollziehbar ist: Die Schraube drückt sich im Rost frei - nach Abkühlen lässt sie sich leicht entfernen.

4.2 Lösen von Gewindekleber

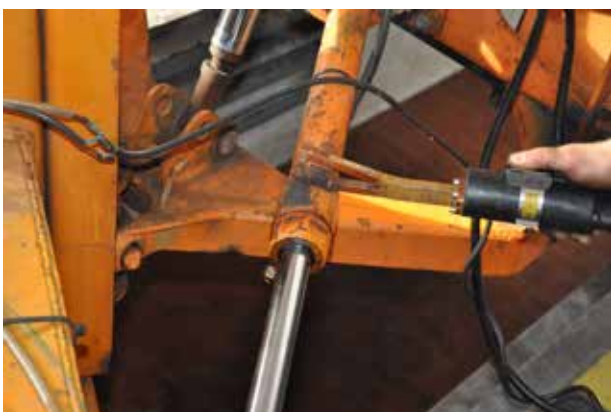


Bild 13: Schnelles und fachgerechtes Lösen von Gewindekleber mit Tiefeninduktion

Bei dynamisch beanspruchten Konstruktionen ist die Herausforderung bei geschraubten Verbindungen klar: Ein Losvibriren muss verhindert werden.

Neben diversen Sicherungselementen ist die Verwendung von Gewindesicherung ('Loctite') ein probates Mittel in der Fertigung. Wann immer aber zu Service-Zwecken die Verbindung wieder gelöst werden muss, geht die Sache nach hinten los. Nicht selten werden Schraubenköpfe rundgedreht oder reißen gar ab.

Die Abhilfe: Bei erhöhten Temperaturen zersetzt sich der Kleber. Normalfeste Gewindesicherung braucht dazu etwa 90°C, bei der hochfesten Variante sind es aber an die 200°C, die in der kompletten Tiefe der Schraube gebraucht werden. Eine ideale Anwendung der Tiefeninduktion.

4.3 Enthärten thermischer Schnittkanten

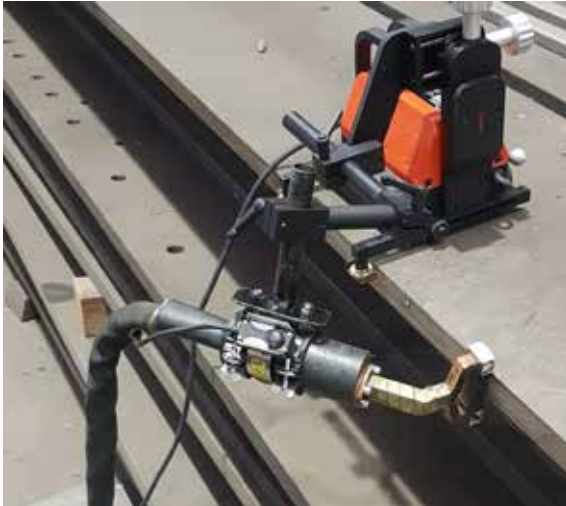


Bild 14: Das Enthärten von thermischen Schnittkanten geht mit Tiefeninduktion schnell und einfach, sogar mechanisierbar

Achtung, Missverständnis! Auf keinen Fall geht es darum, auf Biegen und Brechen die Härte einer Laser-/Brennschnitt-/Plasma-schnittkante abzusenken, nur weil derlei in der DIN EN 1090 gefordert war.

Es muss klar sein, dass diese Härte an einer Kante, die im Zuge einer Schweissnaht ohnehin aufgeschmolzen wird, keine Rolle spielt.

Da bleiben aber zwei wichtige Fälle übrig, in denen diese Härte von großer Bedeutung ist und nicht zu hoch sein darf.

Erstens – wenn die Kante in irgend einer Weise bearbeitet wird – und wenn nur ein Loch hinein zu bohren ist. Aufgrund der erhöhten Härte hat man extremen Werkzeugverschleiss.

Zweitens – mal angenommen, die Kante soll ohne weitere Bearbeitung so bleiben und muss nur noch beschichtet werden.

In diesen Fällen zahlt sich der geringe Aufwand aus, einmal mit ca. 60cm/min mit dem Induktor samt Teflonkappe über die Kante zu fahren und diese damit „blau anzumalen“.

4.4 Nachbearbeitung beim Feuerverzinken



Bild 15: Das „Zinkbügeleisen“

Bauteile, die aus dem Zinkbad kommen, haben immer diverse Fehlstellen, die es nach zu bearbeiten gilt. Seien es nun Ansammlungen von Zink, Tropfnasen (die auch spitz und messerscharf sein können!) oder gar teilweise verschlossene Bohrlöcher. Auch hier kann man mit Tiefeninduktion schnell und nachhaltig Abhilfe schaffen.

Die Teflonkappe und eine passende Leistungseinstellung geht dabei mit leichter Bewegung des Induktors einher. Nach 10 Minuten Üben ist das leicht beherrschbar.

Der Vorteil im Vergleich zum üblichen Wegschleifen mit dem Winkelschleifer: Weniger Krach, weniger toxischer Staub und vor allem liegt der Restzink in relativ großen Flecken auf dem Boden und kann mit wenig Aufwand sogar recycelt werden.

5 Zusammenfassung

Tiefeninduktion ist nun seit 2011 im Industrieinsatz. Anfänglich schon einfach nur in der Substitution der Flamme erfolgreich, ergaben sich im Lauf der Zeit immer wieder grundlegend neue Einsatzmöglichkeiten für die industrielle (schweißtechnische) Fertigung, die große Potenziale zur Kosten- und Energie-/CO₂-Ersparnis und zum Ergonomiegewinn bieten und zum großen Teil mit anderen Wärmequellen gar nicht realisierbar wären.

Zwar kann man mit Tiefeninduktion beispielsweise auch Grobkorn erzeugen, wenn man alles falsch macht! Bei aber auch nur halbwegs richtiger Anwendung ist die Sicherheitsmarge aber wesentlich höher als man das mit der Flamme oder herkömmlicher Induktion kennt.

Schrifttum

[1] Der Praktiker 1/2-2022 S.22-28

[2] Der Praktiker 9-2021 S.421-426

[3] Der Praktiker 5-2021 S. 210-216

[4] SCHWEISSEN+SCHNEIDEN 10/2014 S. 606-609

[5] GSI: Schweissfachingenieurlehrgang Teil 3 HG 3 Kap. 3.02-2

[6] GSI: Schweissfachingenieurlehrgang Teil 3 HG 4 Kap. 4.03

[7] www.vauquadrat.com