

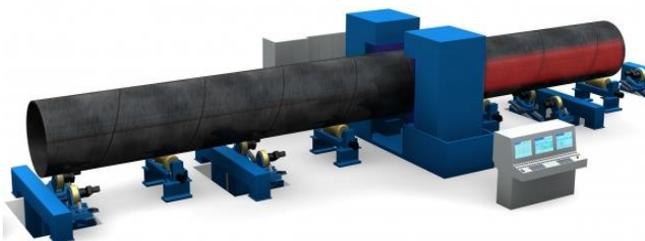
Entmagnetisieren von grossflächigen Objekten als Prozessvorbereitung vor Schweissverfahren



Entmagnetisieren von Konstruktionsrohren



Entmagnetisieren einer Trägerstruktur



Konzept automatisierte Entmagnetisieranlage für Grossrohre
Maurer Magnetic AG & Schuler Pressen GmbH

Maurer Magnetic AG
8627 Grüningen
Switzerland

Einführung

Dieses White Paper gibt einen Überblick über bekannte Entmagnetisierverfahren im Umfeld der Schweissprozesse. Zur Entmagnetisierung von grossflächigen Objekten eignen sich diese Verfahren jedoch nur bedingt. Für diese Anwendungsfälle wird hier eine neue Methodik zur vollständigen Entmagnetisierung von grossflächigen Stahlstrukturen vor der Endmontage eingeführt.

Beispiele von grossflächigen Stahlstrukturen:

- Konstruktionsrohre und Pipelines
- Schiffsmodule
- Offshore Module
- Druckbehälter und Tanks
- Brückenträger und Fachwerke
- Stahl-Panele
- Wärmetauscher

Durch Fertigungs- und Handlingsverfahren werden die Rohbau-Stahlkomponenten oft magnetisiert. Verfahren wie magnetische Rissprüfung, Schweissprozesse, Umformung, Plasmaschneiden und Flusskonzentration aufgrund induzierter Magnetfelder (Erdmagnetfeld) magnetisieren Stahlkomponenten. Beim Handling sind es vor allem elektromagnetische oder permanentmagnetische Lasthebemagnete, die den Stahl magnetisieren [1].

Hochfeste Konstruktionsstähle lassen sich tendenziell stärker magnetisieren als solche niedriger Festigkeit, was auf die relativ hohen Koerzitivfeldstärken von feinkörnigen Stahlwerkstoffen zurückzuführen ist. Hohe Nickelanteile (z.B. 9% Ni-Stahl für LNG-Tanks) bewirken ebenfalls stärker magnetisierbare Stähle [3]. Lokale Gefügeveränderungen rufen erfahrungsgemäss Stellen mit hohen Koerzitivfeldstärken hervor.

Dies führt dazu, dass Stellen oder ganze Flächenanteile des Stahlmaterials einen erhöhten Restmagnetismus aufweisen. Der Restmagnetismus tritt am Übergang vom Material zur Luft in Erscheinung und kann an diesen Stellen als magnetische Feldstärke gemessen werden. An vorspringenden Kanten und Engstellen sind die Feldstärken aufgrund von Flussbündelungseffekten stark erhöht. Der Restmagnetismus kann auch in geschlossenen Magnetkreisen im Material verlaufen, wie dies oft in Unter-Pulver geschweissten Rohren (UP-Schweissen) der Fall ist. Er verläuft geschlossen im Umfang des Rohres und wird erst bei einer unregelmässigen Form der Rohrenden oder Aussparungen im Material als austretende Streufeldstärke erkennbar.

Erhöhter Restmagnetismus bringt in der weiteren Verarbeitung und in Hinblick auf die Lebensdauer der Endkonstruktion Nachteile.

In der weiteren Verarbeitung sind folgende Prozesse betroffen:

- Schweissprozesse
- Zerstörungsfreie Prüfung (Wirbelstromverfahren, Röntgenverfahren)
- Vorbereitende Verfahren vor Beschichtungsprozessen (Kugelstrahlen, Partikelprobleme)

Im Bereich der Lebensdauer:

- Untersuchungen zeigen eine erhöhte Anfälligkeit auf Wasserstoffversprödung (gem. Forschungsberichten [6, 7])

Stand der Technik im Umgang mit störenden Magnetfeldern bei Schweissverfahren

Die häufigste Problematik mit zu hohem Restmagnetismus an Stahlobjekten ist die Störung von Schweissprozessen. Das Phänomen ist als „magnetische Blaswirkung“ bekannt. Das magnetische Gesamtfeld im Schweisspalt bewirkt durch Lorentzkraft eine Ablenkung des Lichtbogens [4].

Verwendete Bezeichnungen für Magnetfelder (Begriffserläuterung):

- Umgebungsfeld H_u :** Das Umgebungsfeld (Erdmagnetfeld) induziert im Stahlobjekt einen magnetischen Fluss.
- Restmagnetismus B_r :** Im Stahl vorhandene Remanenz (Restmagnetismus).
- Schweisstromfeld H_s :** Durch Schweisstrom entstehendes Magnetfeld (Masse-Rücklaufstrom).
- Gegenfeld H_g :** Von einer Gleichstromquelle erzeugtes und einstellbares Magnetfeld, das im Schweisspalt wirkt.
- Gesamtfeld H_{tot} :** Die im Material verlaufenden magnetischen Flüsse sowie die äusseren Magnetfelder bewirken im Schweisspalt ein Gesamtfeld. Das Gesamtfeld ergibt sich als Summenfeld der einzelnen Magnetfeld-Anteile (für Magnetfelder gilt das Superpositionsprinzip).

Die Ablenkung des Lichtbogens wird verhindert durch weitgehende Reduktion des Gesamtfeldes im Schweisspalt. Die im Stahl verlaufenden magnetischen Flüsse spielen im Hinblick auf magnetische Blaswirkung keine direkte Rolle, sie bewirken aber die Magnetisierung von grösseren Flächenbereichen des Stahls.

Zur Verringerung des im Schweisspalt wirkenden Gesamtfeldes werden neben schweisstechnischen Massnahmen, wie z.B. dem Verändern der Schweissparameter oder Umplatzen der Masse, nachfolgende Verfahren eingesetzt: *Gegenfeld-Verfahren:* Das Gesamtfeld wird mit einem gezielten Gegenfeld neutralisiert. *Knock-Down-Verfahren:* Es wird ein Gegenfeld appliziert, so dass sich nach Entfernung dieses Gegenfeldes kein Gesamtfeld mehr einstellt. *Entmagnetisierungs-Verfahren:* Das Material wird durch Wechselfeld-Umpolung entmagnetisiert.

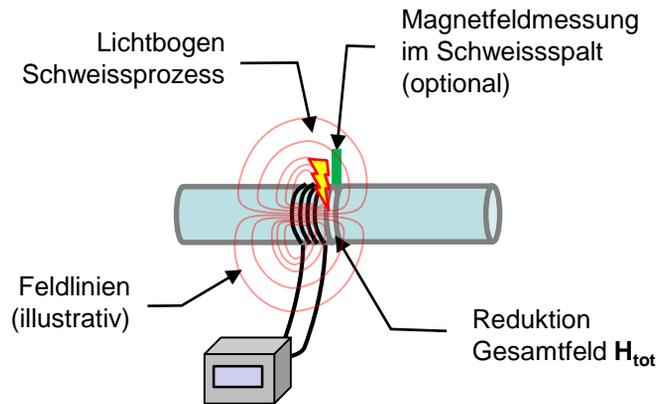
Gerätemodule		Gegenfeld-Verfahren	Knock-Down-Verfahren	Entmagnetisierungs-Verfahren
Stromquelle 	Schweisgleichrichter bzw. Standard Gleichstromquelle	Ja	Ja	Nein
	Geregelte, umpolbare Gleichstromquelle	Ja	Ja	Ja
	Sinus-Wechselstromquelle hoher Leistung	Nein	Nein	Ja
Spule 	Aufgewickelte Spule aus flexiblen Kabeln	Ja	Ja	Ja
	Aufgewickelte Spule auf starrem Rahmen	Ja	Ja	Ja
	Klammerspule	Ja	Ja	Bedingt

(Auf stationäre Entmagnetisierungsverfahren wird hier nicht eingegangen).

Einsatzbeispiele von Gegenfeld-, Knock-Down- und Entmagnetisierungsverfahren

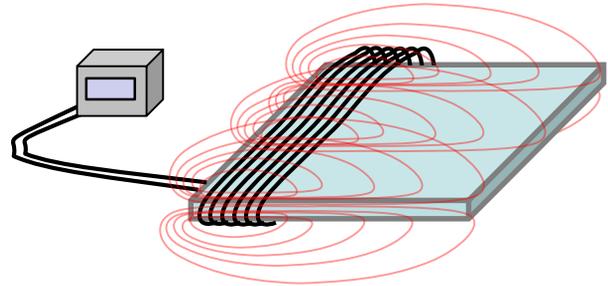
Aus Kabeln umwickeltes Objekt nahe der Schweißnaht: **Umfangwicklung**

- Gegenfeld-, Knock-Down- oder Entmagnetisierungsverfahren einsetzbar.
- Es wird nur der Stahlteil in unmittelbarer Nähe der Wicklung magnetisch beeinflusst (gilt für alle Beispiele).
- Erheblicher Wickelaufwand.
- Bei Einsatz von Klammerspulen oder Rahmenspulen reduzierter Wickelaufwand.



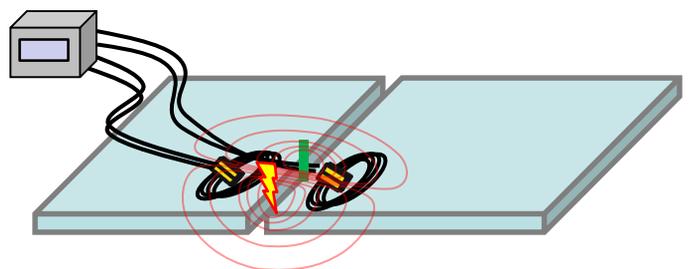
Umfangwicklung an einem Plattenende:

- Entmagnetisierungsverfahren oder Knock-Down-Verfahren einsetzbar.
- Nur mit Kabelspulen realisierbar, erheblicher Wickelaufwand.
- Entmagnetisierung des ganzen Objekts erfordert Umpositionieren und neu Wickeln der Spule.



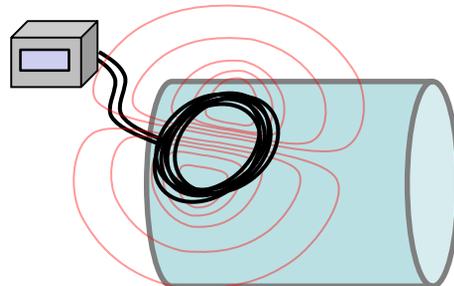
Aus Kabeln gewickelte Spule aufgelegt auf der Oberfläche des Objekts: **Aufgewicklung**

- Gegenfeld-, Knock-Down- oder Entmagnetisierungsverfahren einsetzbar.
- Spulen müssen häufig umpositioniert-, aber nicht neu gewickelt werden.



Aufgewicklung an einem Rohrende:

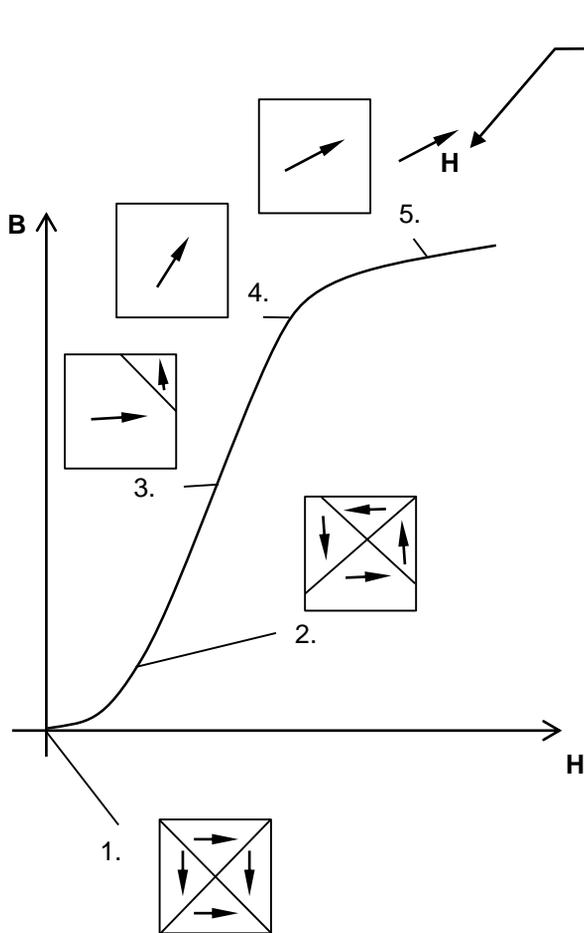
- Entmagnetisierungsverfahren oder Knock-Down-Verfahren einsetzbar.
- Entmagnetisierung des ganzen Objekts erfordert nur Umpositionieren der Spule, ohne neu wickeln zu müssen.



Der magnetische Zustand im Material

Der magnetische Zustand (Domänenstruktur) im ferromagnetischen Material lässt sich mit einer Betrachtung der magnetischen Neukurve verdeutlichen. Die Neukurve beschreibt die Magnetisierungsvorgänge im Material in Abhängigkeit vom angelegten Feld H .

Die Domänen bestehen aus bis zur Sättigung magnetisierten Zonen, die durch Wände (Blochwände) begrenzt sind. In der Blochwand dreht sich die Magnetisierungsrichtung der angrenzenden Domänen. Bei grösser werdender Feldstärke H dreht sich die Magnetisierungsrichtung der Domänen zunehmend in Richtung des äusseren Feldes H , so dass die Blochwände als Domänengrenze verschwinden. Bei vollständiger Sättigung existiert nur noch eine grosse Domäne.



H : Summe aller von aussen auf das Material wirkenden Magnetfelder

Neukurve $B(H)$ gem. [8]

1. unmagnetischer Zustand* mit Flussschluss-Struktur (es tritt kein magnetischen Streufluss aus).
2. reversible Wandverschiebungen.
3. irreversible Wandverschiebungen.
4. Wandverschiebungen werden beendet, reversible Drehprozesse.
5. weitere Steigerung der Flussdichte B mit Einmünden in die Sättigung nur noch durch Drehprozesse der Polarisation.

* Dieser Zustand wird nur durch Glühprozesse oder durch Wechselfeld-Entmagnetisierung erreicht. Das Material wird aus der magnetischen Sättigung durch eine hohe Anzahl Umpolungen abnehmender Amplitude wieder in den unmagnetischen Ursprung zurückgeführt.

Darstellung der magnetischen Domänenstruktur:

Pfeil: Magnetisierungsrichtung der Domäne

Linie: Domänen-Grenze = Blochwand

(Grösse magnetische Domäne: ca. $10\mu\text{m}$ bis 1mm)

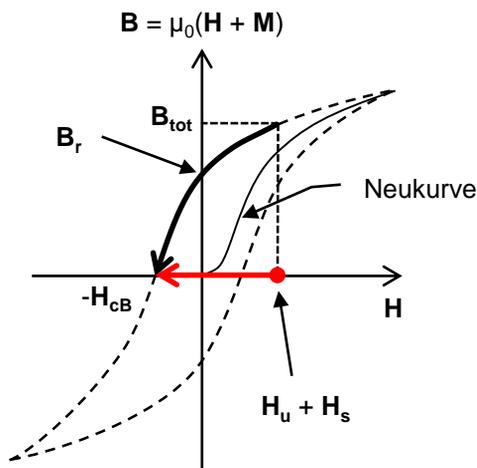
Die nachfolgend beschriebenen Gegenfeld-, Knock-Down und Entmagnetisierungsverfahren referenzieren auf die Neukurve.

Beschreibung der Verfahren inkl. Vor- und Nachteilen

1) Gegenfeld-Verfahren

Bei dieser Methode wird versucht die störenden Magnetfelder im Schweisspalt durch gezielte Gegenfelder zu neutralisieren. An der Gleichstromquelle (z.B. Schweissgleichrichter) wird ein Gleichstrom eingestellt, der in der gewickelten Spule das Gegenfeld erzeugt. Dieses Gegenfeld überlagert sich mit dem störenden Gesamtfeld im Schweisspalt. Bei einem bestimmten Spulenstrom kann das Gesamtfeld im Optimalfall weitgehend neutralisiert werden.

Im Material passiert folgendes:



Hysteresekurve des Stahlmaterials

- Erläuterungen H_g , H_u , H_s , B_r siehe Seite 3.
- Koerzitivfeldstärke der magnetischen Flussdichte: H_{cb}
- Gegenfeld $H_g = H_u + H_s + H_{cb}$. Der Gesamtfluss B_{tot} wird im von der Spule umwickelten Stahlbereich in die Nähe von null gedrückt.
- Das Gegenfeld bleibt während dem Schweissprozess eingeschaltet.
- Nach Entfernung des Gegenfeldes baut sich wieder der Gesamtfluss B_{tot} auf.

Schweisspalt

- Im Schweisspalt stellt sich das Gesamtfeld als Überlagerung des Streuflusses* und der umgebenden Felder dar (in der Grafik nicht dargestellt).

* Als Streufluss werden aus dem Stahl austretende Feldlinien bezeichnet.

Vorteile

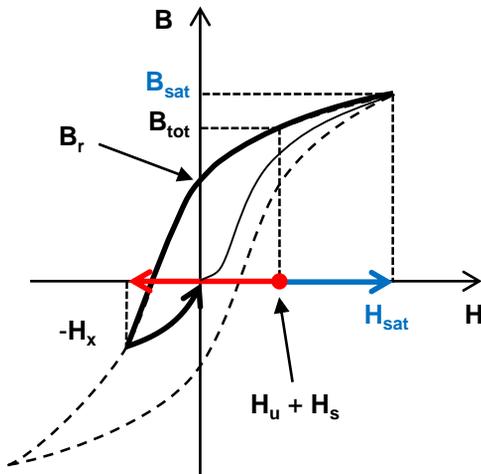
- Umsetzbar mit herkömmlichem Schweißequipment. Benötigt wird ein einstellbarer Schweissgleichrichter und Schweisskabel ausreichender Länge.
- Die Methode kann theoretisch jedes in der Praxis vorkommende Gesamtfeld neutralisieren.

Nachteile

- Ohne Einsatz von Magnetfeld-Messung im Schweisspalt ist es schwierig, das richtige Gegenfeld einzustellen. Dies führt zu einer „Trial and Error“ Methode mit entsprechend geringer Produktivität und Qualität.
- Bei unregelmässig verlaufender Gesamtfeldstärke im Schweisspalt muss mehrfach nachjustiert werden.
- Die Spulenwicklung kann nicht in jedem Fall aufgebracht werden.
- Neuere Schweissgeräte basieren auf Invertertechnologie mit gepulstem Schweissstrom. Damit lässt sich die Gegenfeldmethode nicht ohne weiteres umsetzen.
- Das Material ist nicht entmagnetisiert (Zustand 3. in der magnetischen Neukurve, siehe Seite 5).

2) Knock-Down-Verfahren

Bei dieser Methodik wird der umwickelte Stahlbereich zunächst in einer Richtung möglichst bis zur Sättigung magnetisiert. Dadurch werden mehrpolige Felder vor dem Knock-Down gleichgerichtet. Danach wird ein definiertes Gegenfeld aufgebracht, so dass nach Entfernung des Gegenfeldes das Gesamtfeld im Schweisspalt auf null abfällt [9].



Hysteresekurve

- Erläuterungen H_g , H_u , H_s , B_r siehe Seite 3.
- H_x : Feld, bei welchem der Fluss B nach Entfernung von H_g null wird.
- Das Material wird zunächst bis zur Sättigung magnetisiert (B_{sat} , H_{sat}).
- Einstellung Gegenfeld $H_g = H_u + H_s^* + H_x$.
- Das Gegenfeld wird während dem Schweißprozess ausgeschaltet.
- Nach Entfernung des Gegenfeldes bleibt der Gesamtfluss B_{tot} (eine gewisse Zeit lang) in der Nähe von null.

* In der Praxis wird zur Bestimmung des Gegenfeldes das Schweißstromfeld H_s häufig weggelassen.

Schweisspalt

- Im Schweisspalt stellt sich das Gesamtfeld als Überlagerung des Streufusses und der umgebenden Felder dar (in der Grafik nicht dargestellt).

Vorteile

- Das Gegenfeld und die Spule kann nach dem Knock-Down-Verfahren entfernt werden.
- Die Schweißstellen können mit diesem Verfahren vorgängig für den Schweißprozess vorbereitet werden (z.B. durch Einsatz von Entmagnetisiereteams).

Nachteile

- Nach einer gewissen Zeit stellt sich im Stahl wieder eine erhöhte Magnetisierung ein, weil die mit dem Knock-Down-Verfahren nicht beeinflussten magnetischen Zonen das benachbarte Material wieder magnetisieren (typischerweise nach ca. 1-2 Stunden).
- Bei starken äusseren Feldern kann mit diesem Verfahren alleine das Gesamtfeld nicht eliminiert werden. Der Einsatz des Gegenfeldverfahrens wird zusätzlich notwendig.
- Das Material ist nicht entmagnetisiert (Zustand 3. in der magnetischen Neukurve, siehe Seite 5).

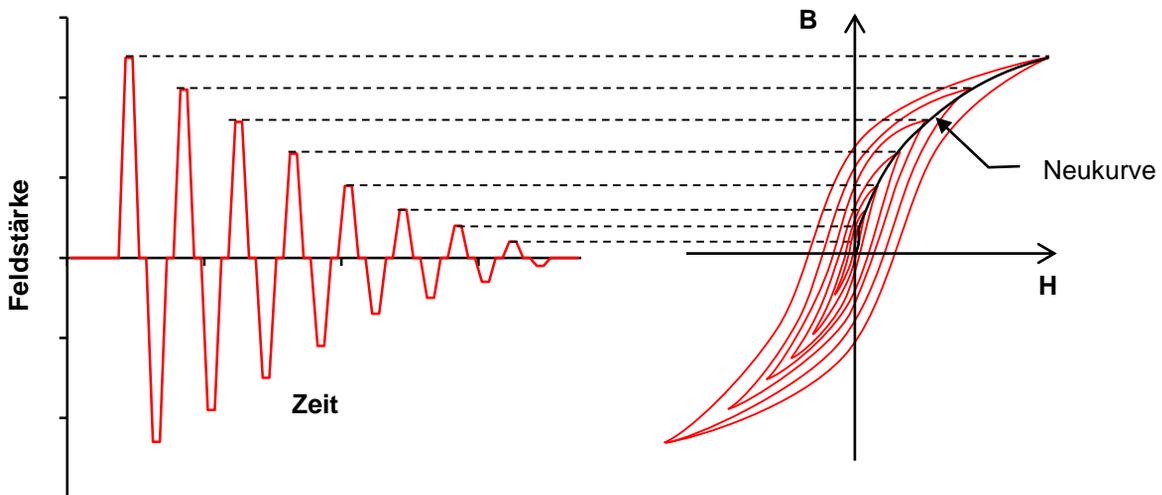
3) Entmagnetisierungs-Verfahren

Bei dieser Methode werden in Spulen magnetische Wechselfelder abnehmender Amplitude generiert. Die Stromquelle erzeugt dazu Ströme abnehmender Amplitude. Das Verfahren bewirkt eine Entmagnetisierung des Materials durch die sukzessive-Verkleinerung der Hysteresekurve. Magnetisch wird der Stahl zunächst möglichst voll magnetisiert (Gleichrichten aller magnetischen Domänen). Danach wird durch laufende Umpolung mit abnehmender Amplitude eine statistische Verteilung der Domänen-Magnetisierungsrichtung erreicht [10].

Die Güte des Prozesses hängt von folgenden Parametern ab:

- Maximale Feldstärke (zur magnetischen Sättigung des Materials).
- Frequenz der Umpolung (tiefe Frequenz für mehr Eindringtiefe).
- Grösse des erzeugten Magnetfeldes (grösse Wirkbereich).
- Homogenität des Wirkbereiches (Gleichmässigkeit des Feldes innerhalb Wirkbereich).
- Abnahmepräzision (kleines Dekrement der Amplitude [10] und hohe Genauigkeit der Feldsymmetrie).

3.1) Entmagnetisierung durch Gleichfeld-Umpolung



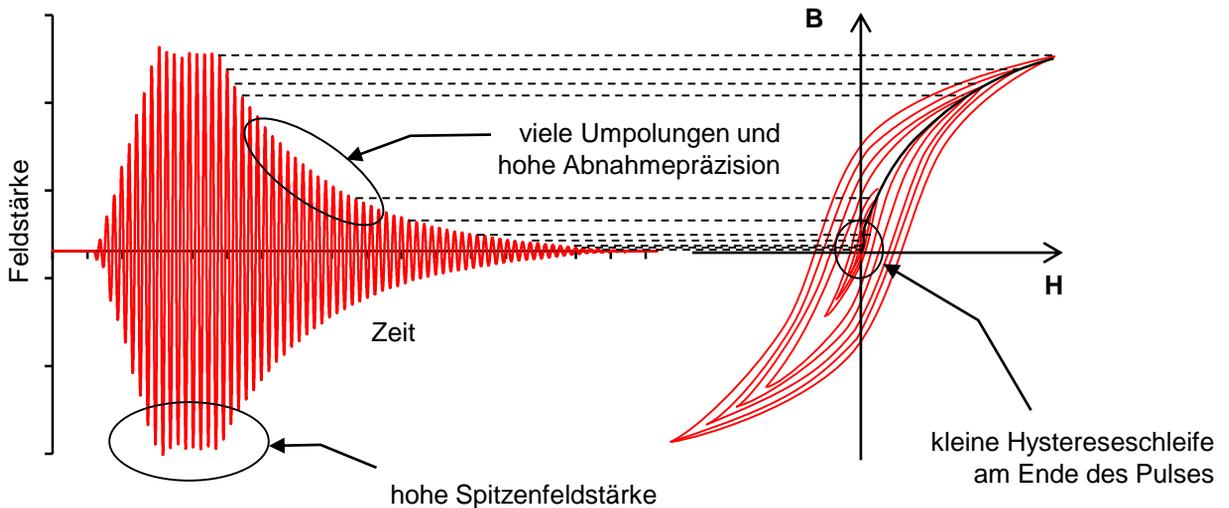
Vorteile

- Das Material ist entmagnetisiert (Zustand 1. bis 3. in der magnetischen Neukurve, siehe Seite 5).
- Erfordert keine Einstellung und Justierung am Generator. Prozess-Auslösung per Taste.

Nachteile

- Relativ lange Dauer des Entmagnetisierzyklus (ca. 30s bis 3min, je nach Stromquelle).
- Bei Geräten aus der Praxis führt die lange Zyklusdauer zu einer verhältnismässig hohen Strom-Einschaltdauer. Dadurch wird eine hohe Erwärmung im Leiter bewirkt und das Erzeugen von hohen Spitzen-Feldstärken ohne erweiterte Kühlungsmaßnahmen der Spule verunmöglicht.
- Die vollständige Entmagnetisierung von grossflächigen Objekten wird dadurch sehr zeitintensiv.
- Der Magnetismus kann nicht in jedem Fall beseitigt oder genügend reduziert werden. Mögliche Gründe dafür sind eine zu geringe Wirkung der Entmagnetisierung oder das Verbleiben von induzierten Magnetfeldern grosser Intensität.

3.2) Entmagnetisierung durch Sinuspuls hoher Feldstärke



Nachfolgende Puls-Parameter wurden in praktischen Versuchen eruiert und werden vorzugsweise zur Entmagnetisierung von grossflächigen Stahlobjekten (bis ca. 60mm Wandstärke) eingesetzt:

- Hohe Feldstärke (ca. 50...100kA/m) zur Umpolung hartmagnetischer Zonen und zur Erhöhung der Eindringtiefe.
- Entmagnetisierungsfrequenz ca. 5...20Hz.
- Pulsdauer ca. 6...20s, abhängig von der Entmagnetisierungsfrequenz.
- Spule mit ausreichend grossem Wirkungsbereich (Durchmesser ca. 600...1'000mm). Dies wird benötigt, um im Material verlaufende, geschlossene Magnetkreisläufe erfolgreich zu unterbrechen und ein Verschieben von Magnetismus im Material zu verhindern.
- Sinusschwingung hoher Abnahmepräzision. Dadurch wird ferromagnetisches Gefüge mit grober Domänenstruktur bestmöglich aufgebrochen und fein aufgelöst.

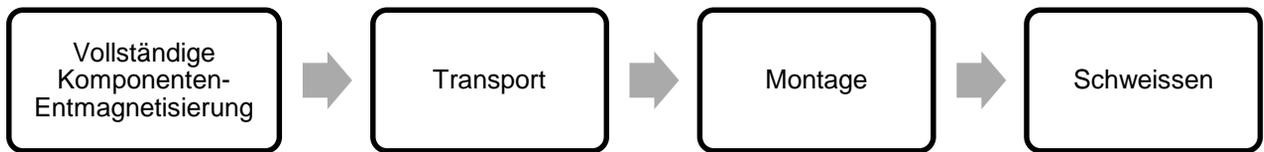
Vorteile

- Das Verfahren ist schnell, deshalb eignet es sich zur Puls-Entmagnetisierung von grossen Stahlflächen.
- Das Material ist optimal entmagnetisiert (Zustand 1. in der magnetischen Neukurve, siehe Seite 5).
- Das Verfahren erfordert keine Einstellung oder Justierung an der Stromquelle. Pulsauslösung per Taste, äusserst einfache Bedienung und Handhabung.

Nachteile

- Der Magnetismus kann nicht in jedem Fall beseitigt oder genügend reduziert werden (identische Gründe zum vorangehenden Verfahren 3.1)).
- Das Verfahren erfordert einen elektrischen Anschluss höherer Leistung, was den Einsatz im Feld erschwert.

Entmagnetisieren von grossflächigen Teilkomponenten vor dem Zusammenbau



Diese Methode wurde in der Vergangenheit bereits eingesetzt, allerdings oft mit beschränktem Erfolg. Die Gründe dafür werden mit zu geringer Wirkung der Entmagnetisierverfahren oder mit der zu umständlichen und zeitintensiven Durchführung beschrieben [1, 5].

Maurer Magnetic AG hat die Entmagnetisierung von Teilkomponenten mit dem vorangehend beschriebenen Verfahren *Entmagnetisierung durch Sinuspuls hoher Feldstärke* und einer neuen Methodik mehrfach erfolgreich eingesetzt. Das Verfahren ist durch mehrere Patente geschützt.

Das Verfahren eliminiert die Magnetisierung (Restmagnetismus) der kompletten Teilkomponenten.

Nicht verhindert wird, dass äussere Felder weiterhin magnetische Flüsse im Bauteil induzieren. Die Flussdichte ist abhängig von Material, Geometrie und der Feldstärke des anliegenden Feldes. In Extremfällen kann das induzierte Feld trotz vorheriger kompletter Entmagnetisierung Schweisssprozesse immer noch stören.

Im Weiteren ist bekannt, dass insbesondere DC oder hybride DC/AC Schweisssverfahren das Potential haben, Stahl wieder zu magnetisieren [1]. In Ausnahmefällen reicht deshalb die vorgängige Entmagnetisierung der Komponenten alleine nicht aus, so dass sensible Schweisssprozesse mit der vorgängig beschriebenen Gegenfeldmethode 1) unterstützt werden müssen.

Entwicklungen im Bereich der Schweissttechnologie (AC-Verfahren, z.B. G-FCAW-AC, Tandem-Wire DC/AC) führen jedoch zunehmend zu stabileren Lichtbögen, so dass auch bei höheren magnetischen Feldstärken geschweisst werden kann [2].

Gesamtheitlich betrachtet bewirkt die hier beschriebene Methode Vorteile bezüglich anschliessenden Schweisssverfahren und zerstörungsfreien Prüfungen mit Wirbelstrom oder Röntgen, und sie reduziert die Anfälligkeit auf Magnetkorrosion [6, 7]. In Verbindung mit anschliessenden nicht- bzw. schwach magnetisierenden Fertigungsverfahren werden diese Vorteile in die Endkonstruktion übernommen.

Gerätemodule zur Entmagnetisierung von grossflächigen Teilkomponenten

Die Entmagnetisiermaschine besteht aus einem Leistungsmodul der Baureihe MM DM /-P /-PC. Die Spule wird aus zwei bis drei flexiblen Entmagnetisierungskabeln aufgewickelt, vorzugsweise Kabeltyp K8/10-30 zu je 30m Kabellänge. Dieses Kabel beinhaltet 8 Leiter und ist mehrfach verkoppelbar. Bei Einsatz von 3 Kabeln ergibt sich eine gesamte Leiterlänge von ca. $3 \times 30 \times 8 = 720\text{m}$, die zu einer Spule von ca. 1m Durchmesser aufgewickelt werden.

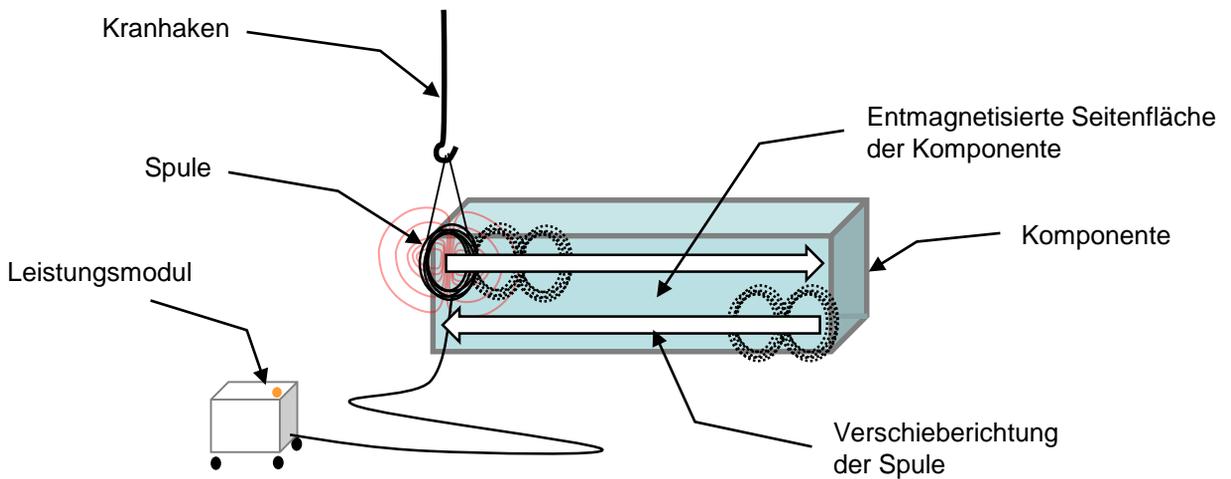
Bei maximaler Stromstärke erzeugt ein Leistungsmodul MM DM200 an 3 Kabeln eine Leistung von ca. 60kW. Diese maximale Leistung (ca. Faktor 30 höher als in den vorangehenden Verfahren 1), 2) und 3.1)) wird beim Pulsverfahren nur kurzzeitig während ein paar hundert Millisekunden verbraucht. Die mittlere Leistung beträgt bei einer Taktrate von 1 bis 2 Pulsen pro Minute ca. 3 bis 6% der maximalen Leistung. Dadurch reduziert sich die thermische Belastung und somit die Erwärmung der Spule. Zu Beachten ist, dass die kurzzeitige Maximalleistung vom Stromnetz bzw. vom Stromgenerator erbracht werden muss. Angeschlossen am Stromnetz reicht ein Drehstromanschluss 3x380...480VAC 50/60Hz von 63A aus (kurzzeitige Überlast von bis zu 200A liegt innerhalb der Sicherungskennlinie).

Die hohe Feldstärke ermöglicht die Entmagnetisierung bei verhältnismässig hohen Frequenzen (5...20Hz) mit trotzdem ausreichender Eindringtiefe ins Material. Die hohe Frequenz erlaubt wiederum eine kurze Pulsdauer mit hoher Anzahl Umpolungen.

Entmagnetisieren von grossflächigen Objekten

Ablauf der Entmagnetisierung:

Die Entmagnetisierung der Komponenten erfolgt durch die pulsweise Entmagnetisierung sämtlicher Oberflächen. Die von der Spule überlappte Fläche wird bei jedem Puls (Dauer ~6...20s) entmagnetisiert, zwischen den Pulsen muss die Spule auf das nächste Flächenstück verschoben werden. Während dem Puls verweilt die Spule stationär.



Spule:
3x flexibles
Entmagnetisierungskabel
K8/10-30

Träger 15m
Länge



Konstruktionsrohr

Rohr-Wendeinheit

Stromquelle:
Leistungsmodul
DM200-PC

Zeitbedarf des Verfahrens

Der mehrfache Einsatz des Verfahrens hat eine hohe Produktivität bestätigt. Entscheidend für ein schnelles Vorankommen ist im Wesentlichen das Handling bzw. das Verschieben der Spule zwischen den Entmagnetisierungspulsen. Bewährt hat sich das Handling der Spule mit einem Kran, bei der Entmagnetisierung von Rohren ist eine Rohr-Dreheinheit von Vorteil. Das optimale Handling richtet sich grundsätzlich nach dem vorliegenden Bauteil.

Entmagnetisierung von 20 Konstruktionsrohren DxL 2'500x7'000, Wandstärke 20 und 40mm, X52-Stahl:

Verwendeter Spulendurchmesser ~1m. Anzahl Entmagnetisierungspulse / Rohr: 7 x 7 Pulse = 49 Pulse zu 10s. Mit Rohr-Wendeeinheit wird zwischen den Pulsen im Mittel ca. 30s für das Handling der Spule gebraucht. Insgesamt ergibt sich Entmagnetisierungsdauer $t_E = 49 \times 10s + 49 \times 30s = 1'960s = 32,66min$.

20 Konstruktionsrohre können auf der Baustelle in $20 \times 32,66min = 653,2min$, also in ca. 11h entmagnetisiert werden (Be- und Entladezeit der Rohre nicht einberechnet).

Der Zeitraum zwischen der Entmagnetisierung, dem Transport und der endgültigen Verschweissung der Konstruktionsrohre betrug in diesem Beispiel mehrere Tage.

Entmagnetisierung von 2 Trägern LxHxB 15'000x2'300x1'000mm, Wandstärke 20mm, S355M-Stahl:

Verwendeter Spulendurchmesser ~1m. Anzahl Entmagnetisierungspulse / Träger: 2 x 2 x 15 Pulse = 60 Pulse. Die Zeitdauer pro Puls beträgt 10s, insgesamt ergeben sich $60 \times 10s = 600s$. Das Handling der Spule benötigt ca. 40s im Mittel, $60 \times 40s = 2'400s$. Insgesamt ergibt sich die Entmagnetisierungsdauer $t_E = 600s + 2'400s = 3'000s = 50min$.

Der Zeitraum zwischen der Entmagnetisierung, dem Transport und der endgültigen Verschweissung der Träger betrug in diesem Fall mehrere Wochen.

In beiden Beispielen ist der Entmagnetisierung und der Endmontage vor Ort, keine Wiederaufmagnetisierung der Bauteile beobachtet worden.

Vorteile durch Entmagnetisierung von Teilkomponenten

- Das Verfahren bewirkt eine weitgehende Reduktion bzw. Elimination des Restmagnetismus im gesamten ferromagnetischen Materialgefüge.
- Die vollständige Entmagnetisierung des ferromagnetischen Gefüges wirkt sich von Vorteil auf das Phänomen der Magnetokorrosion durch Wasserstoffversprödung aus.
- Eine Wiederaufmagnetisierung ist ohne erneute Einwirkung von stärkeren Magnetfeldern, hohen Umformgraden bzw. nicht sachgemäsem Handling nicht möglich.
- In Versuchen wurde beobachtet, dass das Restmagnetismus-Niveau nach erfolgter Entmagnetisierung von alleine sogar noch weiter absinkt (insbesondere nach Transporten bzw. leichten Erschütterungen).
- Die Entmagnetisierung erhöht Produktivität und Qualität von nachfolgenden Prozessen wie dem Schweißen, der zerstörungsfreien Prüfung und dem Beschichten.
- Das Verfahren ist einfach zu beherrschen und erfordert keine besonderen Kenntnisse.
- Die Entmagnetisierung kann beim Komponentenlieferanten im Werk implementiert werden, wodurch eine konstant hohe Lieferqualität der Rohkomponenten sichergestellt wird.
- Das Verfahren lässt sich automatisieren und bei entsprechender Ausführung kontinuierlich im Durchlauf einsetzen.

Nachteile

- Äussere Magnetfelder induzieren im Bauteil Magnetfelder. Nach der Entmagnetisierung liegen die Stellen mit den höchsten induzierten Magnetfeldern üblicherweise im Bereich 2...10 Gauss an vorspringenden Kanten des Bauteils. Diese induzierten Restfelder können nur durch das vorangehend beschriebene Verfahren 1) vollständig eliminiert werden.

Fazit

Der Einsatz hochlegierter, feinkörniger Stahlwerkstoffe, die globalisierte Beschaffungskette verbunden mit Stahlherstellern instabiler Qualitätsniveaus und lange Transportwege mit häufigem Umladen bewirken im Schnitt eine Häufung der durch Restmagnetismus verursachten Probleme.

Schweisverfahren werden durch technologische Fortschritte zunehmend resistenter gegen magnetische Störeinflüsse. Bei hohen Qualitätsanforderungen und sensiblen Schweisprozessen lassen sich Prozessstörungen durch Einfluss von Magnetfeldern aber nicht vernachlässigen. Sie verzögern die Produktion, generieren hohe Folgekosten und vermindern die Qualität und Lebensdauer des Endproduktes.

Die vollständige Entmagnetisierung der Teilkomponenten vor dem Zusammenbau stellt eine gleichbleibende Qualität des Materials auf der Baustelle sicher und minimiert unnötige Prozessstörungen im Aufbau des Endproduktes.

Das in diesem Artikel vorgestellte Entmagnetisierverfahren zur Entmagnetisierung von grossflächigen Objekten lässt sich bei Komponenten-Zulieferern oder an der endgültigen Baustelle manuell oder automatisiert einsetzen. Die Sinusfeld-Entmagnetisierung mit massiv höherer Leistung unterscheidet sich wesentlich von den bisher eingesetzten Verfahren und kennzeichnet sich durch Einfachheit, hohe Produktivität und Prozesssicherheit aus.

Die zusammengebaute Endkonstruktion kann bei Bedarf nochmals mit dem gleichen Verfahren komplett entmagnetisiert werden. Einerseits wird dadurch der Restmagnetismus im Material entfernt und andererseits wird dadurch ebenfalls das nach aussen wirkende, magnetische Streufeld (permanente magnetische Signatur) der Konstruktion, wesentlich verringert.

Weiterführende Literatur

- [1] József Takács; Magnetism – A blow to welding; Welding & Metal Fabrication; 05.1999.
- [2] P. van Erk, D. Fleming; Combat old foes with new technology in LNG tank construction; The Lincoln Electric Company; 17.03.2012.
- [3] Svetsaren; Welding and Cutting Journal; Vol. 57 No. 2; ESAB; 2002.
- [4] R. J. Perry, Z. Paley; Effects associated with arc blow; Welding Journal; 09.1970.
- [5] K. R Suresh, P. Senthilmurugan; Demagnetization of residual magnetism in plates of odd shapes; Indian society for non-destructive testing; 12.2006.
- [6] Dr. D. Olson; Measurement of the effect of magnetism on hydrogen cracking susceptibility of pipeline steels; Colorado School of Mines; 0.3.2011.
- [7] Dr. D. Olson; An assessment of magnetization effects on hydrogen cracking for thick walled pipelines; Colorado School of Mines; 02.2006.
- [8] Dr. Otto Stemme; Magnetismus; Maxon Academy; 2004, Seite 87.
- [9] John Anderson; Around the pipe in 80 seconds; Engineerlive; Diverse-Technologies; 02.2013
- [10] Sóshin Chikazumi; Physics of Ferromagnetism; Oxford University Press; 1997, Seite 479.

Maurer Magnetic AG, Ihr Spezialist für:

- Entmagnetisiermaschinen für die Industrie
- Restmagnetismus-Messgeräte
- Entmagnetisierungseinsätze
- Problemlösungen in Magnetismus

