

BETRACHTUNGEN ZU EINSPARMÖGLICHKEITEN BEI DER BESCHAFFUNG VON CHEMIEAPPARATEN – BEISPIELE AUS KONSTRUKTION UND FERTIGUNG

Utopie und Praxis

Dr. Ulrich Killing, Nerdlen

Während im ersten Teil dieser Veröffentlichung ausschließlich Einsparmöglichkeiten im Bereich der Werkstoffauswahl aufgezeigt wurden [1], beschäftigt sich der zweite Teil mit anderen Möglichkeiten der Kostenreduzierung aus dem Bereich des Apparatebaus. Darüber hinaus erlaubt sich der Verfasser einen Blick in die Glaskugel, in dem er auf theoretische Möglichkeiten zur Optimierung in der Apparatefertigung hinweist oder aber in dem er Vorschläge im Hinblick auf eine Effizienzverbesserung von chemischen Prozessen unterbreitet. Viele dieser Anregungen sind heute noch utopisch und in keiner Weise im betrieblichen Alltag erprobt. Andere wiederum lassen sich relativ zeitnah umsetzen.

▼ Tabelle 1. Abmessungen von Blechtafeln (*nicht bei allen Herstellern und nicht für alle Werkstoffe und Wanddicken verfügbar)

Formatbezeichnung	Maße in mm
klein	1000 × 2000
mittel	1250 × 2500
groß	1500 × 3000
maxi	2000 × 4000
Überformat*	2000 × 6000 2500 × 6000 3000 × 6000

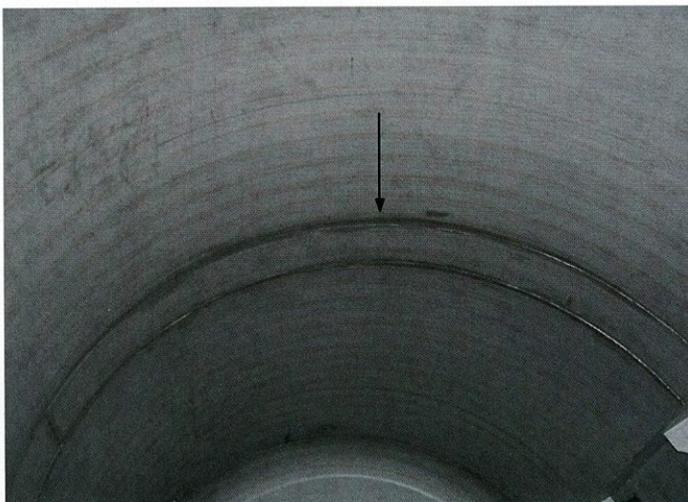
Verglichen mit den tatsächlich im Betrieb genutzten Parametern, werden Druckgeräte oftmals für deutlich höhere Drücke und Temperaturen ausgelegt. Die Folge daraus ist, dass Chemieapparate mit sehr viel größeren Wanddicken gefertigt werden, als dies nach den realen Betriebsdaten erforderlich wäre. Wird ein Druckgerät aus austenitischem CrNi-Stahl in der Praxis mit einem Druck von 10 bar bei

einer Maximaltemperatur von 200°C betrieben, kann eine Auslegung des Apparats für 15 bar und 250°C nach überschlägiger Berechnung je nach Werkstofftyp und Gerätedurchmesser zu einer Erhöhung der benötigten Wanddicke um mehr als 30% führen. Hieraus resultieren unmittelbar erhöhte Werkstoff- und Fertigungskosten. Besonders gravierend wirken sich die Kostensteigerungen bei der

Verwendung von höher legierten CrNi-Stählen (zum Beispiel 1.4539) oder Nickelbasislegierungen aus, die mit deutlich höheren Werkstoffpreisen als die Standardaustenite gehandelt werden.

Natürlich gibt es Argumente für ein höheres Auslegungsniveau, zum Beispiel dann, wenn das Sicherheitskonzept der Gesamtanlage eine Einstellung der Sicherheitsventile für höhere Drücke vorsieht oder aber wenn abweichend von den Betriebsdaten Worst-Case-Szenarien, beispielsweise Explosionsdrücke oder Ähnliches, berücksichtigt werden müssen. Vielfach wird auch mit einem Verlust an Flexibilität argumentiert, wenn Änderungen am Produktionsprozess höhere Drücke und Temperaturen erfordern. Allerdings muss bei letzterer Argumentation die Frage erlaubt sein, wie oft solche Parametervariationen in der Vergangenheit vorgekommen sind.

Speziell beim Bau von Tank- und Lagerbehältern, die üblicherweise mit niedrigen Drücken und Temperaturen betrieben werden, sind die rechnerisch ermittelten Wanddicken vergleichsweise gering. Zur Vermeidung von Transportschäden bzw. Beulenbildung macht es in diesen Fällen durchaus Sinn, das Bauteil mit größeren Wanddicken auszuführen. Kann eine Vakuumbildung in dem Behälter nicht ausgeschlossen werden, empfiehlt es sich ebenfalls, die Behälterwanddicke zu erhöhen. Alternativ lässt sich jedoch bei geringer Behälterwanddicke durch außen aufgeschweißte Verstärkungsringe die Gefahr von Beulenbildung vermeiden bzw. eine ausreichende Vakuumfestigkeit gewährleisten und somit gegebenenfalls wieder ein Einspareffekt erzielen.



◀ Bild 1. Eingesetzter Behälterschuss (Pfeil) zur Einhaltung der spezifizierten Behälterhöhe

Kostensenkung durch Verschnittmengenreduzierung

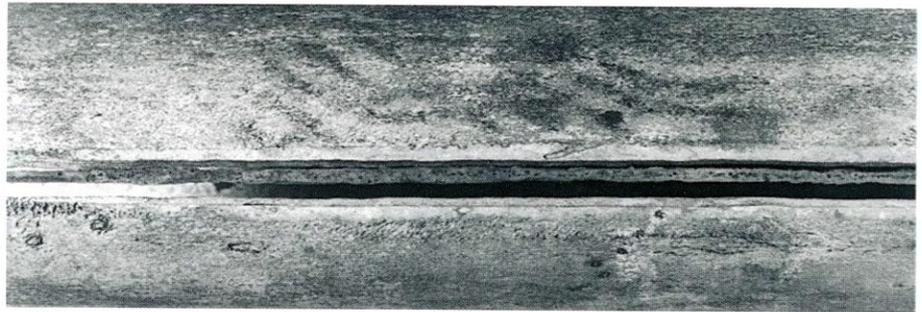
Ein Hauptmerkmal bei der Beschaffung von Druckgeräten stellt das benötigte Füllvolumen dar. Das Füllvolumen bestimmt die Dimensionen des Behälters oder Tanks, wobei die örtlichen Gegebenheiten in der Anlage die Apparatehöhen und -durchmesser maßgeblich beeinflussen. In der Regel werden in der Bestellspezifikation das benötigte Volumen so wie die daraus resultierenden Hauptbaumaße Behälterdurchmesser und -höhe angegeben. Der Apparatebauer erstellt daraufhin die notwendigen Konstruktionszeichnungen unter Berücksichtigung der marktgängigen Blechtafeldimensionen (**Tabelle 1**). Dabei kommt es trotz sorgsamster Planung häufig zu der Notwendigkeit, dass Blechtafeln längs oder quer geteilt werden müssen, da nur so die spezifizierten Baumaße des Kunden eingehalten werden können (**Bild 1**).

Das Einsetzen dieses „Minischusses“ (**Bild 1**) verursacht eine deutliche Erhöhung der Fertigungsstunden zum Beispiel durch den Mehraufwand für Nahtvorbereitung, Schweißzeit und gegebenenfalls Prüfkosten für die zusätzlichen Schweißnähte. Hinzu kommen die Werkstoffkosten für die zu beschaffenden Blechtafeln, wobei nicht benötigte Reststücke meist dem Kunden in Rechnung gestellt werden. Für den Kunden stellt sich deshalb die Frage, ob man auf einen kleinen Teil des Füllvolumens verzichten und damit eine Ersparnis an Fertigungs- und Werkstoffkosten erzielen kann. Im Falle von teuren Grundwerkstoffen ist eine deutliche Einsparung wahrscheinlich.

Nahtlose vs. längsnahtgeschweißte CrNi-Stahlrohre

Bei dieser Thematik prallen zwei Philosophien unbarmherzig aufeinander: auf der einen Seite das Lager der uneingeschränkten Längsnahtbefürworter, die niemals auf die Idee kämen, ein nahtloses Rohr einzubauen, auf der anderen Seite die Nahtlosbefürworter, für die das geschweißte Rohr allenfalls als Konstruktionsrohr für Geländer oder Ähnliches in Frage kommt. Nachfolgend ein kurzer Vergleich der wichtigsten Eigenschaften beider Halbzeugarten aus chemisch beständigen Stählen:

- Sowohl die nahtlosen als auch die längsnahtgeschweißten Rohre sind nach einschlägigen Druckgeräte-Regelwerken uneingeschränkt zugelassen.



▲ Bild 2. Längsnahtgeschweißtes Rohr (Werkstoff 1.4571) einer Innenbeheizung; das Schweißgut der Längsnaht ist komplett wegkorrodiert.

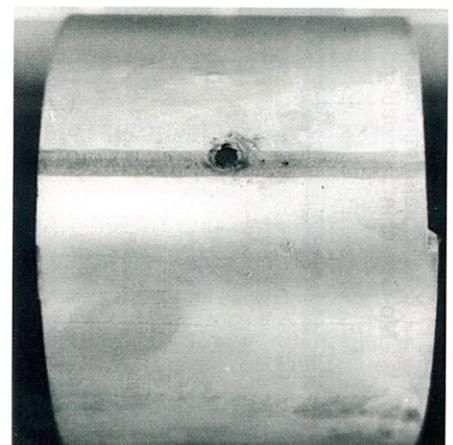
- Die auf dem Markt verfügbare Palette der Standardwerkstoffe ist für beide Rohrtypen gleich.
- Die Herstelltoleranzen für Durchmesser, Wanddicke und Rundheit sind vergleichbar.
- Längsnahtgeschweißte Rohre sind mit größeren Durchmessern verfügbar als Nahtlosrohre.
- Nahtlosrohre sind in der Regel teurer als längsnahtgeschweißte Rohre.

Vereinfacht ausgedrückt, unterscheiden sich beide Halbzeugformen im Preis sowie im Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein einer „Schweißnaht“. Aus dem Vorhandensein der Schweißnaht ergeben sich nachfolgend aufgeführte Nachteile:

- Werden längsnahtgeschweißte Rohre durch Kaltbiegen verformt, kann es unter Umständen aufgrund des differierenden Verformungsverhaltens der Schweißnaht zu Rissbildung kommen. Dies ist zum Beispiel bei der Fertigung von Innenheizschlangen mit kleinen Biegeradien von Bedeutung.
- Beim Bau von Rohrbündelwärmetauschern werden die Wärmetauscherrohre zur Vermeidung von Spaltkorrosion im Bereich des Rohrbodens mit speziellen Werkzeugen kalt angewalzt. Hierbei kann es im Bereich der Rohrlängsnaht zu Fehlstellen in Form von Rissen kommen. Diese Gefahr ist umso größer, wenn die Nahtüberhöhungen der Längsnahte innen und außen nicht beseitigt wurden. Darüber hinaus ist das vollständige Verschließen des Spalts zwischen Rohrboden und Rohr bei unbearbeiteter Längsnaht problematisch, sodass in diesen Bereichen während des Betriebs Spaltkorrosion auftreten kann. Rohre mit abgearbeiteter Längsnaht sind

auf dem Markt allerdings gegen Aufpreis erhältlich.

- Werden längsnahtgeschweißte Rohre starken Korrosionsbelastungen ausgesetzt, kann es zu einer bevorzugten Auflösung des Schweißnahtbereichs kommen. Bedingt durch eine andere Gefügestruktur der Schweißnaht und der Wärmeeinflusszone, der Anwesenheit von kleinen Oxiden, Schlacken oder Ausscheidungen im Schweißgut, ist die Längsnaht im Vergleich zum Grundwerkstoff der unedlere Partner in der elektrochemischen Spannungsreihe. Ferner führt die deutlich kleinere Fläche des Nahtbereichs bezogen auf den Grundwerkstoff bei starker Korrosionsbelastung zu einer raschen Werkstoffauflösung der Längsnaht (**Bild 2**).
- Die Längsschweißnähte an dünnwandigen, hochlegierten Rohren werden in der Regel ohne Schweißzusatzwerkstoff entweder nach dem Wolfram-Inertgas (WIG)-, dem Plasma- oder dem Laserstrahlverfahren hergestellt. Dabei ist es nicht zu vermeiden, dass Legierungselemente wie Chrom oder Molybdän aufgrund



▲ Bild 3. Lochkorrosion in der Längsnaht eines CrNi-Stahlrohrs (Werkstoff 1.4401)

der hohen Temperaturen der Lichtbögen bzw. des Laserstrahls verdampfen. Somit weist das Schweißgut im Vergleich zum Grundwerkstoff geringere Gehalte an korrosionshemmenden Legierungselementen auf, wodurch gegenüber dem Grundwerkstoff zum Beispiel die Gefahr der Bildung von Lochkorrosion im Bereich der Rohrlängsnaht wächst (Bild 3). Weiterhin muss die Tatsache beachtet werden, dass bevorzugt beim Schweißen von Werkstoffen mit erhöhten Molybdängehalten, zum Beispiel CrNi-Stähle mit Mo-Gehalten von 5 bis 7% oder Ni-Basislegierungen ohne Zusatzwerkstoff, das Legierungselement Molybdän zur Bildung von Seigerungen im Schweißgut neigt, wodurch die Korrosionsgefahr in den Mo-verarmten Bereichen deutlich ansteigt (Bild 4).

Fazit: Für viele Anwendungsfälle im Druckgerätebau stellen längsnahtgeschweißte Rohre aus chemisch beständigen Werkstoffen eine kostengünstige Alternative zu nahtlosen Rohren dar. Je nach Anzahl, Abmessung und Werkstoff der Rohre können Werkstoffkosten in einer Größenordnung von etwa 10 bis 15% durch den Einsatz längsnahtgeschweißter Rohre eingespart werden.

Verwendung eines alternativen Systems für die Beheizung von Behältern

Viele Reaktionen in der Chemie und Petrochemie erfordern das Zuführen von Wärme

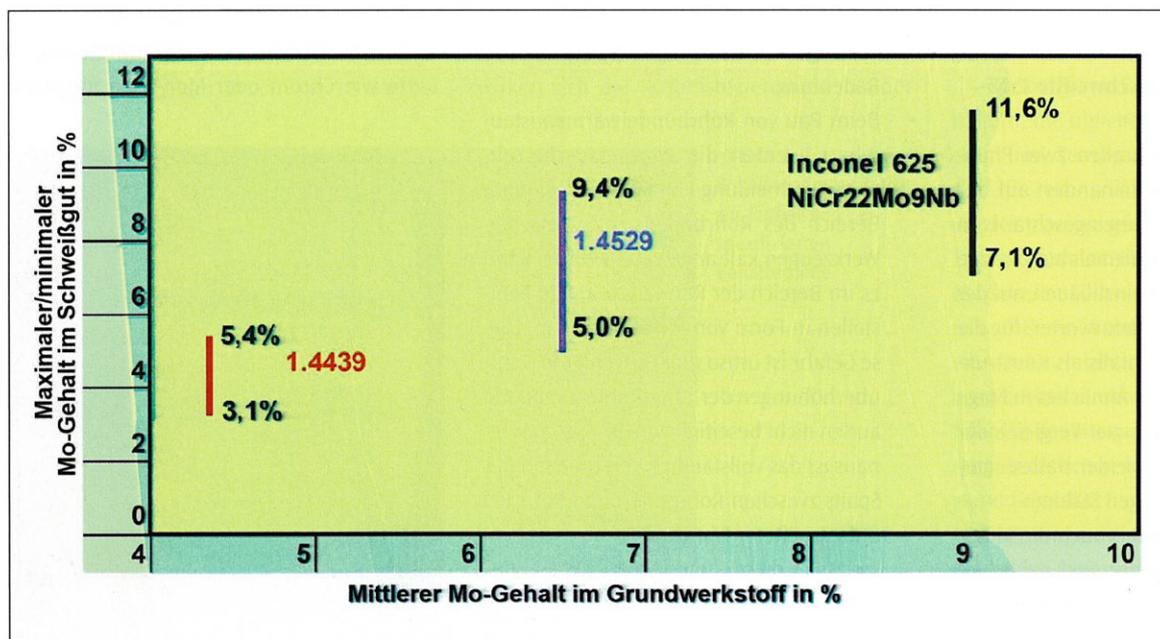
oder Kälte, um Reaktionsprozesse zu ermöglichen bzw. zu beenden. Vielfach erfolgt das Erwärmen bzw. das Kühlen durch außen auf der Behälteroberfläche angebrachte Rohrsysteme. Die Auswahl des Beheizungstyps erfolgt dabei unter anderem nach der zu- bzw. abzuführenden Wärmeenergie. Daraus ergeben sich dann die Art und die Menge des Heiz-/Kühlmediums sowie die erforderlichen Drücke und Temperaturen.

Vielfach werden in der Praxis sogenannte Halbrohrschlangensysteme auf die Außenoberfläche der Behälterwandung aufgebracht (Bild 5). Dieses Beheizungssystem bietet den Vorteil, dass mit Halbrohrschlangen vergleichsweise hohe Temperaturen und Drücke realisiert werden können. Hinzu kommt die Flexibilität bei der Auswahl des Heiz- oder Kühlmediums. So erlauben Halbrohrschlangen das Verwenden von Dampf, Wärmeträgeröl oder Wasser zum Heizen und Kühlen. Darüber hinaus erweisen sich Halbrohrschlangensysteme als äußerst robust, wenn sie sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen benutzt werden. So sind Schäden durch eine Thermoschockbeanspruchung bei fachgerechter Verarbeitung äußerst selten.

Nachteilig macht sich allerdings der hohe Aufwand bei der Fertigung dieser Heizungsform bemerkbar. So erfordern das spaltfreie Aufziehen und Heftschiessen der Schlangen eine hohe Genauigkeit. Zur Vermeidung von wurzelseitigen Anlauffarben müssen sowohl die Längsstöße als auch die Querstöße der

Halbrohrschlangen mithilfe von Klebeband verschlossen werden. Darüber hinaus erfordert das meist zweilagige Aufschiessen der Halbrohre auf den Behältermantel einen hohen Zeitaufwand. Hinzu kommen, je nach Spezifikation, beachtliche Prüfkosten in Form von Durchstrahlungs-, Farbeindring- und Dichtheitsprüfungen. Alles dies führt zu einem vergleichsweise hohen Preis von Halbrohrschlangensystemen.

Alternativ zu Halbrohrschlangen können sogenannte Pillow-Plate-Heizelemente (auch Thermobleche genannt) zur Außenbeheizung von Behältern verwendet werden (Bild 6). Die Herstellung dieser Beheizung erfolgt folgendermaßen: Auf das drucktragende, dicke Blech des Behälters wird ein deutlich dünneres Blech (Dicke etwa 0,8 bis 1,5 mm) aufgelegt und angepresst. Anschließend werden die beiden Bleche mit dem Laserstrahl- oder Widerstandspunktschweißverfahren kreis- bzw. punktförmig miteinander verbunden, wobei abhängig vom geforderten Druck und von geforderter Temperatur des Heizmediums die Anzahl und die Anordnung der Schweißpunkte variiert. Anschließend werden an den Blechrändern eine oder zwei umlaufende Schweißnähte entweder mit dem Laserstrahl- oder mit dem Widerstandsrollen-nahtverfahren geschweißt. Dadurch entsteht ein druckdichter Raum. Danach können die Bleche ganz normal auf einer Dreivalzenbiegemaschine zu einem Behälterschuss eingeformt werden, und die Behälterlängsnaht



◀ Bild 4. Ergebnisse von Mikrosondenuntersuchungen an WIG-geschweißten Auftragschweißungen (Schweißungen erfolgten ohne Zusatzwerkstoff)

kann geschweißt werden. Nach dem Längsnahtschweißen werden die Heizplatten vorzugsweise mit Wasser, aber auch mit Stickstoff zu einem Kissen aufgeblasen. Pillow-Plates können mittlerweile, abhängig von der Heiztemperatur, mit Drücken bis zu 100 bar beaufschlagt werden. Auch ist die Fertigung von mit Pillow-Plates belegten Klöpperböden möglich.

Im Vergleich zu der Halbrohrschlangenbeheizung ergeben sich folgende Vorteile:

- Werkstoffeinsparung für das Heizsystem aufgrund dünnwandiger Ausführung,
- geringe Wanddicke der drucktragenden Behälterwandung aufgrund niedrigem Wärmeeinbringen beim Aufschweißen der dünnwandigen Bleche,
- vollmechanische Aufschweißung der Heizung mit hoher Schweißgeschwindigkeit auf das drucktragende Grundblech,
- deutlich geringere Fertigungszeiten im Vergleich zur Halbrohrschlangenvariante,
- geringe Prüfkosten.

Den genannten Vorteilen stehen diese Nachteile entgegen:

- Pillow-Plates sind innen immer spaltbehaftet (**Bild 7**), eine spalt- und kerbfreie Ausführung ist nicht herstellbar.
- Eine anlauffarbenfreie Ausführung im Inneren ist nicht möglich. Allenfalls kann eine anlauffarbenarme Werkstoffoberfläche im Bereich der Schweißnähte realisiert werden.
- Je nach Blechwerkstoff können chloridhaltige Heiz- oder Kühlmedien zu Loch-, Spalt- oder Spannungsrisskorrosion führen. Das Heizen mit Dampf ist allerdings unkritisch.
- Praktische Erfahrungen mit Pillow-Plates zeigen, dass diese Bauart für gleichzeitige Heiz- und Kühlprozesse ungeeignet ist, da nach relativ kurzer Betriebsdauer Risse im Bereich der Schweißpunkte festgestellt wurden.

Durch den Einsatz von Pillow-Plates lässt sich eine Einsparung von etwa 25% gegenüber einer Halbrohrschlangenheizung mit gleicher Heizfläche generieren. Im Übrigen können diese Thermobleche auch für die Innenbeheizung von Behältern eingesetzt werden und ersetzen dabei innenliegende Rohrschlangen.



▲ Bild 5. Druckgerät mit außen aufgeschweißter Halbrohrschlange (links), Detailansicht vor dem Schweißen (rechts)

Substitution von manuellen durch teil- bzw. vollmechanisierte Schweißverfahren

Der Einsatz von vollmechanisierten Fügeverfahren ist im Apparatebau nicht neu. So findet sich in nahezu jeder Fertigung mindestens eine Anlage zum Unterpulver(UP)-Schweißen. Das Plattieren von großen Flächen durch UP- bzw. Elektroschlackeschweißen (RES) ist ebenfalls stark verbreitet. Das mechanisierte WIG-Schweißen von Rohren bzw. Rohr-/Flanschverbindungen oder aber das

WIG-Einschweißen von Wärmetauscherrohren in Rohrböden findet man in vielen Betrieben. Beim Bau von Lagerbehältern und Tanken aus hochlegierten chemisch beständigen Werkstoffen kommt das mechanisierte Plasmaschweißen zur Anwendung. Dies ist eine kurze Aufzählung, die sich noch beliebig fortsetzen ließe.

Die einzigen Verfahren, die sich im Druckgeräte- bzw. Tankbau nicht so richtig durchsetzen können, sind das teil- bzw.

Anzeige

OBERFLÄCHEN-FEHLER sichtbar durch



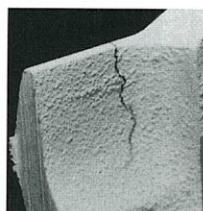
FARBEINDRING- UND MAGNETPULVER- PRÜFVERFAHREN

Rot-Weiß und Fluoreszenz

zugelassen nach

EN ISO 3452-2, EN ISO 9934

zur Prüfung von Maschinenteilen der Auto- und Flugzeugindustrie, Reaktorbauteilen, Behältern, Rohrleitungen, Guß- und Schmiedeteilen, Schweißnähten usw.



HELMUT KLUMPF • TECHNISCHE CHEMIE KG

Industriestr. 15 • 45699 HERTEN • Tel. (0 23 66) 10 03-0 • Fax (0 23 66) 10 03-11
e-mail: klumpf@diffu-therm.de • www.diffu-therm.de



◀ Bild 6. Lagerbehälter mit Pillow-Plate-Beheizung des zylindrischen Teils

vollmechanisierte Metall-Inertgas-/Metall-Aktivgas(MIG-/MAG)-Schweißen. Hier herrscht bei vielen Kunden der Chemie- und Petrochemie eine nahezu panische Angst vor Bindefehlern, die bei Verwendung dieser Verfahren besonders häufig vorkommen sollen und durch zerstörungsfreie Prüfung nur schwer zu finden sind. Somit wird das MIG-/MAG-Schweißen in vielen Spezifikationen lediglich zum Schweißen von nicht drucktragenden Schweißnähten, zum Beispiel von Kehlnähten im Außenbereich (Pratzen, Tragkonstruktionen usw.), zugelassen. Inwieweit diese Befürchtungen zutreffen, sei dahingestellt. Bindefehler beim MIG-/MAG-Schweißen können entstehen, lassen sich jedoch bei Beachtung folgender Empfehlungen weitestgehend vermeiden:

- Wurzelschweißungen mit den MIG-/MAG-Verfahren nur beim Lage-/Gegenlage-Schweißen, wenn die Nahtwurzel komplett ausgeschliffen wird.
- Anpassen der Schweißgeschwindigkeit auf die eingestellten Strom- und Spannungsparameter. Zu langsames Schweißen führt zu Bindefehlern durch vorlaufendes Schweißgut, zu schnelles Schweißen erzeugt Bindefehler infolge von zu geringem Wärmeeinbringen (**Bild 8**).
- Schweißen in Überkopffosition und Fallposition vermeiden.
- Brennerstellung in leicht steigender Position, zum Beispiel beim mechanisierten Schweißen von Behälterrundnähten, verhindert weitestgehend das Vorlaufen des flüssigen Schweißguts unter den Lichtbogen.

Natürlich gibt es noch weitere Aspekte, die das Entstehen von Bindefehlern beeinflussen. Hier seien beispielhaft die Themen „Stromquelle“ oder „Schutzgasart und -menge“ genannt, deren Behandlung jedoch im Rahmen dieses Beitrags nicht möglich ist. Abschließend bleibt festzuhalten, dass die MIG-/MAG-Verfahren durchaus eine sichere und kostengünstige Alternative zum Schweißen von drucktragenden Schweißnähten im Apparatebau darstellen. Im Vergleich zum manuellen WIG- und zum Lichtbogenhandschweißen kann die Verwendung der MIG-/MAG-Verfahren zum Füll- und Decklagenschweißen von Behälterlängs- und -rundnähten durchaus eine Ersparnis bei den Fertigungskosten von etwa 10% bewirken.

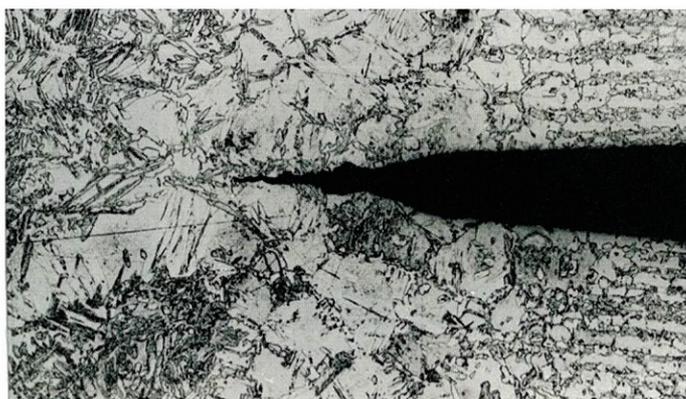
Für das Aufschweißen von Halbrohren auf die Behälterwandung werden vielfach zweilagig geschweißte Halbrohrlängsnähte gefordert, wobei die erste Lage WIG-geschweißt werden muss und für die Decklage alternativ das WIG- bzw. das Lichtbogenhandschweißen gefordert wird. Würde man für das Schweißen der

zweiten Lage die MIG-/MAG-Verfahren akzeptieren, könnten Einsparungen von etwa 15%/m Halbrohlnaht durchaus realistisch sein.

Ein Blick in die Zukunft

Es erfordert keine hellseherischen Fähigkeiten, wenn man behauptet, dass der Zwang zum Einsparen von Energien mittel- bis langfristig eine große Herausforderung für die Industrie insgesamt, besonders aber für die energieintensive chemische und petrochemische Industrie darstellt. Hieraus ergibt sich die Fragestellung, welche zukunftsweisende Beiträge die Werkstofftechnik im Hinblick auf das Einsparen von Energien bzw. zum Thema „Ressourcenschonung“ leisten kann.

In einem früheren Beitrag hat der Autor dieses Beitrags darauf hingewiesen, dass durch den Einsatz von chemisch beständigen Cr- und Duplexstählen zum einen die Wanddicke von Behältern reduziert werden kann, was zu einem geringeren Verbrauch von teuren Legierungselementen beiträgt [1]. Zum



◀ Bild 7. Spalt im Bereich eines Schweißpunkts an einem Thermoblech (Werkstoff 1.4462)

anderen können ferritische Cr-Stähle aufgrund ihres besseren Wärmeleitvermögens einen effizienteren Eintrag von Wärme in das Medium gewährleisten, wodurch Reaktionszeiten verringert bzw. Energieverbräuche gesenkt werden können. In diesem Zusammenhang muss auf eine andere Werkstoffgruppe hingewiesen werden, die in früheren Zeiten vergleichsweise häufig auch im Chemiebereich für den Bau von Behältern Anwendung gefunden hat, heute aber nahezu in die Bedeutungslosigkeit versunken ist. Gemeint ist die Gruppe der Kupferwerkstoffe, einschließlich dem Reinkupfer.

Technisches Reinkupfer weist je nach Verunreinigungsgrad eine Wärmeleitfähigkeit von 240 bis 380 W/m K auf. Die Wärmeleitfähigkeiten von technischen Kupferlegierungen reichen zum Beispiel von 75 W/m K (CuNi8) bis 40 W/m K (CuNi30). Zum Vergleich: CrNi-Stähle erreichen gerade einmal 11 bis 15 W/m K. Kupfer und Kupferlegierungen sind zum Bau von Druckgeräten unter Beachtung des AD 2000-Merkblatts W 6/2 [2] zugelassen. Die Einsatztemperaturen reichen von 250°C (Reinkupfer) bis hin zu 350°C (CuNi30Mn1Fe). Blechwerkstoff aus Reinkupfer kann mit Dicken bis zu 50 mm bezogen werden. Bleche aus CuNi-Legierungen sind mit Dicken bis zu 60 mm erhältlich. Das Schweißen von Kupfer und Kupferlegierungen ist nach dem WIG- und nach dem MIG-Verfahren möglich, erfordert jedoch spezielles Know-how, was das Vorwärmen und den Verzug von Bauteilen betrifft. Das Korrosionsverhalten von Kupferwerkstoffen in neutralen und basischen Medien ist gut, in sauren Lösungen eher schlecht. Im Einzelfall ist die Eignung des Werkstoffs in Korrosionsversuchen nachzuweisen.

In einer Studienarbeit wurde der Einfluss verschiedener Konstruktionswerkstoffe auf die Energieeffizienz einer Prozessanlage untersucht [3]. Dabei wurden am Beispiel eines Musterreaktors (Bild 9) die Auswirkungen unterschiedlicher Werkstoffe auf die Behälterwanddicke, den Dampfverbrauch und die Aufheizzeit für ein Medium ermittelt.

Als Konstruktionswerkstoffe wurden der CrNi-Stahl X6CrNiMoTi17-12-2 (1.4571) und Reinkupfer in die Berechnungen einbezogen. Dabei kommt der Autor zu dem Ergebnis, dass die Wanddicke des Reinkupferreaktors unter den betrachteten Randbedingungen im Vergleich zu 1.4571 zwar doppelt so hoch ist, die Aufheizzeit von Raumtemperatur auf die



JOIN! THE FULL WELDING SOLUTIONS!

for your Lasting Connections

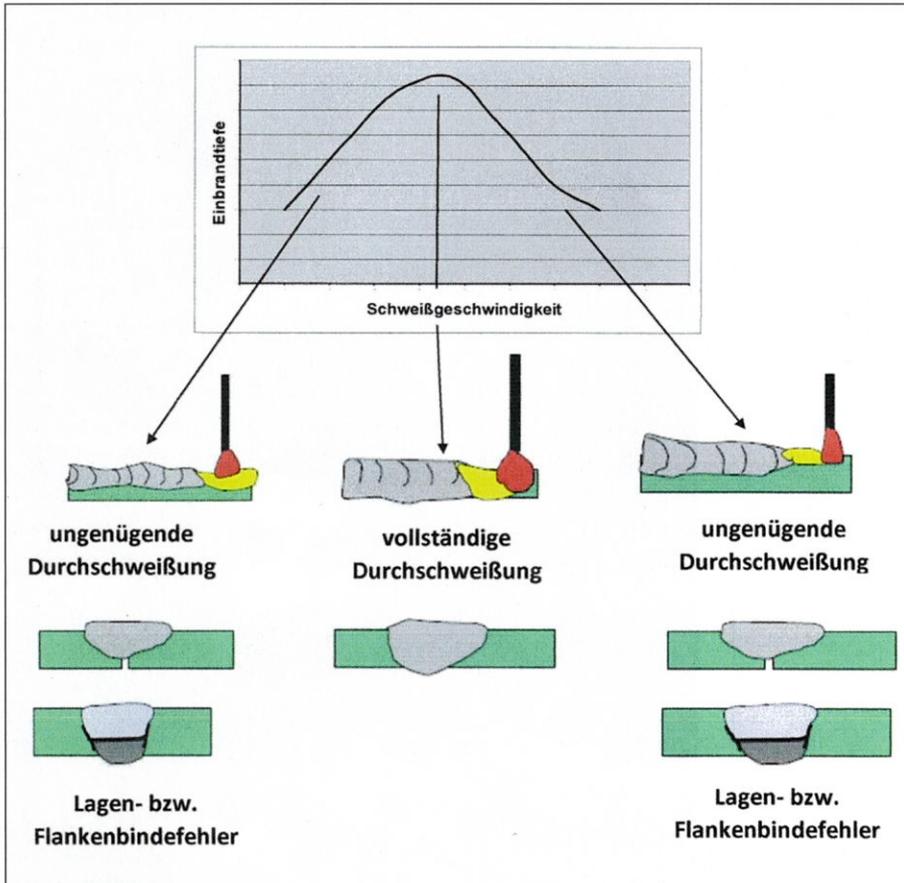


Grundwerkstoffe, Stromquellen, Schweißzusätze und mehr – viele Komponenten tragen zu einem perfekten Schweißergebnis bei. Eine Full Welding Solution von Böhler Welding ist jedoch viel mehr als die Summe ihrer Teile. Wir genießen das Ansehen als führende Autorität auf dem Gebiet der Schweißmetallurgie und auf dieser soliden Vertrauensbasis bauen unsere Full Welding Solutions auf. Unsere kompetenten und engagierten Experten begleiten den gesamten Prozess an der Seite unserer Kunden, von der Konzeption des Schweißprojektes bis zur erfolgreichen Durchführung.

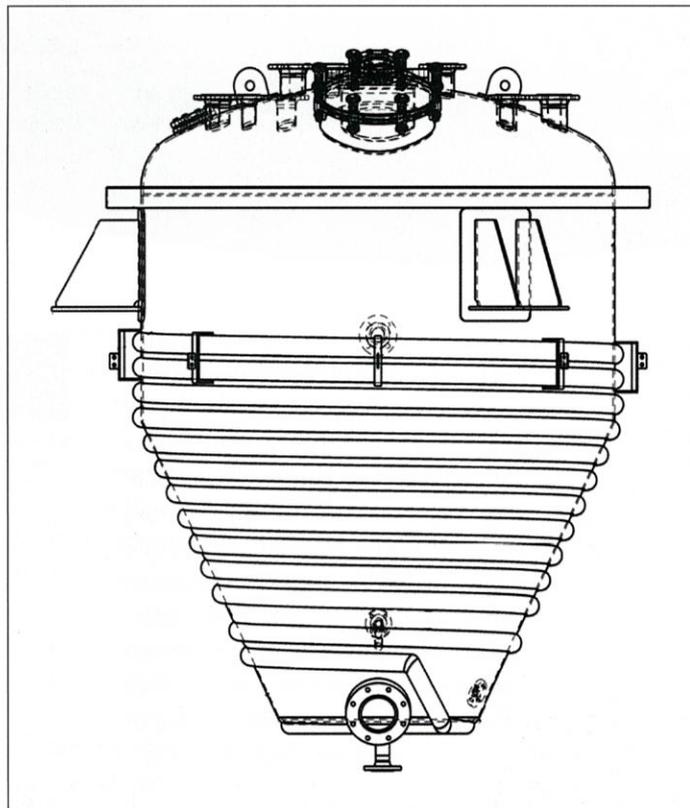
JOIN! Your Full Welding Solution.



Scannen für
weitere
Infos



▲ Bild 8. Zusammenhang zwischen Einbrandtiefe und Schweißgeschwindigkeit beim MIG-/MAG-Schweißen



◀ Bild 9. Druckbehälter mit Halbrohrschlangenbeheizung (Volumen: 5 m³) (Bilder: Killing)

gewünschte Reaktionstemperatur jedoch nur 35% im Vergleich zum CrNi-Stahl beträgt. Dabei werden verglichen mit 1.4571 beim Reinkupferbehälter lediglich 10% der Dampfmenge benötigt. Somit stehen den vermutlich höheren Beschaffungskosten für den Reinkupferreaktor deutlich geringere Produktionskosten mit erheblichen Energieeinsparungen gegenüber. Verwendet man anstelle von Reinkupfer eine Kupferlegierung, so sind im Vergleich zu Reinkupfer längere Aufheizzeiten und höhere Dampfverbräuche in Kauf zu nehmen, die jedoch bezogen auf 1.4571 immer noch ein erhebliches Einsparpotenzial darstellen.

Ähnliche Betrachtungen wie mit Kupfer und Kupferlegierungen lassen sich im Übrigen auch mit Nickel und Nickellegierungen anstellen, wobei hierbei im Wesentlichen Reinnickel und NiCu-Legierungen in Betracht kommen. Laut der hier genannten Studie, erhöht sich bei Verwendung der NiCu-Legierung NiCu-30Fe als Konstruktionswerkstoff für den oben genannten Reaktor die Wanddicke verglichen mit 1.4571 lediglich um 20%. Dabei reduziert sich die Aufheizzeit jedoch um mehr als 40%, bei ebenfalls niedrigerem Dampfverbrauch.

Die in dieser Arbeit für das Aufheizen einer Flüssigkeit getroffenen Aussagen dürften prinzipiell auch auf das Abkühlen erhitzter Medien zutreffen, das heißt, auch die Abkühlung erfolgt im Vergleich zu CrNi-Stählen bei Verwendung von Kupfer und Kupferlegierungen als Behälterwerkstoff schneller. Für verfahrenstechnische Prozesse, die bei niedrigen Temperaturen ablaufen und Abkühlzyklen zu Minustemperaturen erfordern, können eventuell Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen anstelle von CrNi-Stahl eine Effizienzsteigerung bewirken. Die Wärmeleitfähigkeit von Reinaluminium beträgt 235 W/m K, für Aluminiumlegierungen kann man immer noch von 160 W/m K ausgehen.

Weitere Vorschläge für zukunftsweisende Einsparideen:

- Ersatz von Schweiß-, Walz- und Sprengplattierungen durch galvanisch oder chemisch aufgetragene Beschichtungssysteme. Mit diesen Verfahren können auch großflächige Komponenten vor Korrosion und/oder Verschleiß mit vergleichsweise dünnen Schichten geschützt werden. Als Beispiel sei Vernickeln, Verkupfern oder Verchromen bzw. Aufbringen von Dualsystemen (1. Schicht Nickel, 2. Schicht Chrom) auf

Stählen genannt. Übliche Schichtdicken bewegen sich zwischen 5 und 200 µm. Größere Schichtdicken sind möglich.

- Ersatz von Schweißplattierungen durch thermisch gespritzte Schichten. Spritzverfahren erlauben das Erzeugen dünner, vermischungsarmer Schichten. Durch Lichtbogenspritzen lassen sich Abschmelzleistungen bis 60 kg/h realisieren. Bei Einsatz des Hochgeschwindigkeitsflammspritzens (HVOF) können nahezu porenfreie Schichten (Porosität 1 bis 2%) erzeugt werden. Typische Schichtdicken betragen 0,2 bis 2 mm (HVOF) bzw. maximal 10 mm beim Lichtbogenspritzen.
- Optimierung der Behälterdämmung durch zusätzlich zu der standardmäßigen Außen-dämmung auf den Innenoberflächen aufgebrauchte Wärmedämmschichten. Als

Werkstoffe für diese Dämmschichten kommen Kunststoffe, zum Beispiel Polytetrafluorethylen („Teflon“, Temperaturbeständigkeit im Dauerbetrieb bis 250°C, Wärmeleitfähigkeit 0,25 W/m K), oder oxidische Werkstoffe, zum Beispiel Zirkonoxid (Wärmeleitfähigkeit 2 bis 3 W/m K), in Frage.

Alle in diesem Abschnitt vorgestellten Ideen sind zur Zeit reine Fiktion. Für praktische Anwendungen sind umfangreiche Berechnungen und Untersuchungen erforderlich. Darüber hinaus ist der wirtschaftliche Druck auf die Unternehmen momentan noch nicht groß genug, als dass sich die Verantwortlichen mit diesen Vorschlägen befassen werden. Andererseits ist es gut, bei Bedarf entsprechende Lösungsvorschläge in der Schublade zu haben. ■



Dr.-Ing. Ulrich Killing,
Beratungsbüro für Schweiß-
und Werkstofftechnik,
Nerdlen, beratungsbuero-
killing@t-online.de

Literatur

- [1] Killing, U.: Betrachtungen zu Einsparmöglichkeiten bei der Beschaffung von Chemieapparaten am Beispiel der Grundwerkstoffe. Der Praktiker 73 (2021), Nr. 8, S. 363–367.
- [2] AD 2000-Merkblatt W 6/2: Kupfer und Kupfer-Knetlegierungen. Ausgabe: 2009-03.
- [3] van Straelen, F.: Betrachtung von verschiedenen Werkstoffen zur Erreichung einer höheren Energieeffizienz in Prozessanlagen der chemischen Industrie. Studienarbeit. Universität Bochum, Fachbereich Maschinenbau, Bochum 2016.

Anzeige

SMARTE LÖSUNGEN FÜR KOMPLEXE AUFGABEN TITANIUM 400 AC/DC



FÜHRENDE FRANZÖSISCHE HERSTELLER
FAMILIEN-UNTERNEHMEN SEIT 1964

820 Mitarbeiter davon
90 in Forschung & Entwicklung
120 Millionen Umsatz in 2021

**SCHWEISSER & MASCHINE
FÜR PERFEKTE ERGEBNISSE**

- ➔ GENIAL von Hand*
- ➔ PERFEKT in der Automation

OPTIMALE SCHWEISSNÄHTE

*VERGLEICHBAR MIT AUTOMATISIERTEN ERGEBNISSEN

WWW.GYS-SCHWEISSEN.COM

IRRTÜMER & ÄNDERUNGEN VORBEHALTEN | Stand 09/21

FRANCE | GERMANY | ITALY | UNITED KINGDOM | PRC CHINA