


www.alliedfittings.com

www.gieminox.com


Tubi, raccordi e curve da lamiera colaminata a caldo per il settore Oil & Gas

di Maurizio Fersini e Fabrizio Filafferro

I tubi e i fitting prodotti da lamiera clad, caratterizzati cioè da una parte esterna in acciaio al carbonio e da una interna costituita da un sottile strato (tipicamente 3 - 3,5 mm) di lega resistente alla corrosione, sono considerati attualmente la soluzione tecnologicamente più adatta alle crescenti esigenze di resistenza meccanica, resistenza alla tenso-corrosione e con il miglior rapporto costo/prestazione del settore Oil & Gas. In particolare, questo articolo descrive i processi caratteristici della produzione di tubi e fitting ottenuti partendo da lamiere clad fabbricate mediante processo di co-laminazione a caldo (hot roll bonding). In particolare si farà riferimento all'esperienza maturata dal Gruppo Allied nella produzione e fornitura di tali componenti.

Ingenti sforzi economici e tecnologici sono sostenuti dalla moderna Industria dell'Oil&Gas per soddisfare le esigenze di estrazione, trasporto del gas da regioni lontane e distribuzione ai mercati di utilizzo finale. Essi sono

tesi a definire nuove e più efficienti soluzioni industriali sia in termini di criteri di progettazione che di materiali e componenti in grado di soddisfare le alte prestazioni richieste ai nuovi impianti. La circostanza che i giacimenti di più faci-

le accesso siano in gran parte sfruttati e quelli sfruttabili in futuro localizzati in aree geografiche sempre meno accessibili (per esempio in acque profonde e ultra profonde) o di natura non convenzionale (ovvero di difficile sfruttamento e

raffinazione), comporta che le nuove linee di trasporto a media e lunga distanza (trunk line e pipeline) debbano essere progettate considerando l'impiego di pressioni e temperature sempre più elevate e ambienti sempre più corrosivi.

In tali situazioni, gli acciai basso legati al carbonio risultano strutturalmente soddisfacenti ma non utilizzabili in termini di resistenza alla tenso-corrosione, se non debitamente protetti. D'altra parte gli acciai inossidabili e le leghe di Nichel offrono adeguata resistenza alla corrosione ma sono inadatti in termini di resistenza meccanica (a meno di spessori molto elevati), condizione che rende le soluzioni "solide" incompatibili dal punto di vista dei costi di approvvigionamento e successiva gestione d'impianto.

I tubi e i fitting prodotti da lamiera clad, caratterizzati cioè da una parte esterna in acciaio al carbonio e da una interna costituita da un sottile strato (tipicamente 3 - 3,5 mm) di lega resistente alla corrosione, sono considerati attualmente la soluzione tecnologicamente più adatta alle crescenti esigenze di resistenza meccanica, resistenza alla tenso-corro-

sione e con il miglior rapporto costo/prestazione.

Negli ultimi anni sono state sviluppate e migliorate differenti metodologie di fabbricazione di lamiera clad: co-laminazione a caldo, placcatura per esplosione, riporto di saldatura. Sono state inoltre elaborate Normative dedicate sia a questo semi-prodotto (e.g. ASTM A263-264-265) che ai tubi e fitting con esso (e.g. API 5LD, DNV OS F-101) prodotti.

Il presente articolo descrive i processi caratteristici della produzione di tubi e fitting ottenuti partendo da lamiera clad fabbricate mediante processo di co-laminazione a caldo (hot roll bonding). In particolare si farà riferimento all'esperienza maturata dal Gruppo Allied nella produzione e fornitura di tali componenti.

Lamiera clad: caratteristiche

Una lamiera clad (Figura 1) è costituita dall'unione di due o più metalli, ognuno scelto per le sue specifiche proprietà, accoppiati per via metallurgica tramite laminazione controllata a caldo. La lamiera così ottenuta combina le elevate

proprietà meccaniche, generalmente, dell'acciaio al carbonio o basso legato (backing material) e le proprietà alla corrosione degli acciai inossidabili (e.g. UNS S31603) o delle leghe di nichel (e.g. UNS N08825 o UNS N00625) (clad material).

L'accoppiamento metallurgico tra i due metalli costituenti la lamiera clad è ottenuto, durante il processo di laminazione a caldo, mediante opportune condizioni di alte temperature e pressioni. In pratica, per creare un legame metallico gli atomi dei due materiali devono essere "avvicinati" fino a distanze dell'ordine dei nm (distanza interatomica). Per far questo è necessario che le superfici dei due metalli siano il più possibile esenti da impurità, come grasso e ossidi, e da irregolarità superficiali. Inoltre, durante il processo di laminazione possibili gas capaci di reagire con i materiali devono essere eliminati (laminazione del "sandwich" sotto vuoto) e un materiale non ossidabile (separator) è posto, durante la laminazione, tra le superfici delle lamiera di materiale resistente alla corrosione (CRA), come mostrato in Figura 2.

Pipes, Fittings and Bends from Hot Roll Bonding Plate for the Oil & Gas Field

Technology

Pipes and fittings manufactured from clad plate are featured by an outer part made of steel and carbon and by an inner part made of a thin layer (typically from 3 to 3.5 mm) of a corrosion resistant alloy. They are currently considered as the solution that, as for technology, is more suitable for the growing requirements in terms of either mechanical resistance or stress corrosion cracking resistance. These are also featured by the best cost/performance ratio in the oil & gas field. In particular, this article deals with the peculiar manufacturing processes of pipes and fittings obtained from clad plates produced through hot roll bonding. The experience gained by Allied Group in the manufacturing and supply of these components will be mentioned.

by Maurizio Fersini and Fabrizio Filafarro

The most advanced oil & gas industry makes quite relevant economic and technological efforts in order to meet the requirements of extraction and transport of gas from quite far areas, before it is delivered to the final markets. These efforts aim to find some new and more efficient industrial solutions in terms of either design or materials and components capable to meet the high performances required to new plants. Indeed, the gas fields that are easier to reach are largely exploited,

while the gas fields that could be exploited in the future are quite difficult to reach (for instance, those that lay deep or very deep in the sea) or even featured by challenging exploitation or refining. This results in the need of new transport lines for mean or long distance (trunk lines or pipelines) that have to be designed also considering the use of more and more extreme pressures or temperatures, as well as more and more corrosive environments. In situations like these, low carbon alloy steels

are satisfying in terms of structure, even though they cannot be used in terms of stress corrosion cracking resistance if they are not protected enough. On the other hand, stainless steels and nickel alloys guarantee a satisfying corrosion resistance, however they are not suitable in terms of mechanical resistance (unless they are featured by very high thicknesses). This condition makes "solid" solutions unfitting in terms of either supply costs or the resulting plant management.

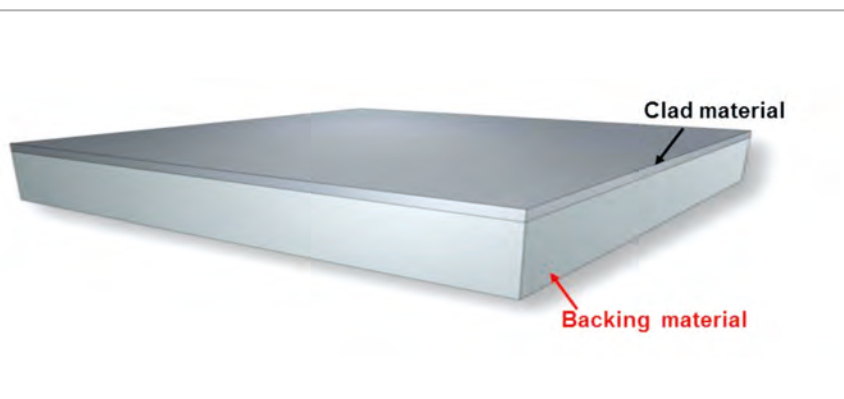
Le alte pressioni associate al processo di laminazione, favorite anche dall'alta temperatura (più alta è la temperatura più bassa è la pressione necessaria), creano le condizioni per il passaggio di atomi da un metallo all'altro, quindi per la creazione di un legame metallurgico tra i due materiali. La qualità dell'unione ottenuta tra i due materiali è verificata mediante il controllo ultrasonoro dell'interfaccia backing steel/clad (controllo del "disbonding" in accordo alla ASTM A 578) e la prova di strappo (shear test come descritto ad esempio nella ASTM A 263).

In Figura 3 è mostrata la microstruttura ottenuta al microscopio ottico della zona di giunzione di una lamiera clad costituita da una parte in acciaio al carbonio, in questo caso API 5L X65Q (spessore 30.5 mm), e una in lega di nichel, in questo caso UNS N00625 (spessore 3 mm).

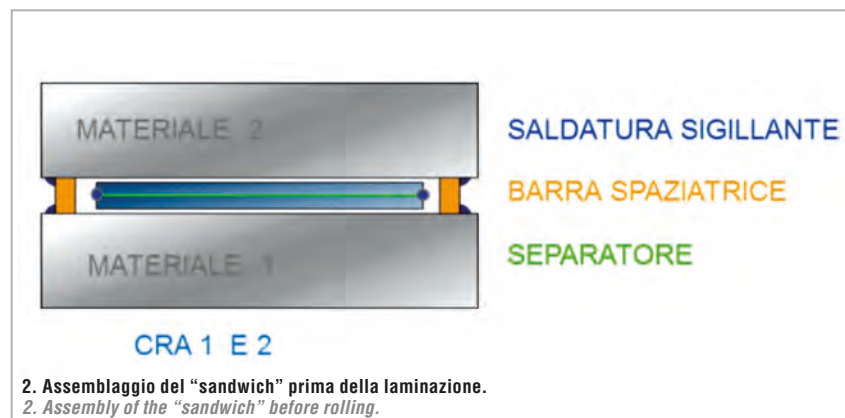
I profili di durezza relativi alla zona d'interfaccia (backing/clad) riportati nel grafico di Figura 4 evidenziano l'assenza di deleteri picchi di durezza che possono essere presenti per esempio all'interfaccia, lato acciaio al

carbonio, a seguito del processo di riporto mediante saldatura (overlay).

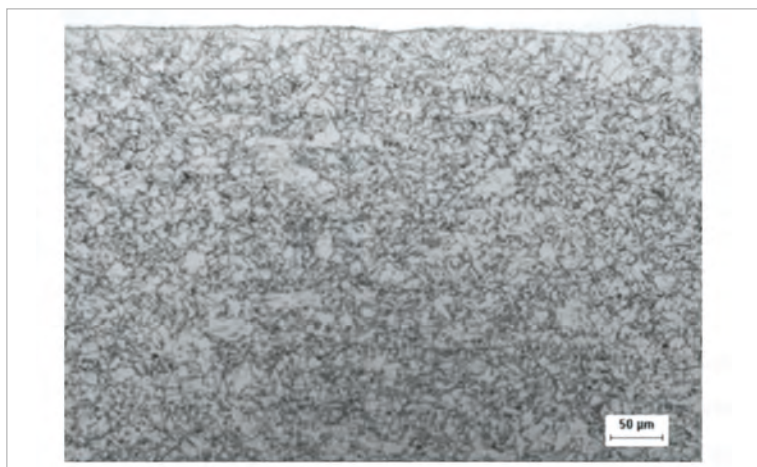
Tale circostanza indica che il processo di co-laminazione non influenza le proprietà all'interfaccia e che si ottiene un netto passaggio tra l'acciaio al carbonio e il materiale resistente alla corrosione. Ciò è confermato anche dall'analisi chimica, effettuata mediante misura a fluorescenza X (XRF), che evidenzia una composizione chimica uniforme, sino all'interfaccia, nel materiale resistente alla corrosione (Figura 5).



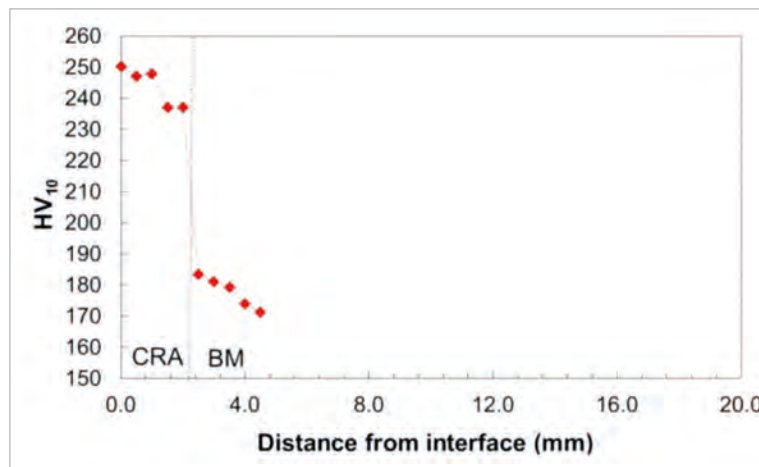
1. Schematizzazione di una lamiera clad. / 1. Schematization of a clad plate.



2. Assemblaggio del "sandwich" prima della laminazione. / 2. Assembly of the "sandwich" before rolling.



3. Microstruttura della zona di giunzione backing steel/CRA. / 3. Micro structure of backing steel/CRA junction area.



4. Profilo di durezza all'interfaccia backing steel/CRA. / 4. Hardness profile at backing steel/CRA interface.

Pipes and fittings manufactured from clad plate are featured by an outer part made of steel and carbon and by an inner part made of a thin layer (typically from 3 to 3.5 mm) of a corrosion resistant alloy. They are currently considered as the solution that, as for technology, is more suitable for the growing requirements in terms of either mechanical resistance or stress corrosion cracking resistance. These are also featured by the best cost/performance ratio.

In the latest years, several clad plate manufacturing methods have been developed or improved: hot roll bonding, explosion plating, overlay welding. Besides, some regulations addressed to either such a semi-product (e.g., ASTM A263-264-265) or pipes and fittings manufactured from the latter (e.g., API 5LD, DNV OS F-101) have been released. This article deals with the peculiar manufacturing processes of pipes and fittings obtained from clad plate produced through hot roll

bonding. In particular, the experience gained by Allied Group in the manufacturing and supply of these components will be mentioned.

Clad plate: features

A clad plate (Figure 1) is the result of the union of two or more metals, each of them chosen as for its own specific features. These metals are coupled by means of metallurgy through hot rolling. The resulting plate joins the high mechanical properties generally associated

Tubi e raccordi

Il Gruppo Allied, utilizzando lamiera co-laminata, produce tubi, raccordi e curve. In particolare: Gieminox Tectubi Raccordi Weld Pipe Division produce tubi clad; Tectubi Raccordi produce curve a caldo, curve a freddo, riduzioni, fondelli; OMP-Mongiardino Tectubi Raccordi Bending Division produce curve (bend $R > 3D$) a freddo e a caldo (in quest'ultimo caso con tecnica di riscaldamento ad induzione).

Tubi saldati longitudinalmente da lamiera clad (clad pipe)

Il processo produttivo utilizzato è il cosiddetto processo JCO. I bordi della lamiera vengono piegati, mediante opportuna pressa, (a J) come è visibile in Figura 6. Quindi, mediante piegatura a freddo realizzata per passi successivi usando una pressa idraulica, la lamiera viene formata fino a ottenere un tubo "aperto" (formatura a C) come quello visibile in Figura 7. Tramite saldatura longitudinale, il tubo viene chiuso (chiusura a O) utilizzando, in funzione del materiale e degli spessori, le tecniche si salda-

tura più opportune: SAW, GTAW, PAW, GMAW.

Come esempio, in Figura 8 è riportata una macrografia ricavata da una sezione trasversale di un cordone saldato di un tubo prodotto da lamiera co-laminata. Dalla macrografia è visibile la passata interna (r), cosiddetta di restoring, che ripristina, nella zona del cianfrino all'interno del tubo, lo spessore richiesto di clad.

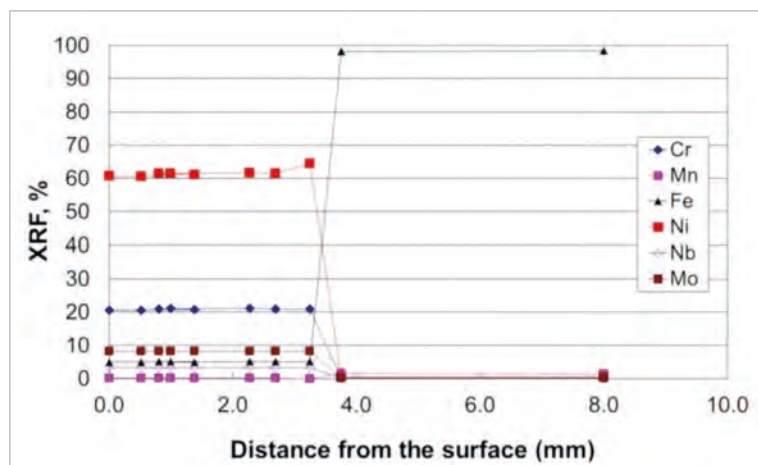
Dopo l'effettuazione di eventuali trattamenti termici post saldatura (tipicamente una distensione) e della prova in pressione, il cordone saldato del tubo, solitamente di lunghezza pari a 12 m, viene quindi controllato mediante controlli non distruttivi volumetrici e superficiali. Come controlli volumetrici sono utilizzati sia il controllo automatico ultrasonoro (AUT) mediante Phased Array, sia quello radiografico (digitale o a film). Infine la superficie interna del tubo, in funzione delle richieste del progetto, viene sabbiata o decapata e passivata.

Il controllo della produzione della qualità dei tubi clad avviene in termini di proprietà meccaniche della parte in acciaio

al carbonio (prova di trazione, Charpy-V) e di resistenza alla corrosione della parte CRA in funzione del materiale costituente (ASTM E262, ASTM G48, ASTM G28 etc). Inoltre, poiché come già detto lo spessore del CRA deve garantire la resistenza alla corrosione del tubo, viene periodicamente verificato, durante la produzione, che la passata di restoring non riduca la resistenza alla corrosione a causa della diluizione della lega costituente il CRA con il materiale costituente il backing steel. Pertanto, viene deter-



7. Lamiera clad formata a C (open pipe).
7. C-formed clad plate.



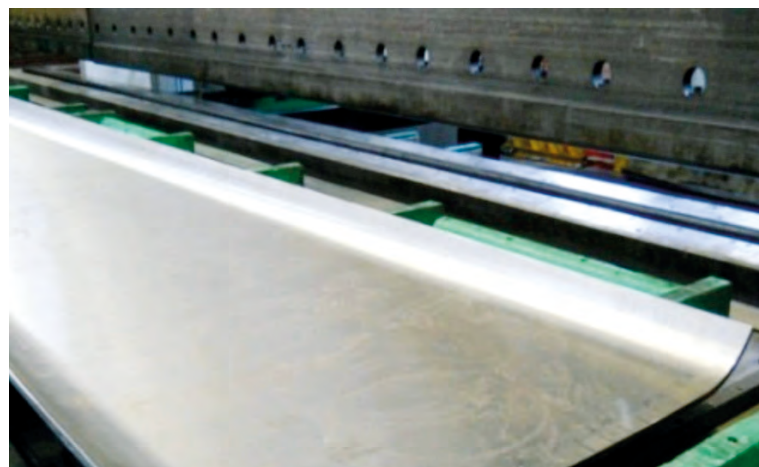
5. Analisi chimica XRF a varie profondità del CRA.
5. XRF chemical analysis of the CRA at different deepness.

to carbon or low alloy steel (backing material) and corrosion resistance of stainless steels (e.g., UNS S31603) or nickel alloys (e.g. UNS N08825 or UNS N00625) (clad material).

The metallurgic coupling of the two metals that make clad plate is obtained, during hot rolling process, through the right conditions featured by high temperatures and pressures. Basically, in order to generate a metallic bond, the atoms of the two materials need to "get closer" up to a distance in the vicinity of nm (inter-

atomic distance). To do that, the surfaces of the two metals need to be as much as possible free from impurities, such as grease or oxides, or rather surface irregularities. Besides, during the rolling process, any gas that could possibly react with the materials need to be removed (vacuum-sealed "sandwich" rolling). A material that cannot be oxidized (separator) is placed between plate surfaces of corrosion resistant alloys (CRA) during the rolling process, as shown in Figure 2.

The high pressures associated to rolling process, also favoured by high temperature (the higher the temperature, the lower the pressure needed), create the conditions for the passage of atoms from one material to the other, then for the creation of a metallurgic bond between the two materials. The quality of the union obtained between the two materials is controlled through ultrasonic inspection of backing steel/clad interface (disbanding control in compliance with the ASTM A 578) and the shear test

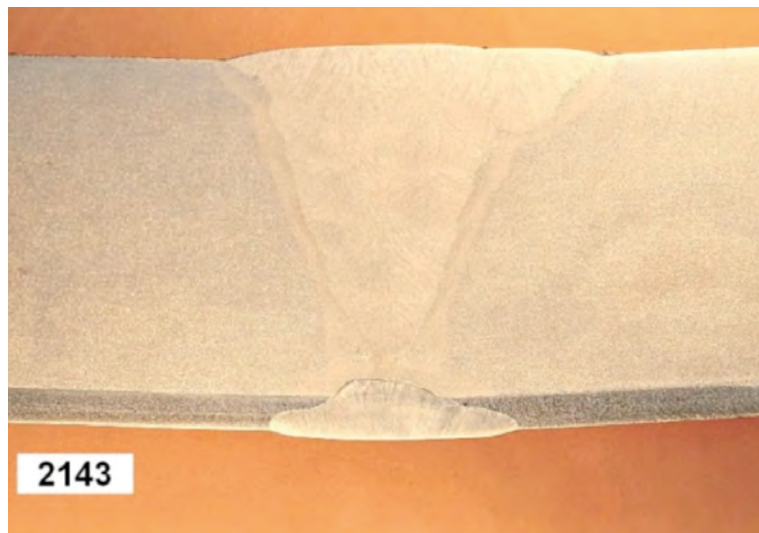


6. Lamiera clad con bordi pre-piegati (a J). / 6. Clad plate with pre-bent (J) edges.

minato, tramite analisi a fluorescenza a raggi X (XRF), o il contenuto di Fe nella zona fusa della passata di radice a una profondità di circa 3 mm a partire dalla superficie interna del tubo; o la composizione chimica, nel caso degli inossidabili, che deve soddisfare i requisiti composizionali del materiale costituente il clad.

Considerando l'accoppiamento in campo dei tubi clad mediante saldatura circonferenziale e l'ulteriore possibilità di dover accoppiare in campo parti di tubo, con lunghezze minori, ottenute dal taglio del tubo stesso, i requisiti normalmente richiesti di tolleranza sul diametro interno (tipicamente + 1 mm) e sull'ovalizzazione sono molto stringenti.

In funzione delle applicazioni, acciai di diverso grado possono costituire il backing steel: acciai al C-Mn, acciai basso legati, acciai bonificati. Il materiale costituente il CRA è invece di solito un acciaio inossidabile (ferritico, austenitico o austeno-ferritico), una lega di nickel o un super-austenitico.



8. Macrografia di una sezione trasversale del cordone saldato di un tubo clad.
8. Macrograph of the cross section of a clad pipe weld seam.



9. Esempi di tubi clad. / 9. Examples of clad pipe

(as described, for instance in the ASTM A 263). Figure 3 shows the micro structure obtained at the optical microscope of the area of junction of a clad plate made of a part in carbon steel, in this case API 5L X65Q (thickness 30.5 mm), and another part of nickel alloy, in this case UNS N00625 (thickness 3 mm).

The hardness profiles related to the backing/clad interface shown in Figure 4 highlight the absence of harmful hardness peaks that may feature, for instance, the interface on the carbon steel side, following the overlay process through welding.

This implies that roll bonding process does not influence the interface properties and that a sharp passage between carbon steel and corrosion resistant material is obtained. This is also proven by the chemical analysis, performed through x-ray fluorescence (XRF), which highlights a uniform chemical composition, up to the interface, in corrosion resistant material (Figure 5).

Pipes and fittings

Allied Group manufactures pipes, fittings and bends by using roll bounded plate. In particular: Gieminox Tectubi Raccordi Weld Pipe Division manufactures clad pipes; Tectu-

bi Raccordi manufactures hot-formed bends, cold-formed bends, reducers and caps; OMP-Mongiardino Tectubi Raccordi Bending Division manufactures cold-formed and hot-formed bends ($R > 3D$), in the last case through induction heating.

Pipes welded lengthwise from clad metal sheet (clad pipe)

In this case, the manufacturing process is called JCO. By means of the right press, plate edges are J-bended, as shown in Figure 6. Then, through cold bending performed in following steps by means of a hydraulic press, the plate is formed up to obtain an "open" pipe (C-forming) like the one shown in Figure 7. Through lengthwise welding, the pipe is then closed (O-closing) by using the most specific welding techniques according to both materials and thicknesses: SAW, GTAW, PAW, GMAW.

For example, Figure 8 shows a macrograph obtained by a cross section of a weld seam of a pipe manufactured from roll bonded plate. The macrograph shows the inner coating (restoring, r), that restores the clad thickness required in the chamfer area inside the pipe. After performing some thermal treatments fol-



11. Gusci prodotti da lamiera clad mediante formatura a caldo.
11. Shells manufactured from clad plate through hot forming.

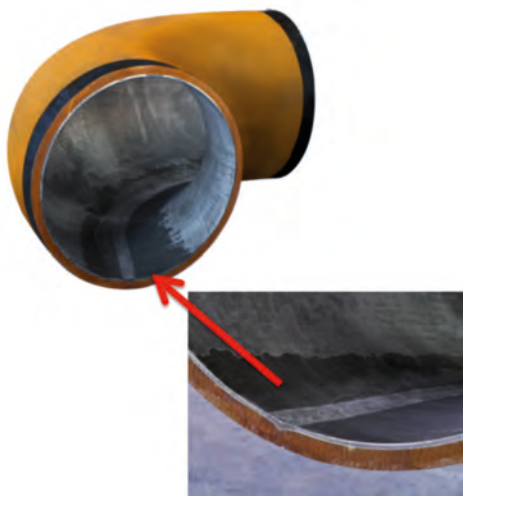
lowing the welding operation (typically a stress relieving) as well as pressure test, the pipe weld seam, usually 12 m long, is then inspected through volume and surface non-destructive tests. Either automatic ultrasonic testing (AUT), through Phased Array, or X-ray testing (digital or film) are used as volumetric tests. Finally, pipe inner surface is sandblasted, pickled or passivated according to the project requirements.

The control of clad pipes quality manufacturing is performed in terms of mechanical properties of the carbon steel part (traction test,

I raccordi

Per la produzione dei raccordi, il materiale di partenza è il tubo clad (prodotto in Gieminox Tectubi Raccordi Weld Pipe Division) oppure la lamiera clad opportunamente tagliata mediante plasma.

Il tubo clad viene, infatti, utilizzato per la produzione, in Tectubi Raccor-



10. Esempio di curva a freddo prodotta da tubo clad.
10. An example of cold bend manufactured from clad pipe.

di, di curve a freddo tipicamente nel campo di diametri da 6" a 16". In Figura 10 è visibile una curva a freddo di 16", prima della verniciatura esterna protettiva, prodotta partendo da un tubo clad.

Per curve di più grande diametro (da 18" a 120") il processo di produzione utilizzato è quello della formatura a caldo. Le fasi di produzione in questo caso sono le seguenti: taglio al plasma della lamiera clad; formatura a caldo (780°C ÷ 980°C) dei due gusci che costituiranno la curva (Figura 11); imbastitura e saldatura (mediante procedimenti GMAW-STT e SAW) (Figura 12); controlli non distruttivi volumetrici (UT, RT) e superficiali (PT); trattamento termico finale.

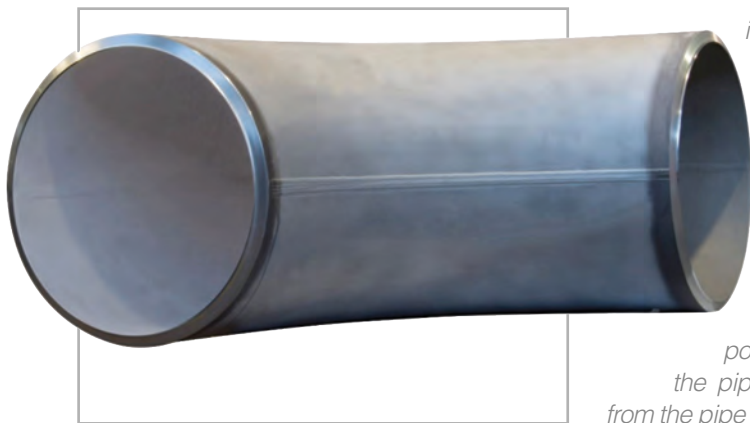
Ovviamente anche nel caso del fitting il controllo della produzione, mediante prove distruttive, avviene in termini di: proprietà meccaniche della parte in acciaio al carbonio (prova di trazione, resilienza Charpy-V); resistenza alla corrosione della parte CRA in funzione del materiale costituente (ASTM E262, ASTM G48,

ASTM G28 etc.); proprietà composizionali, mediante analisi a fluorescenza a raggi X del contenuto in Fe (profondità pari a -3 mm) della passata di radice per le leghe di nickel o requisiti composizionali del materiale costituente il clad.

Curve piegate a induzione e a freddo

La produzione delle curve (R>3D) piegate a caldo a induzione avviene mediante l'utilizzo di tubi clad (mother pipe) saldati longitudinalmente. Mediante questo processo OMP-Mongiardino Tectubi Raccordi Bending Division riesce a produrre curve con diametro tra 3" e 56".

La curvatura avviene riscaldando una fascia circonferenziale mediante un induttore che avanza con continuità, lungo il tubo da piegare, durante l'operazione di piega meccanica. In Figura 13 è visibile un tubo clad durante l'operazione di piega a caldo. Il cordone di saldatura delle curva così ottenuta viene quindi controllato mediante ultrasuoni e liquidi penetranti



12. Curva dopo saldatura. / 12. Bend after welding operation.

Charpy-V) as well as corrosion resistance of the CRA part according to its material (ASTM E262, ASTM G48, ASTM G28 and so on). Besides, as already mentioned, the CRA thickness needs to ensure pipe corrosion resistance. For this reason, during the manufacturing process, it is needed to sometimes check that restoring coating does not reduce corrosion resistance because of the dilution of the CRA with the material of the backing steel. Therefore, through an X-ray fluorescence (XRF) analysis, either the content of Fe in the melted area of the root wormhole around 3 mm deep start-

ing from the pipe inner surface, or rather its chemical composition that, in the case of stainless steels, needs to meet the compositional requirements of the material that makes up the clad are determined.

Considering the field coupling of clad pipes through circumferential welding and the further possibility to field couple parts of the pipe, with lower lengths, obtained from the pipe cut itself, tolerance requirements normally wanted as for both the inner diameter (typically +1 mm) and the ovalization are quite strict. According to their application, steels with different degrees can make up the backing steel: C-Mn steels, low alloy steels or tempered steels. The material that makes up the CRA, however, is usually a stainless steel (ferritic, austenitic or austenitic-ferritic steels), a nickel alloy or a super-austenitic steel.

Fittings

As for fittings manufacturing, the starting material is a clad pipe (coming from Gieminox Tectubi Raccordi Weld Pipe Division) or rather a clad plate opportunely plasma cut. In fact,

at Tectubi Raccordi the clad pipe is used for manufacturing cold-formed bends with diameters typically ranging from 6" to 16". Figure 10 shows a 16" cold-formed bend, before the protective outer painting, manufactured starting from a clad pipe.

As for bends featured by larger diameter (from 18" to 120"), the manufacturing process chosen is hot-forming. In this case, the manufacturing stages are the following: plasma cut of clad plate; hot-forming (780°C to 980°C) of the two shells that will make up the bend (Figure 11); tacking and welding (through GMAW-STT and SAW processes) (Figure 12); non-destructive volumetric (UT, RT) or dye penetrant (PT) tests; final thermal treatment.

Of course, also as for fittings, production control, through destructive testing, is performed in terms of: mechanical properties of the carbon steel part (traction test, Charpy-V); corrosion resistance of the CRA part according to its material (ASTM E262, ASTM G48, ASTM G28 and so on); compositional properties, through X-ray fluorescence (XRF) analysis of the content of Fe (-3 mm deep) of the root wormhole as for nickel alloys or rather compositional requirements of the material that makes up the clad.

ti. Normalmente il processo di piega è seguito da un trattamento termico della curva (solitamente un trattamento di bonifica). In Figura 14 sono visibili due curve piegate a induzione da tubi clad pronte per la spedizione. Generalmente, le curve con $R/D < 4$ sono indicate per essere prodotte mediante piega a induzione mentre per le curve con $R/D \geq 4$ Tectubi Raccordi suggerisce, come valida alternativa, la piegatura a freddo. Tale metodologia è, infatti, applicabile, senza alterarne le proprietà meccaniche, a tubi prodotti utilizzando per backing material da lamiera TMCP. Quest'ultimo, acronimo di Thermo-Mechanical Control Processing (TMCP) è un processo di laminazione controllata di solito associato a un raffreddamento controllato. Il processo TMCP produce lamiera a grano fine e incrementata saldabilità (bassi valori di C_{eq}) mediante il controllo della composizione chimica e dei parametri di processo di produzione. La piega a freddo di curve da 4D in su è quindi consigliabile per tubi



13. Processo di piegatura mediante induzione di un tubo clad.
13. Bending process through clad pipe induction.

(mother pipe) prodotti da lamiera TMCP che, come è noto, non devono essere sottoposte a temperature di trattamento superiori a 595°C (in accordo ad API 2W).

In generale, comunque, le proprietà meccaniche delle curve sono comun-

que garantite e qualificate in accordo alle principali specifiche di prodotto (e.g. DNV OS-F101, ISO 15590) integrate solitamente da quelle relative al progetto di riferimento.

I tubi, i raccordi e le curve piegate ad induzione realizzati partendo da lamiera clad, cioè costituite da una parte esterna in acciaio al carbonio o basso legato e all'interno un sottile strato di una lega resistente alla corrosione, sono considerati attualmente la scelta più adatta alle crescenti esigenze di resistenza meccanica, resistenza alla corrosione e comunque capaci di rappresentare una soluzione con un buon rapporto costi/prestazioni.

Tali prodotti rappresentano quindi una soluzione ideale per il settore Oil&Gas per applicazioni, oltre che onshore, quali quelle offshore e subsea.

QUALIFICA AUTORI

Maurizio Fersini - Allied International, Gruppo Allied

Fabrizio Filaferro - Gieminox Tectubi Raccordi, Gruppo Allied



14. Curve piegate mediante processo a induzione.
14. Bends obtained through an induction process.

Cold-induction bended elbows

The manufacturing of hot-induction bended elbows ($R > 3D$) is performed through the use of clad pipes (mother pipes) welded lengthwise. This process allows OMP-Mongiardino Tectubi Raccordi Bending Division to manufacture bends with diameter ranging from 3" to 56".

The bending process is performed by heating a circumferential band through an inductor that moves forward continuously along the pipe to be bent during mechanical bending operation. Figure 13 shows a clad pipe during hot-bending operation. The resulting bend weld seam is then controlled through ultrasounds and penetrating liquids. Normally, the bending process is followed by a thermal treatment involving the bend (usually a temper treatment). Figure 14 shows two induction bended elbows from clad pipes ready to be delivered.

Generally, bends with $R/D < 4$ are suitable to be manufactured through induction bending; on the other hand, as for $R/D \geq 4$ Tectubi Raccordi suggests, as a valid option, cold-bending. In fact, this method can be used, without affecting their mechanical properties, as for pipes manufactured by using TMCP plate as backing material. The latter is the acronym for Thermo-Mechanical Control Processing (TMCP) and is a controlled rolling process usually associated to a controlled cooling. TMCP process produces fine-grained plates with increased stability (low C_{eq}

values) through the control of chemical composition as well as production process parameters.

Cold bending of elbows from 4D on is recommended for mother pipes manufactured from TMCP plate that, as widely known, don't need to be subjected to temperatures higher than 595°C (in compliance with API 2W).

Generally speaking, however, mechanical properties of bends are guaranteed and qualified in compliance with the main product specifications (e.g. DNV OS-F101, ISO 15590) usually integrated by the ones related to a specific project. Pipes, fittings or induction bent elbows manufactured from clad plate, that is to say made of an outer part of carbon steel or low alloy steel and of a thin layer of a corrosion resistant alloy, are currently considered the most suitable choice as for the growing requirements in terms of mechanical resistance or corrosion resistance. This solution is also featured by quite a satisfying cost/performance ratio. Therefore, these products are indeed the ideal solution for the oil & gas field as for onshore, offshore or subsea applications.