

**Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie**

**Wpływ powłoki Al-Si na proces
wytwarzania i jakość zgrzewanych
aluminowanych rur stalowych**

**The influence of Al-Si coating on
the manufacturing process and quality
of welded aluminized steel tubes**

KRZYSZTOF ŻABA

Kraków 2013

RECENZENCI (REVIEWERS)

Prof. dr hab. inż. Józef Zasadziński
Prof. dr hab. inż. Franciszek Grosman

© *Copyright by Wydawnictwo Naukowe AKAPIT, Kraków 2013*
Printed in Poland

ISBN 978-83-63663-15-5



Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków
tel./fax (012) 280-71-51; www.akapit.krakow.pl
e-mail: wn@akapit.krakow.pl

SPIS TREŚCI

Streszczenie.....	7
Summary.....	8
Wykaz oznaczeń.....	9
Wprowadzenie.....	11
1. Stan zagadnienia.....	15
1.1. Charakterystyka procesu aluminowania.....	15
1.2. Charakterystyka aluminowanych taśm stalowych.....	16
1.3. Struktura powłoki Al-Si po procesie aluminowania ogniowego.....	18
1.4. Odkształcalność aluminowanych taśm stalowych.....	24
1.5. Korozja aluminowanych taśm stalowych.....	25
1.6. Struktura powłoki Al-Si po obróbce termicznej.....	27
1.7. Rury stalowe ze szwem.....	30
1.7.1. Uwagi wstępne.....	30
1.7.2. Metody kształtowania rur szczelinowych z taśmy.....	30
1.7.3. Metody łączenia rur szczelinowych.....	34
1.8. Proces technologiczny wytwarzania aluminowanych rur stalowych ze szwem, zgrzewanych prądami wielkiej częstotliwości.....	37
2. Problematyka badawcza.....	53
3. Zakres i metodyka badań.....	63
3.1. Zakres badań.....	63
3.2. Metodyka badań.....	66
3.2.1. Metody badawcze uniwersalne wykorzystywane w badaniach aluminowanej taśmy stalowej, jednostkowych procesach wytwarzania rur oraz badaniach jakości rur.....	66
3.2.2. Metody badawcze wykorzystywane w badaniach aluminowanej taśmy stalowej, oraz badaniach jakości rur.....	71
3.2.3. Pozostałe metody wykorzystywane w badaniach aluminowanej taśmy stalowej.....	70
3.2.4. Pozostałe metody wykorzystywane w badaniach jednostkowych procesów wytwarzania aluminowanych rur stalowych.....	73
3.2.5. Pozostałe metody wykorzystywane w badaniach aluminowanych rur stalowych.....	74
4. Wyniki badań.....	79
4.1. Wyniki badań aluminowanych taśm stalowych.....	79
4.2. Wyniki badań w jednostkowych procesach wytwarzania aluminowanych rur stalowych.....	91
4.2.1. Badania w procesie rozcinania taśmy.....	91
4.2.2. Badania w procesie perforowania taśmy.....	96
4.2.3. Badania w procesie usuwania powłoki z krawędzi taśmy.....	103

4.2.4. Badania w procesie formowania rury szczelinowej.....	104
4.2.5. Badania w procesie zgrzewania rury.....	109
4.2.6. Badania w procesie usuwania wypłytki	119
4.2.7. Badania w procesie uzupełniania powłoki.....	121
4.2.8. Badania w procesie kalibrowania rur	124
4.2.9. Badania w procesie cięcia rur	124
4.3. Badania jakości aluminiowanych rur stalowych.....	126
5. Analiza wyników – ujęcie syntetyczne.....	133
6. Podsumowanie	139
Literatura	143

WPŁYW POWŁOKI Al-Si NA PROCES WYTWARZANIA I JAKOŚĆ ZGRZEWANYCH ALUMINIOWANYCH RUR STALOWYCH

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono badania laboratoryjne i przemysłowe, dotyczące wpływu oddziaływania powłoki Al-10%Si na proces wytwarzania oraz jakość zgrzewanych, aluminiowanych rur stalowych. W badaniach wykorzystano taśmy i wytworzone z nich rury stalowe z powłoką Al-10%Si w gatunku DX52D+AS120. Badania podzielono na trzy etapy. W pierwszym etapie wykonano badania aluminiowanej taśmy stalowej przeznaczonej na rury zgrzewane. Określono stabilność grubości i składu chemicznego taśmy, grubości i chropowatości powłoki oraz mikrotwardości powłoki i podłoża. Wykonano badania struktury powłoki i podłoża. Zrealizowano badania właściwości mechanicznych oraz podatności do plastycznego kształtowania taśm ze szczególnym uwzględnieniem przyczepności powłoki. Określono odporność powłoki Al-10%Si na ścieranie, erozję, korozję oraz szoki cieplne. W drugim etapie zrealizowano badania w jednostkowych procesach wytwarzania rur zgrzewanych. Wykonano badania w procesie cięcia taśm, perforowania taśm, usuwania powłoki z krawędzi taśmy, formowania rur, zgrzewania rur, usuwania wypłytki, napyłania powłoki na zgrzew, kalibrowania i cięcia rur, ukierunkowane na określenie wpływu oddziaływania powłoki na procesy i procesów na powłokę. W trzecim etapie gotowe rury poddano ocenie jakości. Określono stabilność średnicy i grubości ścianki rur oraz grubości, chropowatości i mikrotwardości powłoki. Wykonano obserwacje stanu powierzchni powłoki, obserwacje mikroskopowe oraz mikroanalizy składu chemicznego powłoki i podłoża w obszarze zgrzewu i w obszarach na obwodzie rury. Zrealizowano także badania właściwości mechanicznych oraz podatności do plastycznego kształtowania rur ze szczególnym uwzględnieniem przyczepności powłoki, w testach rozciągania równoległego i na stożku oraz rozciągania i spłaszczania pierścienia. Określono odporność powłoki Al-10%Si na rurach na ścieranie, erozję, korozję oraz szoki cieplne. W pracy udowodniono, że powłoka Al-Si decyduje o cechach technologicznych materiału wsadowego, wpływa na jednostkowe procesy wytwarzania rur oraz decyduje o jakości aluminiowanych rur stalowych. Przedstawione w pracy kompleksowe podejście do problemu wytwarzania rur pozwala na opracowanie wytycznych umożliwiających produkcję aluminiowanych, zgrzewanych rur stalowych, z uwzględnieniem wpływu powłoki Al-10%Si.

THE INFLUENCE OF Al-Si COATING ON THE MANUFACTURING PROCESS AND QUALITY OF WELDED ALUMINIZED STEEL TUBES

SUMMARY

The thesis presents laboratory and industrial research on the impact of the Al-10%Si coatings to the manufacturing process and the quality of welded aluminized steel pipes. In the research was used the tape and formed pipes of steel, grade DX52D + AS120 coated with Al-10%Si. The study was divided into three phases. In the first stage, were performed tests of aluminized steel strip intended for welded tubes. Determined stability of thickness and chemical composition of the tape, thickness, surface roughness and microhardness of the coating layer and the substrate. Research on the structure of the coating and the substrate were performed. The study of the mechanical properties and the susceptibility to the plastic forming of tapes with special emphasis on adhesion of the coating were realized. Resistance of the coating of Al-10%Si to abrasion, erosion, corrosion and thermal shocks were determined. In the second stage, the test was carried out during individual production processes of the welding tubes. Research on the process of cutting, perforing tapes, stripping coating from the tapes edge, pipes forming and welding, removing the flash, spraying coating on weld, sizing and cutting pipes focused on determining the impact of the coating on processes and processes on coating. In the third stage ready pipes were quality evaluated. Defined diameter stability and wall thickness, and the thickness, surface roughness and microhardness of the coating. On surface coating were made macro and microscopic observations and chemical microanalysis of coating and substrate in the sealing areas on the circumference of the pipe. Completed the study of the mechanical properties and the susceptibility to plastic forming pipes with particular emphasis on adhesion of the coating, when tested in parallel expanding cone expanding and ring stretching and flattening. Resistance of the coating of Al-10%Si on pipes to abrasion, erosion, corrosion and thermal shocks were determined. The study demonstrated that Al-Si coating determines the technological characteristics of the feed material, affects the individual pipe manufacturing processes and determines the quality of aluminized steel pipes. Comprehensive approach to the problem of production of pipes presented in thesis allows to the develop guidelines for the production aluminized, welded steel pipes, including the impact of coating Al-10%Si.