

KETEBALAN PELAPIS PIPA AIR UNTUK MENCEGAH DARI KOROSI LUAR DENGAN *HOT DIPPING GALVANIC*

S. M. B. Respati^{*)}

Abstrak

Besi mampu bentuk adalah bahan untuk pipa yang sudah dikenal dan banyak digunakan sejak tahun 1970 an. Untuk perlindungan dari korosi eksternal pengembangannya masih dilakukan sampai sekarang disesuaikan dengan kondisi- kondisi yang sekarang terjadi atau menurut perkembangan perpipaan. Karena sekarang ini instalasi perpipaan selain dituntut tidak hanya awet dan tahan bocor tapi juga keindahan dalam instalasi juga kondisi-kondisi yang berbeda seperti kondisi lingkungan, kondisi operasional serta letak geografis dari pemasangan instalasi pipa, korosi internal akibat tekanan dalam sistem perpipaan, serta waktu yang berbeda menurut jamannya.

Tujuan dari paper ini membuat pemikiran metoda baru ditemukan dalam pelapisan pipa dan melihat dari pengalaman-pengalaman orang terdahulu. Paper ini menyediakan metoda perlindungan karatan dengan seng galvanis.

Kata kunci: *Pipa besi mampu bentuk, korosi, pelapisan pencelupan.*

Pendahuluan

Korosi pada pipa besi saluran air adalah sifat alamiah yang sering ditemui pada lingkungan, seperti lapisan besi yang agresif, batang-batang rel yang berlainan dan arus listrik baterai cair. Kondisi-kondisi ini mempengaruhi formasi dari sel electrochemical dimana korosi dari luar dapat membentuk lubang yang semakin besar dan dalam sehingga dapat menyebabkan kebocoran dan sering terjadi pada *ductile iron* (besi mampu bentuk) dan grafitasi di dalam *cast iron* (besi cor). Lubang kecil dan grafitasi dapat berkembang sejak 5 tahun atau pada 30 sampai 65 tahun setelah instalasi jadi. Korosi adalah suatu proses electrochemical umumnya terjadi pada dua dasar yaitu korosi galvanis dan elektrolitik. Korosi galvanis melibatkan arus elektrik langsung yang dihasilkan oleh sel galvanis, sedangkan eletrolistic korosi arus searah dari sumber eksternal.

Pipa besi mampu bentuk diproduksi dengan kandungan fosfor dan belerang rendah, ketika magnesium ditambahkan pada besi cor kelabu. Penambahan magnesium menyebabkan karbon didalam besi untuk mempercepat dalam pembekuan dalam bentuk bongkahan kecil-kecil. Sifat mekanis yang diinginkan pada kekuatan dan mampu bentuk adalah sasaran dari subyek untuk besi mampu bentuk di perlakukan panas, dimana

mengeliminasi dari kerapuhan mikrostruktur selama proses penuangan. Akhir dari mikrostruktur besi mampu bentuk adalah didistribusikan dari bongkahan grafit kecil-kecil yang seragam di dalam besi ferit. Kontrasnya grafit dalam wujud lapisan atas di pipa besi cor kelabu.

Sejak tahun 1970 semua besi mampu bentuk kecuali besi cor kelabu adalah mteril pipa, diperkirakan tahun 1994 di Amerika Serikat 19% semua pipa utama dibuat dari besi mampu bentuk dan pipa baru untuk instalasi digunakan sekitar 48% adalah besi mampu bentuk. Ranjani dan Mcdonald tahun 1995 mensurvey dari 21 kota di Canada 11% yang menggnakan proporsi yang sama (Ranjani B, 2003)

Pipa utama dapat dilindungi dari korosi oleh alat-alat pasif seperti pelapisan atau pembungkusan, alat-alat aktif seperti perlindungan cathodic. Sering alat-alat aktif dan pasif digunakan bersama atau dikombinasikan untuk saling melengkapi dalam melindungi sistem perpipaan. Pelapisan menggunakan elektrik untuk mengisolasi pipa dari lingkungan, dengan demikian memutus arus elektrik yang mengalir dan mencegah formasi sel korosi. Perlindungan cathodic bekerja untuk membalikkan arah arus elektrik sehingga melindungi pipa dari formasi sel korosi.

^{*)} Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang
Jl Menoreh Tengah X/22 Semarang

Sasaran

1. Meninjau dari tersedianya metoda untuk melindungi besi melawan terhadap korosi.
2. Menguraikan ketebalan lapisan sehingga dapat tahan terhadap korosi pada waktu tertentu.

Model Korosi

Mekanisme korosi sulit untuk dipahami, tiga tipe korosi yang menyerang pipa baja, besi mampu bentuk dan pipa besi cor kelabu (Ranjani B, 2003).

1. Korosi lubang kecil.

Korosi lubang kecil adalah korosi yang di lokalisir membuat lubang kecil pada dinding pipa, lubang kecil ini dapat membesar pada permukaan pipa sampai tembus ke dalam hingga menghasilkan kebocoran air (lihat gambar 1). Korosi lubang kecil sebagian besar menyerang pipa baja dan besi cor kelabu walaupun memungkinkan ada juga pada pipa mampu bentuk, lubang kecil ini ketika dalam dan besar dapat menyebabkan melemahnya struktur pipa, Pipa mungkin terdapat korosi lubang kecil karena tekanan eksternal yang berlebihan, memen bending, tekanan panas atau tekanan internal.



Gambar 1. Korosi eksternal pada pipa besi mampu bentuk, (sumber: Ranjani)

2. Graphitasi

Graphitasi adalah isi besi yang dilepaskan melalui korosi pada suatu lokasi korosi lubang kecil meninggalkan karbon (mengkelupas). Hal ini sering terjadi pada besi cor kelabu. Graphitasi sama dengan korosi lubang kecil yaitu memperlemah struktur pipa tapi berbeda cara dalam membuat pipa bocor. Sering graphitasi tidak bocor sekalipun isi besi yang dikeluarkan semua sebab grafit yang ditinggalkan membentuk gumpalan yang dapat mencegah air dari kebocoran (lihat gambar 2). Bagaimanapun gumpalan ini dapat lepas karena pergerakan tanah, tekanan air dan lain-lain, yang menyebabkan kebocoran.



Gambar 2. Pipa air dibawah tekanan (sumber: Ranjani).

Korosi dapat dimulai dari perlakuan transportasi dan pembuatan instalasi. Hal ini dapat membuat pipa cacat dan memperngaruhi kekuatan dari pipa. Sebagai contohnya suatu besi cor utama ditemukan goresan yang dalam dan panjang pada pelapisan saat pemasangan instalasi. Korosi yang berkembang dari goresan ini dan ketika mencapai kedalaman tertentu menyebabkan pipa retak karena goresan korosi (lihat gambar 3).



Gambar 3. Pemisahan yang panjang mengikuti garis korosi yang menyebabkan retak pada pelapisan (sumber: Ranjani)

Perlindungan Korosi

Pelapisan

Pelapisan secara elektrik mengisolasi material dari lingkungan untuk mencegah aliran elektron kembali ke formasi pada suatu sel korosi. Pelapis yang efektif adalah mudah untuk diaplikasikan dan perbaikannya, melekat dengan baik, tahan terhadap geomechanical, zat kimia dan bakteri yang agresif. Ini adalah fleksibel diamana kekuatan elektrik yang baik, secara kimia dan fisik stabil baik pula bersifat melindungi dalam jangka waktu yang panjang.

Idealnya pelapisan dapat melindungi 99% dari permukaan material didalamnya. Faktor yang mungkin mempengaruhi pelapisan termasuk melewati mesin pelapis, penanganan yang kasar, penetrasi dari batu atau bekasnya selama pengisian, retak yang berlebihan dari tekanan mekanik atau termal. Aksi dari bakteri yang merusak aktifitas konstruksi.

Pada review ini dibahas pelapisan yang digunakan seng galvanisasi.

Seng Galvanisasi

Seng Galvanisasi untuk besi cor pipa utama dimulai di Eropa awal tahun 1960. Mereka tahun 1981 melaporkan di Prancis sukses yang tinggi menggunakan seng sebagai dasar untuk melapisi besi cor dan besi mampu tempa. Dia menggambarkan percobaan dengan demonstrasi "healing power" pelapisan untuk mengurangi sel korosi yang terjadi pada potongan dan goresan pipa logam. Bruised menyoroti pipa pada area katoda kecil untuk seng pelapis pipa-pipa dimana sebagian besar permukaan anoda. Pelapis seng menjadi katoda melindungi logam (Ranjani B, 2003).

Ditahun terakhir galvanisasi merupakan metoda yang populer untuk melindungi pipa besi mampu bentuk di Eropa dan Jepang. Pelapis seng adalah di aplikasikan untuk pipa yang dicelupkan atau disemprotkan. Dan umumnya dilindungi lapisan tertinggi pelindung polyethylene, vernis, vernis ter buatan untuk pelindung ekstra. Seng pelapis pipa telah digali dari tahun-ketahun dari lapisan tanah, dilaporkan untuk produk seng pelapis putih yang bersifat melindungi walaupun seng juga dapat berkarat. Tidak ada laporan tentang ketahanan dari pelapis ini apakah terdapat gangguan yang berkompromi integritasnya, membongkar pipa untuk memperbaiki korosi. Lebih lanjut lapisan ini tidak bisa membentuk di tanah acidic.

Hot-dipping Galvanis telah digunakan dalam berbagai variasi pemasaran lebih dari 100 tahun, sebagai metoda perlindungan korosi, langkah-langkah dasar dari prosesnya sebagai berikut:

1. Komponen adalah termasuk dalam solusi alkali tanah.
2. Permukaan korosi dan kulit karat yang mengelupas dipindahkan.
3. Komponen adalah suatu perubahan cairan terus-menerus untuk mencegah oksidasi sebelum dicelupkan dalam seng cair.
4. Komponen dicelupkan pada seng cair dengan temperatur 850° F.
5. Komponen ditarik dari seng cair dan kelebihan seng dapat dipindahkan dengan

mengalirkan atau diputar sampai dingin dan kering.

6. Komponen diperiksa setelah proses komplit.

Dalam Hot-dipped galvanis penting untuk mempertahankan temperatur pencelupan, diatas temperatur seng yang dicairkan (Radizik, Joseps G, 2002)

Material Seng Melindungi Baja Dari Korosi

Seng melindungi baja dari korosi, alasan untuk menggunakan *hot dipping galvanic* yang luas adalah dua cara melindungi alami untuk pelapisan. Sebagai lapisan penghalang ini menyediakan suatu kelebihan. Pelapis dengan menggunakan ikatan metalurgi seng yang sepenuhnya menutupi permukaan baja dari sesuatu yang bersifat menghancurkan lingkungan ditambah seng bereaksi melindungi baja dari kerusakan (American Galvanic Association, 2002)

Perlindungan Barrier

Perlindungan Barrier barangkali paling tua dan paling secara luas digunakan perlindungan korosi hal ini mengisolasi logam dari elektrolit dalam lingkungan. Dua properti yang penting pada perlindungan barrier adalah adhesi untuk logam dasar dan abrasi logam. Pengecatan adalah salah satu contoh dari sistem perlindungan barrier.

Perlindungan Cathodic

Perlindungan cathodic adalah suatu metoda yang penting untuk mencegah korosi memerlukan mengubah elemen suatu unsur sirkit korosi yang baru kemudian memastikan bahwa logam menjadi katoda unsur ini. Ada dua variasi utama untuk metoda cathodic dalam melindungi korosi. Pertama metoda arus tekanan, didalam metoda ini suatu sumber arus luar digunakan untuk menekan suatu cathodic mengisi semua besi atau baja yang dilindungi ketika sistem ini menggunakan banyak listrik maka biasanya sangat mahal untuk instaler.

Format yang lain dari perlindungan cathodic disebut metoda sacrificial anoda, dalam metoda inilogam atau paduan adalah anoda sedangkan pelapisnya adalah katoda sehingga bagian yang dilindungi menjadi katoda yang tidak berkarat (American Galvanic Association, 2002).

Perlindungan dapat digambarkan sebagai pencegah atau mengurangi korosi dari pembuatan logam katoda yang diberi pelapis yang dihubungkan dengan anoda. Perlindungan cathodic dapat melindungi permukaan jika terkena elektrolit. Untuk struktur pipa, tangki, permukaan dalam pipa tidak mendapat perlindungan. Umumnya pipa instalasi yang berada di dalam tanah liat atau rawa cenderung lebih cepat korosi daripada dalam tanah pasir dan kerikil. (tapi kerikil tajam dapat mempertinggi resiko goresan yang dalam sehingga dapat mempercepat proses korosi).

Idealnya sistem perlindungan cathodic sekarang ini melindungi semua permukaan. Dan ini sulit diproses karena jarak antara anoda menunjukkan sepanjang pipa sama halnya dengan variasi dikomposisi lapisan dan struktur perlindungan akan mengakibatkan arus dan distribusi yang tidak seimbang. Ada dua jenis anoda perlindungan cathodic galvanic dan tekanan arus.

Anoda galvanic.

Anoda galvanic adalah logam yang lebih tinggi melindungi struktur pipa pada rangkaian galvanis. Adanya dua batang logam dalam lapisan elektrolit memberikan pertambahan sel korosi galvanis jika dua batang logam secara elektrik dihubungkan. Perlindungan cathodic galvanis suatu metoda dimana sel korosi dibuat sedemikian rupa dengan pipa sebagai katoda dan anoda adalah unsur korosi. Anoda diumpankan dan secepatnya digantikan.

Anoda banyak ukuran dan tipenya untuk instalasi. Magnesium, seng dan aluminium adalah material sering digunakan untuk kerja lingkungan. Material anoda dapat ditandai dengan tegangan elektrik, arus efisiensi, output arus aktual tingkat konsumsi material, dan tingkat polarisasi.

Impressed Current.

Impressed current adalah metoda menggunakan suatu sumber arus searah (DC) eksternal untuk memproduksi arus elektrik yang diperlukan untuk perlindungan cathodic. Terminal sumber positif DC disambungkan pada anoda dan terminal sumber negatif pada pipa atau katoda. Konsekuensinya anoda dihubungkan pada tanah. Arus ini diserap oleh pipa dan dialirkan ke terminal negatif dan melengkapi sel korosi. Dalam sel korosi ini katoda dilindungi

material katoda yang diambil material korosi. Material anoda *impressed current* dipilih melalui konsumsi beban rendah. Beberapa material secara komersial disediakan seperti besi cor paduan silikon tinggi (14,5%) dengan tingkat konsumsi sepuluh kilogram per ampere tahun atau grafit dengan tingkat konsumsi di bawah setengah kilogram per ampere tahun. Logam bekas dapat digunakan (jika murah dan tersedia) tetapi anoda ini memerlukan pergantian yang sering. (ranjani B, 2003).

Proses Hot-Dip Galvanizing

Proses galvanisasi terdiri dari tiga langkah: Persiapan permukaan, galvanisasi dan pemeriksaan.

Persiapan permukaan.

Persiapan permukaan adalah langkah penting di dalam aplikasi pelapisan banyak kejadian atau kekurangan persiapan menyebabkan kesalahan dalam pelapisan sebelum digunakan. Persiapan permukaan mempunyai nilai tersendiri dalam mengendalikan mutu. Sederhananya saja jika persiapan permukaan kurang bersih maka lapisan seng tak dapat menutup semua permukaan yang akan dilapisi disebabkan adanya permukaan ada yang tertutup dengan bahan yang tak dapat mengalirkan elektrik sehingga permukaan yang tertutup bahan itu tak terlapisi dan jika digunakan sebagai instalasi bahan yang tertutup dengan seng akan cepat berkarat. (American Galvanizing Assosiation, 2002)

Satu pekerjaan yang ditanggung oleh galvaniser untuk memastikan bahwa pelapisan itu sempurna. Persiapan permukaan mempunyai tiga langkah: *caustic cleaning*, *acid pickling*, dan *fluxing*.

Caustic cleaning

Caustic cleaning adalah membersihkan dengan menggunakan alkali panas untuk merubah kontaminasi organik berupa kotoran pengerjaan pengecatan, meminyaki dan melumasi permukaan logam hingga bersih. Epoxies, vinil, aspal atau gumpalan las harus dibersihkan sebelum di galvanisasi, pasir atau mekanik yang lainnya juga harus dibersihkan.

Pikling (Pengawetan)

Pengawetan adalah membersihkan korosi yang mengelupas pada permukaan baja atau

besi dengan menggunakan asam sulfida panas temperatur asam hydrochloric. Persiapan permukaan dapat dipenuhi dengan menggunakan pembersihan abrasi sebagai alternatif atau dengan bahan kimia lain yang bersifat membersihkan. Pembersihan abrasive adalah proses dimana pasir yang ditembakkan kelogam sampai karat hilang dan benda kerja diputar hingga semua permukaan yang berkarat rata terkena tembakaan pasir.

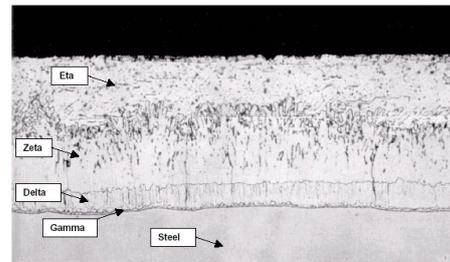
Fluxing

Fluxing adalah akhir dari persiapan permukaan dalam langkah proses galvanis, Fluxing memindahkan oksida dan mencegah oksida dari pembentukan lebih lanjut pada permukaan logam sebelum digalvanis. Metoda untuk fluxing ini tergantung apakah galvanis menggunakan proses basah atau proses kering.

Dalam proses galvanis kering, baja atau besi dicelupkan atau sebelum fluxing didalam cairan seng ammonium clorida diapungkan diatas cairan seng. Baja atau besi yang di galvanisir sampai mengalami perubahan didalam cairan seng. Sebab seng ammonium klpriid mempunyai satu titik lebur yang lebih rendah dibawah titik lebur seng dan lebih tebal dari pada seng yang

dicairkan, dengan demikian dapat mengapung pada cairan seng. (GalvInfo Center, 2003).

Fofomikrografik tentang lapisan dari material yang dicelupkan kedalam cairan seng dapat ditampilkan:



Gambar 4:Penampang lintang dari Hot dip Galvanized (Sumber: GalvInfo Center).

Ketebalalan dari lapisan tergantung dari waktu pencelupan sehingga reaksi dari difusi pencampuran seng dan besi. Dalam Hot dip galvanis variasi waktu dapat digunakan untuk mendapatkan kombinasi dari campuran logam yang didapatkan dari logam pelapis dalam hal ini adalah seng dengan logam dasar besi.

Komposisi dari struktur pelapiasan yang terjadi seperti gambar 1 adalah:

Tabel 1: Komposisi dan properti dali garis pelapisan pada Hot Dip Galvanic.

(Sumber:GalvInfo Center).

Layer	Alloy	Iron, %	Melting Point		Crystal Structure	Alloy Characteristics
			°C	°F		
Eta (η)	Zinc	0.03	419	787	Hexagonal	Soft, ductile
Zeta (ζ)	FeZn ₁₃	5.7-6.3	530	986	Monoclinic	Hard, brittle
Delta (δ)	FeZn ₁₇	7.0-11.0	530-670	986-1238	Hexagonal	Ductile
Gamma (Γ)	Fe ₃ Zn ₁₀	20.0-27.0	670-780	1238-1436	Cubic	Thin, hard, brittle
Steel Base Metal	Iron	99+	1510	2750	Cubic	----

material yang merupakan suatu proses yang lengkap semua permukaan dilapisi. Galvanis menyediakam perlindungan

Galvanizing

Dalam langkah ini, material dilengkapi daidalam pencelupan minimal 98 % seng yang dicairkan murni. Fabrikasi membuat pencelupan sampai temperatuur pencelupan. Spesifikasi American Society for Testing Material (ASTM) dalam spesifikasi B6, temperatur pencelupan sampai 840° F (449° C). Logam seng bereaksi dengan besi diatas permukaan baja untuk membentuk besi seng intermetallic paduan. Karena proses galvanis, melibatkan pencelupan

pada dalam dan luar untuk struktur beringga. Struktur berongga yang dicat tidak punya perlinfungan korosi bagian dalam, Galvanis dilakukan pada kondisi kelembaban atau cuaca. Kebanyakan penyikatan atau penyemprotan pelapisan tergantung pada kondisi-kondisi kelembaban dan cuaca tepat untuk aplikasi yang tepat pula. Ketergantungan ini sering membuat konstruksi menjadi mahal, kemampuan galvaniser untuk bekerja pada kondisi tertentu dan dapat menentukan kondisi itu maka akan dapat mengendalikan mutu dari pelapisan itu.

Pemeriksaan

Dalam pemeriksaan yang perlu diperhatikan adalah ketebalan dari pelapisan, penampilan pelapisan, keseragaman dari semua material yang digalvanisasi. Ada produksi yang perlu dipertimbangkan dengan adanya ketebalan lapisan campuran logam maksimum yang dapat dicapai selama pencelupan, tebal lapisan campuran logam tingkat difusi bahwa pelapis bercampur dengan logam dasar menghasilkan batas ketebalan akhir. Untuk beberapa komposisi logam yang seragam, campuran logam tidak membentuk lapisan yang baik pada permukaan, sebagai gantinya campuran logam pada ketebalan tertentu digunakan. Kapan jenis ketebalan dari maksimal pelapisan kurang atau terlalu tebal perlu diukur ketebalan dari pelapisan.

Komposisi dari Hot-Dip Zinc Galvanizing

Sejarahnya cairan seng sudah umum digunakan dalam galvanis diantara 0,5 sampai 1,0 % laju awal, laju awal ini mempunyai dua efek. Pertama menyebabkan formasi permukaan besar dan berkelip-kelip menarik. Kedua laju awal ini menguntungkan untuk mengakomodasi "bebas Pengeringan" seng yang berlebihan dapat dialirkan dari cairan seng. Penambahan campuran logam seng yang lain dipakai untuk meningkatkan sasaran pelapisan lainnya seperti penambahan nikel, aluminium, silicon digunakan untuk lapisan yang diinginkan.

Performa dari Pelapisan Galvanis

Performa dari pelapisan galvanis dapat dibuktikan pada kondisi-kondisi lingkungan, korosi menyerang lapisan seng selain ditentukan dari ketebalan pelapisan juga ditentukan oleh variasi kondisi lingkungan. Perkiraan dari umur pelapisan menjadikan sangat penting dalam perencanaan dan pemeliharaan dari instalasi perpipaan. Pengukuran tingkat korosi tahun pertama dapat dijadikan data yang baik dalam pemeliharaan selanjutnya atau perkiraan perencanaan galvanis ulang dan dapat diprediksi kapan rusaknya suatu instalasi.

Lingkungan tempat pipa besi atau baja diletakkan tidak hanya peletakkan pipa tapi juga menyangkut apa yang dialirkan dalam pipa yang digunakan dengan bahan kimia yang berbeda-beda. Perlu diperhatikan dalam pencampuran pelapisan dan lingkungan dimana pipa diletakkan jika berhubungan dengan dengan logam lain.

Prilaku Seng Dalam Hubungannya dengan Logam Lain

Potensi seng untuk korosi jika berhubungan logam lain, tingkat korosi tergantung dari variasi hubungan logam lain dengan seng dalam rangkaian galvanis. Berikut ini beberapa pengaruh seng jika berhubungan dengan logam lain:

Hubungan Seng Dengan Tembaga dan Kuningan.

Jika dalam lingkungan material yang digalvanisir berhubungan dengan tembaga dan kuningan dalam kondisi lembab korosi cepat mungkin terjadi. Untuk mengatasinya harus digunakan gasket, karet atau plastik untuk melapisi hingga tak bersentuhan.

Hubungan Seng Dengan Aluminium dan Baja Tahan Karat.

Saat kondisi umum aluminium dan baja tahan karat tidak menyalurkan korosi sehingga hubungan dengan material galvanisir tidak perlu dilapisi yang perlu diperhatikan saat pemasangan instalasi jangan sampai menggores lapisan galvanisir.

Kesimpulan

Keunikan dari paper ini yang dibahas adalah menggabungkan dari pengalaman-pengalaman dalam seng galvanis serta eksperimen baru sehingga dihasilkan suatu metoda baru seperti penggunaan cairan dengan material yang dicelupkan, metoda baru ini menghasilkan ketebalan lapisan yang diinginkan untuk melindungi logam dari korosi juga keindahan dari instalasi.

Referensi

- American Galvanizers Assosiation, 2000, *Hot-Dip Galvanizing for Corrosion Protection of Steel Products*. Enggewood. USA..
- GalvInfo, 2003, *Continuous Hot-Dip Galvanizing versus General (Batch) Galvanizing*, email: info@galvinfo.com.
- Hodgkiess, T. Shrestha, S. Perry, J.M. Mantzavinos, D Vassiliou, G.and Faber, A. , 2003, Galvanic Interactions during Erosion Corrosion. *The Journal of Corosion Science and Engineering (JCSE)*, UK. Vol. 6 Paper C039
- Radzik, Joseph G., 2002, *The Use of Thermal Sprayed Zinc Alternative to Hot Dipped Galvanizing*.

Research & Development Tyco Fire &
Building Products.USA..

Rajani, B & Kleiner, Y., 2003, Protection of ductile
iron water mainss against external corrosion:

review of methods and case histories. *Journal
American Water Works Association. Vol. 95,
no 11.* National Research Council of Canada.
Ottawa. Pp. 110-125.