STUDI KETAHANAN KOROSI RETAK TEGANG CU-30Zn HASIL DEFORMASI PLASTIS CANAI DINGIN

A STUDY OF STRESS CORROSION CRACKING RESISTANCE FOR COLD FORMING PLASTIC DEFORMED CU-30Zn ALLOY

Gadang Priyotomo^{1,*}, Akhmad Faizal², dan Rini Riastuti²

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Gedung 470, Kawasan Puspiptek, Serpong, Indonesia

²Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

*E-mail: gadangp@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received date:

13 February 2017

Received in revised form date:

4 May 2017

Accepted date:

19 September 2017

Available online date:

31 May 2018

Abstract

Cu-30Zn alloy has good atmospheric corrosion resistance. It is mainly used as automotive radiator cores, ammunition component, lamp fixture, flashlight shells and kickplates. Cold rolled Cu-30Zn with deformation degree 33,87% at 300°C was tested its Stress Corrosion Cracking (SCC) property. Stress corrosion cracking (SCC) of a Cu-30Zn has been investigated using Mattsson solutions 0,5 M (NH₄)₂SO₄ + 0,05 M CuSO₄ in room temperature by using a constant load method. Cu-30Zn has a weakness on stress corrosion cracking in ammonia environment (mattson solution). Scanning electron microscope (SEM) testing indicated the failure of cold roll Cu-30Zn was a transgranular cracking. Furthermore, cracking occurred at stress below yield stress. Energy dispersive Spectroscopy (EDS) test exhibited dezincification indication on fracture surface. The visual examination of surface morphology on alloy showed discoloration from yellow to red. Homogenized Cu-30Zn showed better SCC resistance than cold rolled Cu-30Zn.

Keywords: Cartridge brass, Cold rolled, Mattson solution, Stress corrosion cracking, Transgranular

Kata kunci:

Kuningan cartridge

Pengerjaan dingin

Larutan Mattson

Korosi retak tegang

Transgranular

Abstrak

Paduan Cu-30Zn memiliki ketahanan korosi yang baik. Paduan ini umumnya digunakan sebagai komponen inti radiator kendaraan, komponen amunisi, kelengkapan lampu, *flashlight shell*, dan *kick-plates*. Paduan Cu-30Zn, hasil pengerjaan dingin dengan tingkat deformasi 33,87% pada suhu 300 °C digunakan pada pengujian korosi retak tegang (KRT). Korosi retak tegang pada paduan Cu-30Zn telah diinvestigasi dalam larutan Mattson 0,5 M (NH₄)₂SO₄ + 0,05 M CuSO₄ pada suhu ruang dengan menggunakan metode beban konstan. Paduan ini sangat rentan terhadap korosi retak tegang dalam lingkungan amonia (larutan mattson). Uji mikroskopi elektron payaran (SEM) yang mengindikasikan kegagalan paduan ini adalah *transgranular*. Lebih jauh lagi, retak terjadi pada tegangan di bawah nilai tegangan luluh. Uji spektroskopi dispersi energi (EDS) menunjukkan indikasi *dezincification* (penurunan kadar seng) pada permukaan patah. Pengamatan visual pada morfologi patah paduan memperlihatkan perubahan warna dari kuning menjadi merah. Paduan Cu-30Zn hasil homogenasi lebih tahan terhadap korosi retak tegang dibandingkan paduan hasil pengerjaan canai dingin.

PENDAHULUAN

Tembaga dan paduan tembaga telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi dekorasi sejak 10.000 tahun yang lalu. Pada abad pertengahan, penggunaan tembaga semakin meluas. Tembaga digunakan dalam pembuatan peluru, lonceng gereja, dan patung. Untuk mendapatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi yang lebih tinggi, tembaga dipadukan dengan unsur lain. Unsur yang sering ditambahkan pada tembaga yaitu Zn dan Sn (Davis, 2001). Kuningan merupakan paduan antara tembaga dengan seng. Paduan ini memiliki keuletan yang cukup, ketahanan terhadap korosi terutama korosi atmosferik dan korosi di air laut serta kemampuan dicor yang baik. Sifat-sifat tersebut yang membuat paduan ini banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti industri perkapalan, industri kimia, peralatan musik, dan lainnya (Ozgowicz, W. 2010).

Kuningan memiliki berbagai jenis. 60% Cu dan 40% Zn dikenal dengan Muntz Metal. 70% Cu dan 30% Zn dikenal dengan *cartridge brass*. *Admiralty brass* memiliki komposisi 69% Cu, 30% Zn, dan 1% Sn (Ashkenazi, D., D.Cvikel, A.Stern, S.Klein, 2014).

Cartridge brass dapat digunakan dalam berbagai hal seperti inti radiator otomotif, komponen amunisi, *alat pencahayaan*, *flashlight shells*, dan *kickplates* (William D.Callister Jr, 2007). Agar dapat digunakan dalam aplikasi tersebut, dilakukan pengerjaan dingin untuk meningkatkan sifat mekanik kuningan.

Permasalahan yang sering terjadi pada paduan Cu-30Zn yaitu korosi retak tegang (*Stress Corrosion Cracking*). Kandungan Zn yang semakin tinggi mengakibatkan kemungkinan terjadi korosi retak tegang lebih tinggi. Saat kuningan diberikan tegangan yang berkelanjutan dan dalam lingkungan korosi, retak dapat

terjadi. Umumnya korosi retak tegang pada kuningan terjadi dalam lingkungan ammonia. Korosi ini umumnya terjadi karena adanya tegangan sisa dalam kuningan, yang sangat berbahaya karena tidak dapat diduga datangnya dan dapat menyebabkan pengurangan dimensi dan kekuatan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kuningan hasil canai deformasi sebesar 33,87% pada suhu 300 °C terhadap ketahanan serangan korosi retak tegang. Di sisi lain, riset ini juga untuk mengetahui jenis patahan dan hubungan fenomena *dezincification* (penurunan kadar seng) dan korosi retak tegang.

METODE

Komposisi kimia yang digunakan pada percobaan ini didapatkan setelah pengujian *Spektroskopi emisi optis* (OES), yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Komposisi kimia Cu-30Zn hasil OES (Eka Febriyanti et al. 2015).

Unsur	Penelitian (wt%)
Cu	69.5
Zn	30.7
Fe	0.026
Sn	0.0062
Al	<0.002

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel hasil homogenisasi pada suhu 700 °C dan sampel hasil canai 33,87% pada suhu 300 °C. Setiap jenis sampel dilakukan pengamplasan dengan menggunakan kertas amplas berukuran #80 - #1000. Sampel diberi larutan aseton untuk menghilangkan kotoran dan bekas amplas. Sampel dibersihkan dengan menggunakan tisu setelah diberikan aseton. Sampel untuk pengujian kehilangan berat berbentuk persegi panjang, sampel untuk pengujian korosi retak tegang berbentuk

spesimen tarik, dan sampel untuk metalografi berbentuk persegi panjang yang dipasang menggunakan resin. Sampel yang digunakan untuk pengujian korosi retak tegang terdapat pada gambar 1 di bawah ini.

Gambar 1. Spesimen uji tarik untuk pengujian korosi retak tegang (Nishimura et al. 2001).

Larutan untuk pengujian korosi retak tegang terdiri atas $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan CuSO_4 yang merupakan larutan Mattson. Konsentrasi larutan tersebut mempunyai komposisi senyawa $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sebesar 0,5 M dan CuSO_4 sebesar 0,05 M. Pada pengujian ini digunakan sampel hasil homogenisasi dan sampel hasil canai. Pengujian dilakukan menggunakan variasi tegangan. Alat korosi retak tegang menggunakan metode beban konstan. Pengamatan visual patahan uji tersebut dilakukan dengan alat SEM. Selain itu, dilakukan uji spektroskopi dispersi energi (EDS) untuk mengetahui kandungan unsur pada sampel yang patah.

Sampel hasil homogenisasi dan hasil canai diuji dengan metode kehilangan berat dalam waktu 1 hingga 6 hari dengan menggunakan larutan Mattson. Dalam pengujian ini digunakan setiap sampel yang direndam dalam wadah yang berisi larutan Mattson sebanyak 250 ml. Uji ini dilakukan untuk menghitung besarnya massa yang hilang akibat korosi setiap luas area sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 memperlihatkan sifat mekanik sampel hasil homogenisasi dan sampel hasil canai, dengan nilai tegangan maksimum (*ultimate tensile strength/UTS*) dan tegangan perolehan (*yield strength/YS*) digunakan untuk acuan dalam memperkirakan pembebanan luar pada spesimen uji korosi retak tegang.

Tabel 2. Nilai mekanis sampel hasil homogenisasi dan canai (Eka Febrianti et al.2015)

Sampel	Suhu (°C)	UTS (MPa)	YS (MPa)	% Elongasi
Hasil Homogenisasi	700	308,58	172,44	68
Deformasi 33,87%	300	505,18	402,04	6

Kehilangan Berat

Gambar 2 memperlihatkan grafik hasil uji kehilangan berat sampel hasil canai dan homogenisasi dalam larutan Mattson. Pada kedua paduan tersebut, nilai kehilangan berat setiap luas area meningkat seiring dengan meningkatnya waktu rendam dalam larutan Mattson. Perbedaan kehilangan berat per area antara paduan homogenisasi dan hasil canai tidak terlalu signifikan dengan perbedaan tersebut di bawah orde 1.

Penurunan nilai kehilangan berat per area disebabkan oleh terbentuknya lapisan oksida bertanda kusam pada permukaan paduan Cu-30Zn melalui reaksi elektrokimia (Seleet, 1986). Kehilangan berat berhubungan dengan lepasnya kation Cu dari ruahan sampel dan membentuk lapisan tarnish Cu_2O pada permukaan logam (Mattsson, 1961). Oleh karena itu, perilaku korosi antara paduan canai dan

homogenisasi sulit diobservasi dengan menggunakan metode kehilangan berat, karena tidak bisa mendeteksi perilaku lapisan oksida seperti metode polarisasi.

Gambar 2. Grafik hasil pengujian kehilangan berat per area paduan hasil canai dan hasil homogenisasi dalam larutan Mattson.

Korosi Retak Tegang

Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian korosi retak tegang paduan Cu-30Zn hasil canai dengan variasi beban konstan, dengan setiap spesimen uji diberikan label A, B, C, dan D.

Tabel 3. Sampel paduan Cu-30Zn hasil canai untuk pengujian korosi retak tegang dengan variasi beban konstan

No	Sampel	Tegangan (MPa)	Waktu (jam)	Keterangan
1.	A	392 MPa	0,0177	Patah
2.	B	377 MPa	0,0567	Patah
3.	C	329 MPa	7	Tidak Patah
4.	D	232 MPa	7	Tidak Patah

Pada beban 329 MPa dan 232 MPa, paduan Cu-30Zn tidak mengalami patah dibandingkan dengan beban 392 MPa dan 377 MPa. Paduan Cu-30Zn mengalami patah pada tegangan di bawah tegangan luluh paduan Cu-30Zn, dengan korosi retak tegang pada paduan logam umumnya di

bawah tegangan luluh dan tegangan tarik (Jones, R.H, Ricker, 1992). Lebih jauh lagi, hasil pengerjaan rol meningkatkan deformasi sebesar 33,87%, dengan peningkatan deformasi meningkatkan tegangan sisa logam (Xiaoming.H, Sun.J, 2015). Tegangan sisa merupakan penyebab terjadinya korosi retak tegang pada logam (Jones, R.H, Ricker, 1992). Sebagai tambahan, waktu patah yang cepat dan di bawah nilai tegangan luluh mengindikasikan bahwa telah terjadi korosi retak tegang.

Gambar 3 memperlihatkan sampel uji hasil canai yang telah patah pada beban 392 MPa. Hasil pengamatan visual pada permukaan sampel memperlihatkan perubahan warna menjadi coklat hitam, dengan proses pengusaman yang terjadi.

Gambar 3. Sampel uji hasil canai yang telah patah pada beban 392 MPa.

Gambar 4. Morfologi patahan paduan Cu-30Zn hasil canai dengan tegangan 392 MPa di larutan Mattson.

Gambar 4 memperlihatkan morfologi patahan sampel uji canai dengan beban 392 MPa dalam larutan Mattson. Jenis

patahan yang terjadi adalah *transgranular*. Di sini rambatan patahan membelah butir-butir logam. Bentuk morfologi permukaan sepanjang propagasi adalah *cleavage*. Pada morfologi ini diindikasikan logam mengalami proses penggetasan melalui patahan transgranular (Seleet, 1986).

Tabel 4. Sampel paduan Cu-30Zn hasil homogenisasi untuk pengujian korosi retak tegang dengan variasi beban konstan

No	Sampel	Tegangan (MPa)	Waktu (jam)	Keterangan
1.	A	315	0,0277	Patah
2.	B	287	7	Tidak Patah
3.	C	255	7	Tidak Patah

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian korosi retak tegang spesimen hasil homogenisasi dengan variasi beban konstan. Setiap spesimen uji diberikan label A, B, dan C. Lebih jauh lagi, beban konstan di atas tegangan maksimal paduan Cu-30Zn sebesar 315 MPa dan di atas beban luluh sebesar 287 MPa dan 255 MPa. Patah terjadi pada beban 315 Mpa. Beban tersebut di atas beban maksimal paduan hasil homogenisasi. Di sisi lain, tidak ada patah pada beban pada rentang nilai beban luluh dan beban maksimal hingga 7 jam.

Gambar 5. Morfologi patahan paduan Cu-30Zn hasil homogenisasi dengan tegangan 315 MPa dalam larutan Mattson.

Gambar 5 memperlihatkan morfologi patahan paduan Cu-30Zn hasil homogenisasi dengan tegangan 315 MPa dalam larutan Mattson. Bentuk morfologi permukaan patah adalah lesung cembung. Keberadaan morfologi ini mengindikasikan material logam bersifat ulet (Mohd Tobin.A.L, Zaman.I, Mustapa.M.S., Siswanto.W.A, 2016). Patahan *transgranular* dengan bentuk lesung cembung memperlihatkan bahwa tidak ada unsur korosi retak tegang pada Gambar 5. Oleh karena itu, ini mengindikasikan bahwa kerentanan terhadap korosi retak tegang paduan hasil homogenisasi lebih kecil dibandingkan dengan paduan hasil canai.

Tabel 5 memperlihatkan komposisi unsur-unsur dalam paduan Cu-30Zn melalui pengujian EDS. Pada hasil pengujian OES, kandungan Zn sebesar 30,7%, sedangkan hasil pengujian EDS didapatkan 25,27%. Perbedaan ini mengindikasikan adanya kandungan Zn yang terlepas dari sampel kuningan. Selain itu, pada Gambar 5 terlihat perubahan warna merah bata yang merupakan ciri-ciri adanya *dezincification* (penurunan kadar seng).

Tabel 5. Hasil pengujian EDS sampel canai

Unsur	Mass (%)
O	2.76
Cu	71.98
Zn	25.27

Usulan Mekanisme Korosi Retak Tegang

Lebih jauh lagi, kegagalan jenis *transgranular* terjadi karena retakan getas dalam bentuk belahan pada paduan Cu-30Zn hasil canai. Penyebab penggetasan melalui beberapa usulan model antara lain sebagai berikut.

- Kegagalan disebabkan penggetasan hidrogen, yang ditandai dengan permukaan patah berbentuk morfologi

cleavage. Di sisi lain, Pugh mengajukan hipotesa tentang reaksi anodik (Pugh.E.N, 1980):

Keberadaan proton H^+ berhubungan dengan penggetasan hidrogen yang menyebabkan retak.

- Kegagalan disebabkan proses *dezincification*. Model ini terindikasi menghasilkan daerah getas pada crack tip, dengan patahan getas diskontinyu terjadi (morfologi transgranular pada permukaan patahan korosi retak tegang) (Pinchback T.R, S. P. Clough, 1976).

Patahan yang berbentuk belahan terjadi pada paduan Cu-30Zn hasil rol dingin di larutan tarnish (Seleet, 1986). Propagasi (perambatan) terjadi secara diskontinyu sama dengan hasil dari penelitian saat ini. Di sisi lain, nilai kehilangan berat per area antara paduan Cu-30Zn hasil canai dan homogenisasi hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan oksida terbentuk di permukaan pada dua paduan tersebut dengan magnitudo kehilangan berat per area yang kecil. Penulis mengindikasikan bahwa kemungkinan adanya kerusakan lapisan oksida kusam yang terjadi di paduan hasil canai, sehingga memberikan inisiasi untuk ujung keretakan dibandingkan dengan paduan homogenisasi. Inisiasi ujung keretakan ini dihubungkan dengan usulan dua model di atas. Oleh karena itu, secara implisit, dua pendekatan usulan model dan hasil laju korosi dapat digunakan untuk menjelaskan mekanisme korosi retak tegang. Sebagai tambahan, fenomena retak dan patah dengan morfologi transgranular pada paduan Cu-Zn di bawah tegangan luluh material tersebut, mengindikasikan

bahaya yang tersembunyi pada aplikasi industri dan kehidupan manusia.

KESIMPULAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan memberikan kesimpulan bahwa tidak ada perbedaan nilai kehilangan berat per area antara paduan Cu-30Zn hasil canai dan hasil homogenisasi. Kegagalan paduan hasil canai terjadi di bawah nilai tegangan luluh, dengan korosi retak tegang terjadi. Kegagalan mekanik terjadi di atas nilai tegangan maksimal, dengan korosi retak tegang tidak terjadi pada paduan Cu-30Zn hasil homogenisasi. Bentuk permukaan patah paduan hasil canai adalah *transgranular* dengan morfologi belahan, dengan hasil homogenisasi berbentuk lesung. Proses *dezincification* dan penggetasan hidrogen pada paduan Cu-20Zn dapat menjelaskan mekanisme korosi retak tegang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi & Material-LIPI, khususnya rekan-rekan peneliti dan teknis di laboratorium Korosi. Penulis juga memberikan apresiasi sebesar-besarnya kepada Dosen dan Mahasiswa Strata 1, jurusan metalurgi & Material, Fakultas Teknis, Universitas Indonesia selama penelitian ini dilakukan.

DAFTAR ACUAN

- Ashkenazi, D., D.Cvikel, A.Stern, S.Klein, Y. Kahanov. 2014. "Metallurgical Characterization of Brass Objects from The Akko 1 Shipwreck, Israel." *Material Characterization* 92: 49–63.
- Davis, J. 2001. *ASM Specialty Handbook - Copper and Copper Alloys*. ASM International.

- Jones, R.H., Ricker, R.H. 1992. "Mechanisms of Stress-Corrosion Cracking." In *Mechanisms of Stress-Corrosion Cracking*.
- Mattsson, E. 1961. "Stress Corrosion in Brass Considered against the Background of potential/pH Diagrams." *Electrochimica Acta* 3 (4): 279–91.
- Mohd Tobi, A.L., Zaman, I., Mustapa, M.S., Siswanto, W.A., Mahzan, S. 2016. "Case Study : Techniques for Material Characterisation of Brass Tensile Testing Fracture Sample." *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences* 11 (16): 10128–32.
- Ozgowicz, W., E. Kalinowska-Ozgowicz & B. Grzegorzczak. 2010. "The Microstructure and Mechanical Properties of the Alloy CuZn30 after Recrystallization Annealing." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 40 (1): 15–24.
- Pinchback T.R., S. P. Clough, L. A. Heldt. 1976. "Stress Corrosion Cracking of Alpha Brass in a Nontarnishing Ammoniacal Environment: fractography and Chemical Analysis." *Metallurgical Transactions A* 7 (8): 1241–43.
- Pugh, E.N., Beavers, J.A. 1980. "The Propagation of Transgranular Stress-Corrosion Cracks in Admiralty Metal." *Metallurgical Transactions A* 11 (5): 809–20.
- Seleet, M. Moustafa Said. 1986. "Electrochemistry of Stress Corrosion Cracking of Brass."
- William D. Callister Jr. 2007. *An Introduction: Material Science and Engineering*. United States: John Wiley & Son, Inc.
- Xiaoming, H., Sun, J., Li, J. 2015. "Effect of Initial Residual Stress and Machining-Induced Residual Stress on the Deformation of Aluminium Alloy Plate." *Journal of Mechanical Engineering* 61 (2): 131–37.