

PERCOBAAN Pengerasan Permukaan Komponen Gerus Attrition Mill

Yusuf dan Iwan Dwi Antoro

Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI

E-mail : yusutlipi@yahoo.com, iwanda01@yahoo.com

Intisari

Untuk dapat menggerus material yang cukup keras, komponen gerus attrition mill perlu memiliki kekerasan yang cukup tinggi. Hal itu dapat diperoleh dengan menggunakan bahan berkekerasan tinggi atau bahan (baja) biasa yang permukaannya diperkeras. Salah satunya adalah dengan pemberian lapis khrom. Ada dua pilihan yang ditawarkan untuk pemberian lapis khrom ini, yaitu dengan cara lapis listrik atau pelapisan difusi. Percobaan menunjukkan bahwa kedua cara memberi kekerasan permukaan yang jauh lebih tinggi dibanding logam dasarnya. Hasil lapis listrik memberi kekerasan antara 737 hingga 852 BHN, sementara pengerasan difusi dapat mengeraskan permukaan baja hingga 1100 BHN. Daya lekat hasil lapis difusi juga sangat baik karena terjadi gradasi fasa dan kekerasan antara lapisan putih (khrom), lapisan difusi hingga ke logam dasar, sedangkan pada hasil lapis listrik terjadi perubahan menyolok antara lapis khrom dengan logam dasarnya. Secara teknis metode lapis difusi lebih dianjurkan untuk pengerasan komponen gerus *attrition mill*.

Kata kunci : Pengerasan permukaan, Attrition mill, Lapis listrik, Khrom keras, Lapis difusi

Abstract

In order to be able to grind a relatively hard material, the working component of an attrition mill should have a good strength and hardness. To obtain such a component, it can be done by using a special high quality steel or by using an ordinary carbon steel with surface hardening. One of the hardening method is the surface chromizing. There are two methods of surface chromizing, namely the electroplating method and the diffusion (pack cementation or case hardening) method. Both methods can produce better surface hardness compare to its base metals. The product of electroplated hard chrome can improve its surface hardness to 737 to 852 VHN, while the product of diffusion hardening can reach more than 1100 VHN. The adhesion of diffusion surface also better than the product of electroplated hard chrome because of the existence of diffusion layer between the chrome layer and the base metal. On the other hand, the electroplating product give a drastic different layer between the chrome layer and the base metal. From the technical point of view the diffusion method is more recommended for the surface hardening of the attrition mill working components.

Keywords : Surface hardening, Attrition mill, electroplating, hard chrome, diffusion hardening

PENDAHULUAN

Keandalan suatu alat gerus seperti *Attrition Mill* sangat ditentukan oleh kekerasan permukaan komponen gerusnya. Makin keras permukaan komponen gerusnya akan makin mampu menggiling material yang cukup keras dengan efisien dan mampu bertahan dalam waktu yang lama. Sementara komponen gerus yang lunak hanya akan mampu menggerus bahan-bahan yang lunak dan akan mudah rusak.

Untuk memperoleh komponen gerus yang andal dilakukan dengan memilih material yang memang kuat dan keras seperti baja khrom atau baja mangan, tetapi material khusus ini biasanya relatif mahal dan bersifat agak rapuh (*brittle*). Sebagai pengganti biasa dipilih material yang terbuat dari baja karbon biasa, tetapi permukaannya dikeraskan. Pengerasan permukaan ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain dengan cara lapis listrik atau pengerasan induksi.

Tulisan ini akan menyajikan hasil percobaan pengerasan permukaan baja

karbon dengan kandungan karbon medium (C 0,45%) dengan metode lapis listrik dan pengerasan induksi. Hasil percobaan ini akan dibandingkan untuk menjajagi kecocokannya sebagai metode pengerasan komponen gerus *attrition mill*. Metode pengerasan lapis listrik yang digunakan adalah metode khrom keras atau *hard chrome*, sementara pengerasan induksinya sering dikenal sebagai laku panas khromisasi atau *chromizing heat treatment* atau *pack chromizing*.

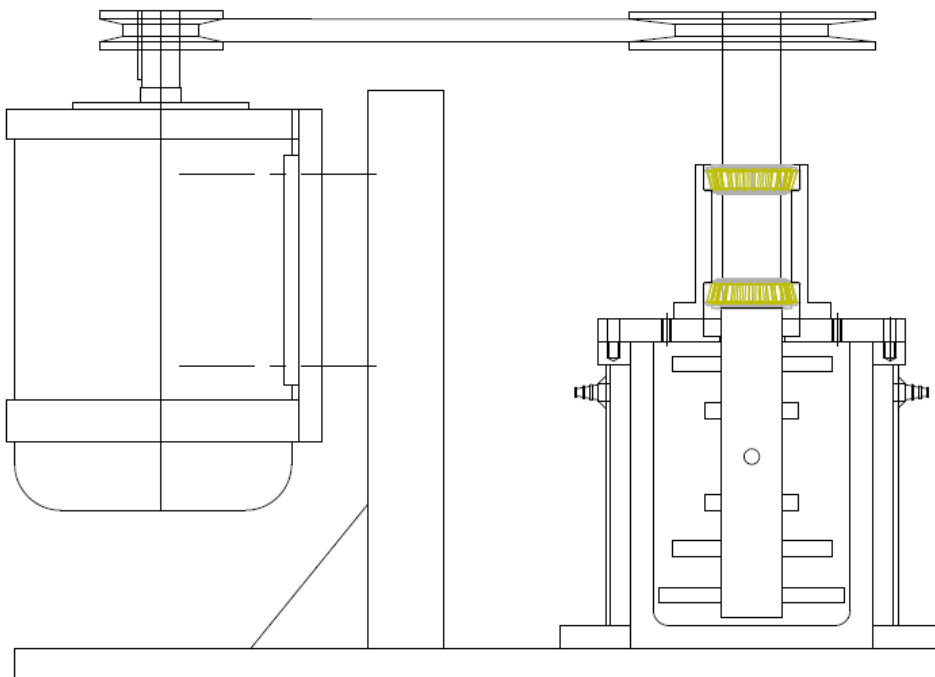
Kedua ini akan dibandingkan untuk dipilih mana yang paling cocok untuk pengerasan komponen gerus *attrition mill*. Perbandingan ini bisa dilihat dari segi kerumitan proses, biaya maupun kualitas lapis keras yang dihasilkan.

Attrition Mill adalah varian dari *ball mill*. Kalau bola-bola penggerus pada (*rotary*) *ball mill* digerakkan oleh putaran silinder putar, gerakan bola-bola gerus pada *attrition mill* terjadi karena putaran batang pengaduk. Batang pengaduknya sendiri terdiri dari suatu poros yang dilengkapi dengan sirip-sirip yang berputar

menggerakkan bola-bola penggerus. Pengadukan dapat dilakukan dengan pengaduk berporos vertikal maupun horisontal.

Kelebihan *attrition mill* dibanding dengan (*rotary*) *ball mill* adalah pada kemungkinan memberi kecepatan pengadukan yang relatif tinggi. Kalau pada *ball mill* kecepatan putarnya dibatasi oleh kecepatan kritis ketika gaya sentrifugal sama dengan gaya gravitasi, kecepatan putar batang pengaduk pada *attrition mill* bisa jauh lebih tinggi. Ini memungkinkan perpindahan energi yang lebih baik dan penggerusan lebih halus.

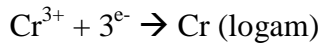
Attrition Mill juga memungkinkan berbagai variasi operasi seperti pada *basket mill* dan penambahan modus penggerusan baru dengan gelombang ultrasonik. Penggunaan gelombang ultrasonik memungkinkan penggerusan halus hingga skala nano dan terjadinya reaksi fisika dan kimia semacam pepaduan mekanis (*mechanical alloying*). Disain dasar *attrition mill* sederhana berporos vertikal ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Desain dasar attrition mill poros vertikal

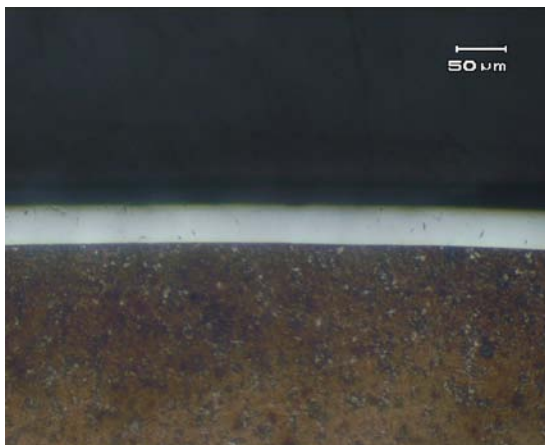
LATAR BELAKANG TEORI

Lapis khrom keras secara elektrolisa memanfaatkan arus listrik untuk mereduksi larutan Cr^{3+} menjadi logam Cr berdasarkan reaksi:



Berdasarkan Hukum Faraday, maka untuk mereduksi 1 gram ekuivalen ion Cr(III) menjadi logam khrom dibutuhkan muatan listrik sebesar 96400 Amper-detik. Dengan rapat arus 30 Amper/dm², berat atom Cr sebesar 51,99 dan berat jenis Cr sebesar 7,12 maka untuk membentuk lapisan khrom setebal 1 mikron dibutuhkan waktu elektrolisa selama 13,2 detik. Ini dengan menganggap efisiensi arus reduksi 100%. Kalau efisiensi arus reduksinya hanya 70%, maka waktu reduksinya menjadi 18,86 detik.

Dengan menetapkan rapat arus sebesar 30 Amper/dm², ketebalan lapisan khrom dapat diprediksi dengan pengaturan waktu proses. Sebagai contoh, untuk memperoleh ketebalan 60mikron diperlukan waktu 18,86 menit. Hasil pelapisan khrom keras yang diperbesar 200 x ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Lapis khrom (putih) pada hasil pengerasan dengan lapis listrik (*hard chrome*)

Pengerasan difusi dilakukan dengan membungkus benda kerja dengan bahan yang dapat memasukkan unsur khrom ke dalam kristal besi di dalam benda kerja

yang akan dikeraskan. Untuk pengerasan difusi dibutuhkan beberapa bahan, yaitu: (1) Bahan pemasok unsur khrom, biasanya dalam bentuk ferokhrom, paduan besi khrom yang mengandung sekitar 76% Cr, (2) Pembentuk senyawa khrom yang mudah menguap dan berdifusi ke matriks baja karbon. Senyawa yang dimaksud adalah senyawa khlorida dan bahan pembentuknya adalah ammonium khlorida (NH_4Cl). Dan (3) Bahan penambah untuk memungkinkan perpindahan senyawa khrom khlorida ke permukaan benda keras sebelum berdifusi menembus permukaannya. Bahan penambah ini adalah bahan inert semacam Al_2O_3 .

Bahan ini kemudian dipanaskan dalam dapur listrik sekap (*muffle furnace*) dengan temperatur tertentu, sekitar 800 hingga 900 derajat C, kemudian ditahan pada waktu tertentu minimal selama 3 jam. Di samping pemanasan dengan dapur listrik biasa, kini sedang dikembangkan pemanasan dengan gelombang mikro.

Hasil pelapisan induksi yang diperbesar 200 x diperlihatkan dalam Gambar 3. Di samping lapisan khrom yang massif (lapisan putih) ada lapisan difusi yang terlihat gelap berada diantara lapisan putih dengan logam dasar y beradang belum berubah (lapisan terang dengan motif cacing berwarna gelap). Lapisan putih merupakan lapisan terkeras dan makin ke kanan akan makin lunak sampai mendekati kekerasan bahan aslinya.

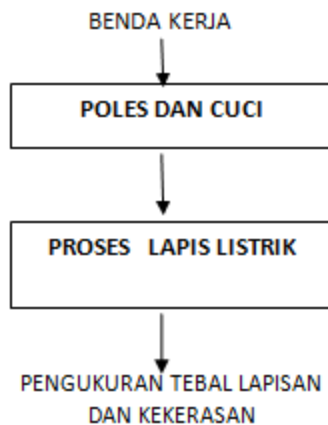


Gambar 3. Lapisan putih, lapisan difusi dan logam dasar pada pengerasan difusi

PROSEDUR PERCOBAAN

Percobaan Pengerasan Lapis Listrik

Benda kerja adalah pipa pendek baja karbon medium ($C=0,45\%$) dengan diameter luar sekitar 40 mm, tebal dinding pipa 5 mm dan panjang 60 mm. Setelah pipa dibersihkan secara mekanis dan kimia, kemudian dilakukan pelapisan khrom keras dengan rapat arus 30 Amper/dm², dan waktu pelapisan 10, 20 dan 35 menit. Hasil pelapisan diukur ketebalan dan kekerasan lapisan khromnya. Digram alir sederhana untuk percobaan ini dapat dilihat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir percobaan lapis listrik

Percobaan Pengerasan Difusi

Benda kerja berbentuk strip berukuran panjang 100 mm, lebar 30 mm dan tebal 4 mm. Benda kerja dimasukkan ke dalam silinder baja yang telah diisi dengan campuran pembentuk lapisan khrom, kemudian ditutup dengan pelat tebal yang di las. Tiga komposisi campuran yang digunakan dalam percobaan adalah:

Campuran 1: 50% fero khrom, 37% Al₂O₃ dan 3% NH₄Cl.

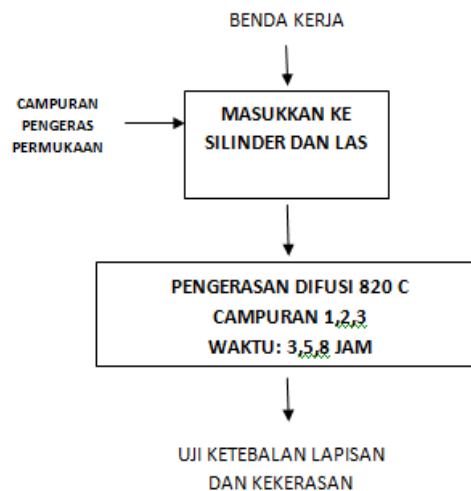
Campuran 2: 55% fero khrom, 40% Al₂O₃ dan 5% NH₄Cl.

Campuran 3: 60% fero khrom, 43% Al₂O₃ dan 7% NH₄Cl.

Silinder baja yang telah diisi campuran itu dipanaskan pada temperatur 820 °C dan

ditahan selama 3, 5 dan 8 jam. Secara keseluruhan ada 9 percobaan dengan variabel campuran (tiga jenis) dan waktu pemanasan (3, 5 dan 8 jam). Hasil tiap percobaan kemudian diukur ketebalan lapisan putih dan lapisan difusinya, serta diukur kekerasan masing-masing lapisan dengan metode Vickers.

Diagram alir untuk percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir percobaan pengerasan difusi

HASIL PERCOBAAN PENGERASAN LAPIS LISTRIK

Hasil percobaan pengerasan secara elektrolisa khrom keras adalah sebagai berikut:

Waktu pelapisan 10 menit:

Ketebalan lapisan 31,4 mikron

Permukaan Halus

Kekerasan rata-rata 737 skala Vickers.

Waktu pelapisan 20 menit:

Ketebalan lapisan 60,6 mikron

Permukaan Halus

Kekerasan rata-rata 779 skala Vickers.

Waktu pelapisan 35 menit:

Ketebalan lapisan 96,3 mikron

Permukaan agak kasar

Kekerasan rata-rata 852 skala Vickers.

HASIL PERCOBAAN Pengerasan DIFUSI

Percobaan pengerasan difusi dengan variasi komposisi bahan pelapis khrom dan waktu penahanan di temperatur 820 °C. memberi hasil ketebalan lapisan seperti terlihat dalam Tabel 1 dan kekerasan lapisan seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Ketebalan lapisan putih dan difusi

No	Campuran	Waktu (jam)	Putih (mikron)	Difusi (mikron)
1	1	3	24	110
2	1	5	40	150
3	1	8	73	260
4	2	3	32	125
5	2	5	47	240
6	2	8	96	250
7	3	3	47	165
8	3	5	53	220
9	3	8	94	240

Tabel 2. Kekerasan lapisan putih dan difusi

No	Campuran	Waktu (jam)	Putih (VHN)	Difusi (VHN)
1	1	3	502	330
2	1	5	837	401
3	1	8	980	412
4	2	3	785	461
5	2	5	967	543
6	2	8	1093	620
7	3	3	890	573
8	3	5	1040	688
9	3	8	1100	714

VHN = Vickers Hardness Number

PEMBAHASAN

Dari segi kekerasan permukaan, pengerasan dengan lapis listrik dan difusi memberi hasil yang cukup berarti dibanding kekerasan benda awalnya. Baja karbon medium dengan kandungan karbon 0,45% memiliki kekerasan sekitar 200-250 BHN. Setelah mengalami pengerasan dengan metode lapis listrik bisa memiliki kekerasan permukaan sekitar 700 hingga 900 BHN. Sementara dengan pengerasan difusi, bisa mencapai 1100 BHN untuk lapisan putihnya, sementara lapisan difusinya mencapai angka 712 BHN.

Relatif seragamnya kekerasan pada penggunaan metode lapis listrik menunjukkan bahwa sifat lapis khromnya memang berbeda dan terpisah dengan logam dasarnya. Perbedaan ini mungkin akan mengurangi daya lengket lapisan khrom pada hasil proses lapis listrik dibanding lapis khrom hasil pengerasan induksi. Sementara kekerasan pada hasil proses difusi menurun perlahan dari lapisan putih ke arah lapisan difusi hingga ke logam dasar. Penurunan yang perlahan ini menunjukkan ikatan dan kelengketan yang baik antara lapisan putih, lapis difusi dan logam dasarnya.

Dari hasil percobaan ini terlihat, bahwa ketebalan kekerasan lapisan sangat tergantung dari waktu pelapisan bila dilakukan dengan rapat arus yang sama. Sayangnya, untuk waktu pelapisan yang cukup lama dan ketebalan lapisan mendekati 100 mikron, permukaan lapisan menjadi agak kasar. Untuk keperluan pengerasan permukaan gerus attrition mill, kekasaran permukaan ini tidak terlalu mengganggu.

Dibanding dengan lapis listrik, lapis difusi juga memberi kekerasan permukaan yang lebih baik, bahkan mencapai angka di atas 1000 BHN. Kekerasan ini cukup memadai untuk melindungi komponen gerus untuk menggerus mineral-mineral yang cukup keras. Kalau diperlukan kekerasan yang lebih tinggi lagi, bisa diberi lapisan boron karbida. Konon

lapisan hasil proses ini bisa mencapai sekitar 1500 BHN.

Dari hasil percobaan pengerasannya sendiri tampak bahwa komposisi campuran dan waktu pemanasan memberi pengaruh yang sangat berarti pada proses pengerasan. Campuran yang lebih banyak mengandung ferokrom dan waktu yang lebih lama, memberi hasil kekerasan yang lebih baik. Pada campuran dengan ferokrom 60% dan waktu pemanasan 8 jam bisa dicapai kekerasan sekitar 1500 BHN.

Ditinjau dari proses pengerasannya sendiri, pengerasan difusi tampak lebih sulit dilakukan dibanding dengan proses lapis listrik. Penggunaan temperatur yang relatif tinggi dan reaksi di dalam tabung baja yang di las rapat membutuhkan usaha keras untuk mewisadahi dan membuka wadahnya pada saat mengambil benda kerja. Tetapi untuk pengerasan komponen gerus, tampaknya pengerasan difusi bisa menjadi pilihan.

Apabila pengerasan difusi dianggap terlalu merepotkan, perlu dipertimbangkan metode pengerasan yang lain seperti pelapisan semprot (*spray coating*) yang akhir-akhir ini memperlihatkan kemajuan dan perkembangan yang sangat pesat. Pelapisan semprot, baik konvensional maupun plasma, dapat melapiskan logam maupun keramik ke permukaan baja. Bahkan ada proses semprot dingin yang dapat melapisi logam dan paduan magnesium.

Untuk lapis difusi sendiri tengah dikembangkan metode baru semacam penggunaan gelombang mikro untuk proses pemanasannya. Cara ini diakui sebagai cara yang lebih bersih dan hemat energi.

KESIMPULAN

Dari percobaan dan pembahasan di muka, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Permukaan komponen gerus attrition mill dapat dikeraskan dengan proses khromisasi secara lapis listrik maupun pengerasan difusi.
2. Pengerasan dengan lapis listrik menghasilkan lapisan khrom yang keras dan seragam dengan kekerasan sekitar 737 hingga 852 BHN, berbeda jauh dengan logam dasarnya yang memiliki kekerasan antara 200-250 BHN. Perbedaan ini memiliki potensi agak lemahnya daya lengket antara lapisan khrom dengan lapisan logam dasarnya.
3. Dibanding dengan lapis listrik, lapis difusi juga memberi kekerasan permukaan yang lebih baik, bahkan mencapai angka di atas 1000 BHN. Kekerasan ini cukup memadai untuk melindungi komponen gerus untuk menggerus mineral-mineral yang cukup keras.
4. Ditinjau dari proses pengerasannya sendiri, pengerasan difusi tampak lebih sulit dilakukan dibanding dengan proses lapis listrik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Dong ET AL., Microstructure and Properties of Boronizing Layer of Fe-based Powder Metallurgy Compacts Prepared by Boronizing and Sintering Simultaneously, *Science of Sintering*, 41 (2009) 199-207.
- [2] K.G. Anthymidis ET AL, A comparative study of boride coatings obtained by pack cementation method and by fluidized bed technology, *Acta Materialia* 53 (2005) 2081-2089.
- [3] Z.B. Wang ET AL., Chromizing behaviors of a low carbon steel processed by means of surface mechanical attrition treatment, *Materials Letters* 57 (2003) 2399-2403.
- [4] Doug Perrish, Microwave Diffusion Treatment with Pack Cementation, *Ampere Newsletter Issue* 52, March 2007.

- [5] Obert Bianco et al, Codepositing Element by Halide Activated Pack Cementation, JOM Vol 43, No11 Nov 1991.

RIWAYAT PENULIS

Yusuf, dilahirkan di Solo 18 Desember 1948, memperoleh pendidikan bidang Metalurgi Ekstraksi di Jurusan Teknik Pertambangan – ITB, pernah mengikuti pelatihan di Jepang (JSPS dan JICA), Korea Selatan (KAIST) dan Amerika Selatan (Kaiser Engineering). Saat ini aktif bekerja pada Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI, Puspiptek Serpong.