

Pengaruh Doping Kromium Terhadap Sifat Kekerasan Pada Pembuatan Roda Gigi Lurus Berbahan Serbuk Besi

Effect of Chromium Doping to Hardness Properties in the Manufacture of Spur Gears Made from Ferrous Powder

Albert Daniel Saragih^{1*}, Slamet Sutjipto²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Kota Bandung, 40012

[doi.10.21063/jtm.2020.v10.i2.109-113](https://doi.org/10.21063/jtm.2020.v10.i2.109-113)

Correspondence should be addressed to albertdanielsrgh@polban.ac.id

Copyright © 2020 A.D. Saragih. This is an open access article distributed under the CC BY-NC-SA 4.0.

Article Information

Received:

September 28, 2020

Revised:

October 14, 2020

Accepted:

October 21, 2020

Published:

October 31, 2020

Abstract

A gear is a part of a machine that has a very complex shape so that it requires special care and expertise in the manufacturing process. Powder metallurgy offers an efficient manufacturing process for the production of these complex machining parts. In this study, Cr metal powder was selected to increase the hardness properties of spur gears made from iron (Fe) powder. Doping Cr by 0%; 0.5%; 10%, 1.5% and 2.0% will be added in gear manufacturing. Water is used as a binder with a ratio of 1:15 which is then packed by 15,000 kg or 15 tons then heated or sintered at a temperature of 1200 °C for 1 hour. The shrinkage ratio of the sample to the sintering treatment averaged 4.6%. 0.2 kg of load applied to the Vickers hardness test. Vickers hardness values obtained were 60, 77, 90, 184 and 211 respectively for the Cr doping of 0%; 0.5%; 10%, 1.5% and 2.0%. From these data it is found that the addition of the element Cr increases the hardness properties of iron gears. The hardness value shown is still too small, this is because there is still a lot of porosity generated in the sintering process because it is not in a vacuum condition.

Keywords: spur gears, chromium, doping, sintering.

1. Pendahuluan

Roda gigi adalah salah satu bagian dari mesin yang paling sering digunakan. Roda gigi ini berfungsi untuk mentransmisikan energi/daya dari satu bagian mesin ke bagian yang lainnya. Terdapat banyak jenis roda gigi yang ada. Tetapi, roda gigi lurus adalah salah satu jenis roda gigi yang paling banyak digunakan.

Berbagai cara dapat digunakan untuk membuat atau memproduksi roda gigi, di antaranya adalah proses pengecoran (*casting*), tempa (*forging*), ekstruksi, dan metalurgi serbuk. Masing-masing proses di atas memiliki keunggulan dan kelemahan tertentu. Adapun pasar utama dari metalurgi serbuk adalah sektor

otomotif. Rata-rata di semua wilayah, sekitar 80% dari semua komponen metalurgi serbuk adalah untuk industri otomotif [1]. Dapat memproduksi bentuk yang sangat kompleks adalah satu kelebihan dari proses metalurgi serbuk, misalnya adalah roda gigi, poros dan sebagainya. Metalurgi serbuk seringkali dimungkinkan untuk menghasilkan bagian-bagian yang tidak dapat dikerjakan secara ekonomis, seperti proses pengecoran [2].

Berbagai usaha telah dilakukan dalam pembuatan roda gigi dengan menggunakan proses metalurgi serbuk. Yafie dkk [3] telah melakukan penelitian terhadap pengaruh variasi temperatur sintering dan waktu tahan sintering

terhadap densitas dan kekerasan pada Mmc W-Cu dengan menggunakan metode metalurgi serbuk. Pembuatan material proyektil dengan komposisi fraksi berat 70%W dan 30% Cu dengan tekanan kompaksi 400 MPa diterapkan pada penelitian tersebut. Dengan temperatur sintering terbaik sebesar 900 °C diperoleh nilai kekerasan sebesar 34,7 HRB dengan penahanan selama 2 jam.

Alauzi dkk [4] didalam penelitiannya telah membuat roda gigi dari bahan serbuk logam tembaga dan alumunium. Dengan menggunakan proses kompaksi, *green compact* (GC) di tekan dengan kekuatan 6 ton kemudian disinter pada suhu 868 °C. Hasil terbaik diperoleh dengan komposisi tembaga 75% dan alumunium sebanyak 25%. Namun, hasil kekerasan yang diperoleh belum mencapai nilai yang diinginkan.

X. Li dkk [5] melaporkan hasil penelitiannya dalam pembuatan roda gigi dengan menggunakan teknik metalurgi serbuk. Penambahan unsur Ni, C, dan Mo diberikan kepada dominan logam serbuk besi. Sampel kemudian di sinter pada suhu 1120 °C selama 45 menit pada kondisi vakum. Modulus Young's yang dihasilkan dari proses ini masih lebih kecil dari proses konvensional.

Pada penelitian sebelumnya oleh Zulkarnain dan Nopiandi [6] telah dilakukan rancang bangun pembuatan cetakan/dies roda gigi lurus dengan hasil seperti pada Gambar 1. Alat cetak ini digunakan untuk membuat roda gigi lurus dengan metode kompaksi.



Gambar 1. Alat cetak ini digunakan untuk membuat roda gigi lurus dengan metode kompaksi

Sedangkan pada penelitian ini dipilih unsur kromium karena sifatnya yang tidak mudah teroksidasi oleh udara, oleh karena itu banyak digunakan sebagai pelapis logam, pengisi stainless steel, lapisan perlindungan untuk mesin-mesin otomotif dan perlengkapan tertentu sebagaimana yang juga telah dipaparkan pada referensi [7]. Selain itu, dipilihnya logam Cr agar dapat memberikan

dampak yang baik pada pembuatan roda gigi lurus khususnya sifat kekerasannya.

2. Metode

Sekitar 80% dari semua serbuk metal dihasilkan dari proses atomisasi, di mana bahan cair didisintegrasi menjadi tetesan kecil yang dingin dan mengeras menjadi partikel [2]. Seperti yang telah diketahui bahwa urutan proses metalurgi terdiri dari 3 tahapan, yaitu: pengadukan atau pencampuran serbuk logam, kompaksi atau pemadatan, dan sintering [8].

Proses pengadukan atau pencampuran serbuk logam dapat dilakukan dengan metode kering atau metode basah, di mana air atau larutan lainnya digunakan untuk meningkatkan mobilitas partikel, mengurangi pembentukan debu, dan mengurangi bahaya ledakan ketika pemadatan berlangsung [8].

Pada proses kompaksi atau pemadatan, serbuk ditekan sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Pemadatan ini merupakan langkah paling kritis dalam proses metalurgi serbuk. Pada proses ini, serbuk logam dikompres/ditekan dan dipadatkan menjadi bentuk yang dikenal sebagai kompaksi hijau (*green compact/GC*) yang secara umum dilakukan pada suhu kamar. Kepadatan produk yang tinggi dan keseragaman dari kerapatan tersebut di seluruh sampel umumnya merupakan karakteristik yang diinginkan yang untuk selanjutnya dilakukan proses pemanasan atau sintering. Tekanan yang diterapkan dalam pada proses juga dapat menghilangkan penghubung yang terbentuk selama pengisian serbuk kedalam cetakan/dies, mengurangi ruang pori, dan meningkatkan jumlah titik kontak antara partikel-partikel serbuk logam. Secara umum proses pemadatan banyak dilakukan dengan pengepres mekanis/konvensional dengan mesin press dan ada juga menggunakan mesin tekan hidrolik maupun mesin press pneumatik. Kapasitas tekanan untuk produksi metalurgi serbuk umumnya diberikan dalam ton atau kN atau MN. Gaya (F) yang diperlukan untuk pengepresan tergantung pada area yang diproyeksikan dari bagian metalurgi serbuk (area dalam bidang horizontal untuk pengepres vertikal yang disimbolkan dengan A) dikalikan dengan tekanan (p) yang dibutuhkan untuk memadatkan serbuk logam yang diberikan (persamaan (1)) [8].

$$F = A_p P_c \quad (1)$$

Besarannya gaya kompaksi yang diberikan bervariasi bergantung pada material logam serbuk dan aplikasi produk seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Pembagian tekanan kompaksi untuk berbagai jenis aplikasi produk [2].

Aplikasi	Tekanan Kompaksi	
	Ton/in ²	MPa
Logam berongga dan penyaring	3-5	40-70
Logam keras dan karbida	5-15	70-200
Bantalan (bearing) berongga	10-25	146-350
Bagian-bagian mesin (densitas menengah, besi dan baja)	20-50	275-690
Densitas Tinggi (Tembaga dan sebagian Aluminium)	18-20	250-275
Densitas Tinggi (besi dan sebagian baja)	50-120	690-1650

Pada proses sintering, dilakukan pemanasan pada suhu di bawah titik leleh untuk menghasilkan ikatan kondisi padat (*solid-state*) partikel dan memperkuat sampel. Sintering adalah suatu proses perlakuan panas yang dilakukan pada sampel atau GC untuk agar partikel logam saling berikatan sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan sampel. Perlakuan panas biasanya dilakukan pada suhu antara 0,7 dan 0,9 titik leleh logam (pada skala absolut). Istilah sintering keadaan padat atau sintering fase padat kadang-kadang digunakan untuk sintering konvensional karena material logam tetap tidak meleleh pada suhu perlakuan ini [8].

Pada penelitian ini, Serbuk Cr ditambahkan sebesar 0,5%; 1,0%; 1,5% dan 2,0% pada pembuatan roda gigi lurus berbahan dasar serbuk besi (Gambar 2). Seluruh material serbuk dicampur dengan menggunakan mesin pencampur konvensional selama 12 jam. Sebelum dikompaksi seluruh sampel yang sudah dicampur dengan berbagai variasi konsentrasi doping dicampur dengan dengan air. Air berfungsi sebagai pengikat/binder ditambahkan dengan ratio 1:15 terhadap serbuk material yang akan dicetak. Selanjutnya sampel dimasukkan kedalam cetakan (Gambar 1). Dengan menggunakan kompaksi pada suhu ruangan, semua sampel akan dikompaksi

dengan besaran 15 ton (Gambar 3). Selanjutnya dilakukan sintering pada tungku pemanas/furnace dengan temperatur 1200 °C ditahan selama 1 jam.



Gambar 2. Bahan penelitian yaitu serbuk besi dan serbuk krom (kiri), proses penimbangan bahan penelitian (kanan).



Gambar 3. Proses pencetakan roda gigi dengan besaran kompaksi 15 ton.

Setelah proses sintering dilakukan, kemudian dilanjutkan ke tahap evaluasi sampel. Dalam hal ini direncanakan akan dilakukan perhitungan penyusutan serta pengujian sifat mekanik meliputi kekerasan dan metalografi, baik struktur dan komposisi unsur yang terkandung didalam roda gigi lurus. Rasio penyusutan ketebalan sampel setelah proses perlakuan panas atau sintering (S_r) dihitung dengan menggunakan persamaan teoretis berikut

$$S_r = \frac{T_B - T_A}{T_B} 100 \% \quad (2)$$

di mana T_B adalah tebal sebelum sintering dan T_A adalah tebal setelah sintering.

Pengujian sifat kekerasan roda gigi lurus dilakukan dengan metode mikro vickers (HM-122 Mitutoyo) menggunakan indenter intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar dengan sudut permukaan piramid yang berhadapan sebesar 136°. Pengujian dengan menggunakan SEM-EDS dan mikroskop optik (Olympus DP22, Japan) digunakan untuk menganalisis struktur morfologi dan persentase komposisi material yang terkandung pada roda gigi lurus.

3. Hasil dan Pembahasan

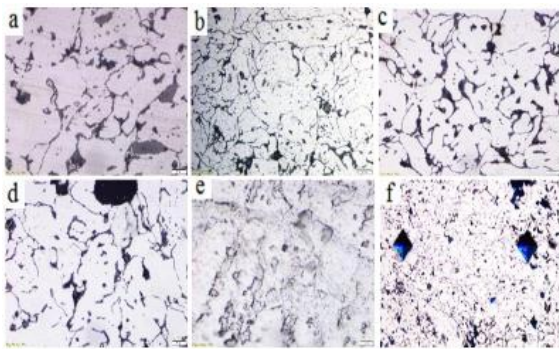
Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran dimensi tebal sampel sebelum dan sesudah sintering 1200 °C. Berdasarkan persamaan 1, rata-rata rasio penyusutan sebesar 4,6%.

Tabel 2. Data hasil pengukuran dimensi sampel sebelum dan sesudah sintering 1200 °C.

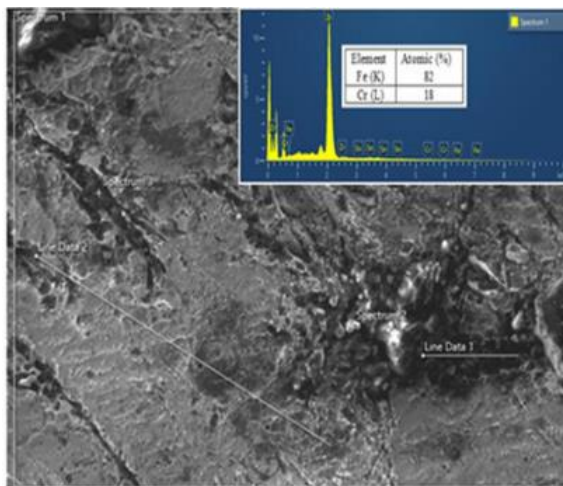
%Cr	T _B (mm)	T _A (mm)
0	6,30	6,01
0.5	6,29	6,03
1	6,28	6,02
1.5	6,28	6,01
2	6,30	6,02



Gambar 4. Sampel roda gigi setelah disintering 1200 °C (kiri), dan sampel dipotong untuk proses metalografi (kanan).

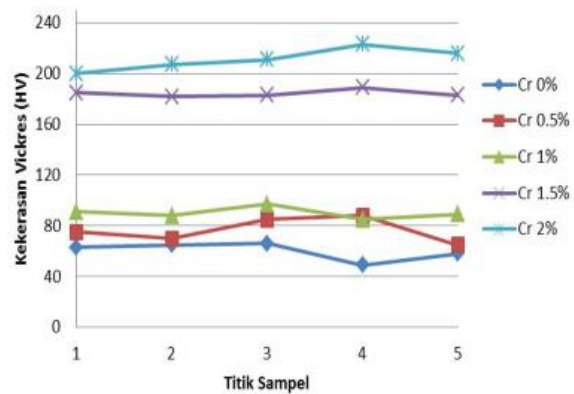


Gambar 5. Penampakan struktur mikro dengan mikroskop optik dengan perbesaran 100x. (a) Cr 0%; (b) Cr 0,5 %; (c) Cr 1,0%, (d) Cr 1,5%; (e) Cr 2%, dan (f) Penampakan jejak indenter pada sampel Cr 1.5% dengan beban yang diterapkan sebesar 0,2 kg..



Gambar 6. SEM-EDS dari sampel dengan persentase Cr 2%..

Seperti terlihat jelas pada Gambar 5 pada penampakan struktur mikro pada setiap sampel a-e, terlihat bahwa fasa yang terbentuk relatif seragam pada matriks ferit. Hasil SEM-EDS pada gambar 6 membuktikan bahwa unsur Cr telah berhasil terdistribusi kedalam fasa utama ferit atau Fe. Namun terdapat perbedaan pada saat persentase Cr sebesar 2%, kemungkinan terjadi saturasi yang mengakibatkan penumpukkan serbuk Cr sehingga terbentuk fasa baru yang memunculkan butiran-butiran baru. Hal ini sama dengan yang dilakukan Mushtaq [9] pada penelitiannya, di mana dalam hal ini logam Sn menjadi cair dan terlarut cukup banyak pada besi. Sehingga dapat disimpulkan ada batas tertentu didalam penambahan unsur Cr didalam pembuatan roda gigi yang berbahan dasar serbuk besi. Didalam penelitian ini diperoleh hasil yang titik maksimum yaitu 1.5%.



Gambar 7. Grafik hubungan nilai kekerasan tiap sampel dengan variasi doping Cr pada 5 titik uji.

Gambar 7 menunjukkan hasil dari pengujian kekerasan vickres pada 5 titik uji. Diperoleh rata-rata nilai kekerasan vickers. Nilai kekerasan Vickers diperoleh sebesar 60, 77, 90, 184 dan 211 masing-masing untuk doping Cr sebesar 0, 0.5, 1, 1.5, dan 2%. Nilai kekerasan yang diperoleh masih terbilang kecil, hal ini dikarenakan masih terdapat banyak porositas yang ditimbulkan setelah proses sintering. Porositas yang muncul diakibatkan karena proses sintering tidak dilakukan didalam kondisi vakum. Namun demikian pada penelitian sudah dapat memberikan informasi terkait penambahan unsur Cr memiliki pengaruh yang signifikan didalam pembuatan roda gigi lurus berbahan dasar besi, yaitu sifat kekerasan dan perubahan struktur mikronya.

4. Simpulan

Pembuatan roda gigi lurus berbahan dasar besi dengan menambahkan unsur Cr telah berhasil dilakukan didalam penelitian ini. Doping Cr sebesar 0, 0.5, 1, 1.5, dan 2% diterapkan pada pembuatan roda gigi. Air yang berfungsi sebagai binder ditambahkan dengan ratio 1:15 selanjutnya sampel dikompaksi sebesar 15 ton dan diteruskan dengan disintering pada suhu 1200 oC selama 1 jam. Diperoleh hasil ratio penyusutan terhadap perlakuan sintering dengan rata-rata sebesar 4.6%.

Dari penampakan struktur mikro disimpulkan bahwa persentase 1.5% Cr adalah titik maksimum untuk ditambahkan pada serbuk besi. Beban 0.2 kg diterapkan pada pengujian kekerasan Vickers. Nilai kekerasan Vickers diperoleh sebesar 60, 77, 90, 184 dan 211 masing-masing untuk doping Cr sebesar 0, 0.5, 1, 1.5, dan 2%. Dari data tersebut didapat bahwa penambahan unsur Cr dapat meningkatkan sifat kekerasan pada roda gigi besi. Nilai kekerasan yang ditunjukkan masih terlalu kecil hal ini disebabkan oleh masih banyak porositas yang ditimbulkan pada proses sintering karena tidak dalam kondisi vakum.

surfaces, Tribology International, volume 95, pp.211-220.

- [6] M.I. Zulkarnain dan R. Nopiandi, 2013. Rancang Bangun Cetakan Roda Gigi Lurus Berbasis Metalurgi Serbuk Tanpa Lubang Poros. Bandung.
- [7] E. Malkoc, J. Hazard and Mater, 2007. Removal of Cromium (Cr) from Wastewater. Arabian Journal. pp 142-219.
- [8] M.P. Groover, 2010. Fundamental of Modern Manufacturing, (USA: 4th Edition).
- [9] S. Mushtaq and M.F. Wani, 2017, The study of microhardness of powder metallurgy fabricated Fe-Cu alloy using vickers indenter, Advanced Materials Proceedings, 2(4), 259-263.

Referensi

- [1] Orangeleaf Sysyem Ltd, 2020, Market for Powder Metallurgy Components. <https://www.pm-review.com/introduction-to-powder-metallurgy/markets-for-powder-metallurgy-components/>. Diakses tanggal 1 April 2020.
- [2] E.P.D. Garmo, J.T. Black and R.A. Kohser, 2008. Materials & Process In Manufacturing (USA: Tenth Edition).
- [3] M.S. Yafie dan W. Widyastuti, 2014, Pengaruh variasi temperatur sintering dan waktu tahan sintering terhadap densitas dan kekerasan pada Mmc W-Cu melalui proses metalurgi serbuk, Vol. 1, No.1.
- [4] A. S. Alfauzi, A. Purnomo, B. Tjahjono, Hariyanto dan N. Sa'adah, 2019. Pembuatan Roda Gigi dari Bahan Serbuk Logam Tembaga dan Alumunium dengan Proses Kompaksi, Jurnal Rekayasa Mesin, 14, 121-127.
- [5] X. Li, M. Sosa, M. Andersson and U. Olofsson, 2016, A study of the efficiency of spur gears made of powder metallurgy materials – ground versus super-finished