

KARAKTERISASI MATERIAL *BALL MILL* PADA PROSES PEMBUATAN SEMEN DENGAN METODA PENGUJIAN KEKERASAN, MIKROGRAFI DAN SEM

Budi Setiyana¹⁾, Revelino Putra Perdana²⁾

Abstrak

Dalam proses pembuatan semen yang berawal dari bahan baku hingga menjadi semen yang siap pakai terdiri atas berbagai macam proses, salah satunya adalah proses finish mill dengan menggunakan bola-bola baja (ball mill) yang merupakan tahap akhir dalam proses pembuatan semen. Dalam suatu industri diperlukan suatu efisiensi untuk dapat memaksimalkan keuntungan. Dengan perkembangan teknologi pada saat ini maka dapat dilakukan pengembangan, salah satunya dengan mengembangkan material ball mill yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk dapat mengetahui karakteristik dari material ball mill tersebut diantaranya dengan melakukan pengujian kekerasan, metalografi dan Scanning Electron Microscope (SEM). Diperoleh nilai kekerasan dari ball mill berkisar antara 80,75 – 83,58 HR_A, struktur mikro yang terbentuk dari ball mill tersebut didominasi adanya karbida krom (Cr₂₃C₃) yang menyebabkan meningkatnya kekerasan, kekuatan, titik leleh dan elastisitas dari ball mill tersebut dan komposisi kimia ball mill pada suatu area terdiri dari unsur utama besi (Fe) sebesar 87.25% dan karbon (C) sebesar 0.22%, jadi ball mill termasuk baja karbon rendah yang sifatnya mudah ditempa dan mudah untuk dilakukan proses permesinan. Terdapat unsur paduan lainnya dalam baja ini yaitu silikon (Si) sebesar 0.58% dan krom (Cr) sebesar 11.96%. Berdasarkan unsur paduan yang terdapat pada area ini maka baja ini termasuk High alloy steel. Kandungan silikon sebesar 0.58% pada area ini dapat meningkatkan kekuatan tarik baja. Sedangkan kandungan krom sebesar 11.96% dapat meningkatkan kekerasan baja dan membuat baja menjadi lebih tahan terhadap oksidasi dan korosi.

Kata kunci : Ball mill, kekerasan, komposisi kimia

PENDAHULUAN

Pada proses *finish mill*, umpan yang berupa klinker dan gypsum akan masuk ke *finish mill* melalui *feed chute*. Karena perputaran mill maka akan menyebabkan gerakan pada bola-bola baja (ball mill) dan material. Oleh karena adanya tumbukan dan gesekan antara bola-bola baja (ball mill) dan material maka material akan mengalami penghancuran dan penghalusan. Semen akan mengalami *size reduction* yang pada tahap sebelumnya mempunyai ukuran sekitar 0,9 mm akan menjadi 100 mesh pada proses *finish mill* ini.

Ball mill yang digunakan merupakan type ball mill yang terbuat dari baja dan berbentuk bola. Prinsip kerja dari ball mill tersebut adalah dengan adanya tumbukan dan gesekan antara ball mill dan material sehingga material akan mengalami penghancuran dan penghalusan.

Dilakukan pengujian untuk dapat mengetahui sifat karakteristik dari ball mill, diantaranya pengujian kekerasan, metalografi dan Scanning Electron Microscope (SEM). Karena dengan mengetahui karakteristik dari ball mill ini maka akan dapat dilakukan pengembangan dari material ball mill untuk mendapatkan alternatif material pengganti yang lebih efisien.

TINJAUAN PUSTAKA

Callister (1994), menerangkan fasa-fasa yang terbentuk berdasarkan kandungan karbon pada temperatur tertentu. Berdasarkan diagram fasa Fe-Fe₃C, fasa bentuk stabil pada temperatur ruang disebut ferrite, atau besi- α , memiliki struktur kristal BCC (*The Body Centered Cubic*). Pada suhu 912°C (1674 °F) ferrite mengalami transformasi *polymorphic* menjadi austenite FCC (*The Face Centered Cubic*) atau besi- γ . Austenite ini tetap berlangsung hingga 1394 °C (2541 °F) yaitu temperatur dimana austenite FCC kembali menjadi BCC yang disebut dengan besi- δ dan akhirnya meleleh pada suhu 1538 °C (2800 °F). Perubahan-perubahan ini terjadi disepanjang sumbu vertikal sebelah kiri dari diagram fasa. Sumbu komposisi C pada Gambar 2.6 hanya sampai 6,70 % berat C; pada konsentrasi ini karbida besi atau sementite terbentuk (Fe₃C) yang ditandai dengan garis vertikal pada diagram fasa

Dieter (1987) menjelaskan tentang uji kekerasan rockwell, pada pengujian kekerasan ini menggunakan kedalaman lekukan pada beban yang konstan sebagai ukuran kekerasan. Mula-mula diterapkan beban kecil sebesar 10 kg untuk menempatkan benda uji. Hal ini akan memperkecil jumlah preparasi permukaan yang dibutuhkan dan juga memperkecil kecenderungan untuk terjadi penumbukan keatas atau penurunan yang disebabkan oleh penumbuk. Kemudian diterapkan beban yang besar dan secara otomatis kedalaman lekukan akan terekam pula gage penunjuk yang menyatakan angka kekerasan.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

²⁾ Alumni Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Nugraha Budi (2000), menerangkan tentang *ball mill*, yaitu untuk menjaga hasil yang konstan dan optimum, pemilihan ukuran *ball mill* yang memadai dan mutu material harus dilakukan secara hati-hati. Pada proses penggilingan, *ball mill* harus dapat menahan keausan yang disebabkan oleh gaya gesek antara *ball mill* tersebut dan material abrasif.

Ball mill terdiri dari beberapa ukuran dan mutu bahan yang berbeda-beda. Penggilingan kasar biasanya digunakan *ball mill* dengan ukuran diameter 50 mm sampai 100 mm, dan penggilingan halus dengan *ball mill* yang ukuran diameternya antara 15 mm sampai 50 mm.

Ukuran *ball mill* maksimum dan minimum dan komposisinya tergantung dari beberapa faktor, antara lain :

- Ukuran maksimum material yang akan digiling
- Kehalusan produk
- Diameter dan panjang mill
- Grindability* dan struktur mineral dari umpan material
- Sistem mill, yaitu sirkulasi terbuka/tertutup, banyaknya ruang dan beban sirkulasi.

Tergantung pada proses penggilingan, *ball mill* harus dapat menahan :

- Gaya pikul oleh bola itu sendiri, terutama pada penggilingan kasar dengan ukuran bola besar.
- Keausan disebabkan oleh gaya gesek antara bola dengan liner.
- Keausan yang disebabkan oleh material abrasif
- Korosi pada penggilingan kering

Untuk menjaga hasil yang konstan dan optimum, pemilihan ukuran bola yang memadai dan mutu material harus dilakukan secara hati-hati. Mill dapat diisi dengan bola yang mutunya rendah dan murah dengan laju keausan yang tinggi atau dengan yang mutunya tinggi dan harganya mahal dengan laju keausan yang rendah. Bagaimunapun harus dipertimbangkan bahwa bola dengan mutu rendah menyebabkan seringnya penambahan kedalam mill untuk menggantikan yang aus, sehingga menyebabkan tingkat operasi mill menurun.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah material *ball mill*.

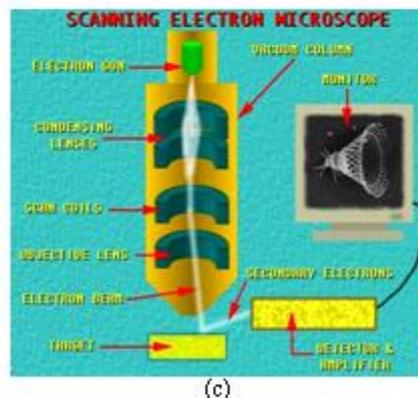
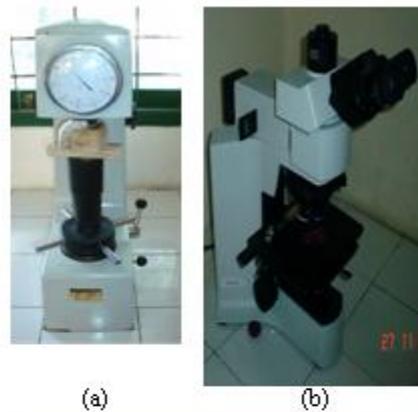


Gambar 1. *Ball mill*

Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan spesimen dan pengujian antara lain :

- Mesin gerinda
- Mesin amplas
- Amplas
- Ragum



Gambar 2. (a) Alat uji kekerasan rockwell, (b) Mikroskop untuk pengambilan gambar struktur mikro, (c) *Scanning Electron Microscope*

Penyiapan Bahan Baku

Proses penyiapan bahan baku menggunakan mesin-mesin diantaranya mesin gerinda dan mesin amplas. Material *ball mill* dipotong dibentuk hingga didapatkan bentuk yang diinginkan untuk dapat dilakukan proses pengujian.

Untuk pengujian kekerasan, material *ball mill* yang awalnya berbentuk bola dipotong pada dua bagian sisi yang saling berseberangan dan diratakan agar permukaannya bisa datar dengan menggunakan mesin gerinda. Setelah itu salah satu permukaan dibuat lebih halus dan rata lagi dengan menggunakan mesin amplas hingga siap untuk dapat dilakukan pengujian kekerasan. Spesimen yang dibuat untuk pengujian kekerasan ini berjumlah empat buah berasal dari *ball mill* dengan diameter yang berbeda.

Untuk pengujian metallografi, material *ball mill* dipotong-potong hingga mendapatkan ukuran 5 x 5 x 10 mm, kemudian diletakan pada permukaan pipa paralon 0,5 inch yang sudah dipotong-potong dengan panjang 2 cm, dengan menggunakan selotip, potongan

material tersebut ditempelkan. Melalui lubang paralon yang satunya, dimasukan campuran dari cairan resin, katalis dan kobalt, kemudian tunggu sampai cairannya membeku. Setelah cairan membeku, kemudian permukaannya dihaluskan dengan menggunakan mesin amplas, dengan *abrasive paper* kekasaran 120, 400, 800, 1000 dan 1500. Setelah itu melakukan proses polis dengan menggunakan autosol dan kemudian spesimen dietza untuk mengetahui lebih jelas struktur-struktur pada logam.

Untuk pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope*, material *ball mill* dipotong hingga berukuran 5 x 5 x 10 mm. Kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* di laboratorium Teknik Metalurgi Universitas Indonesia.

Pengujian karakteristik mekanik

Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material *ball mill* yang akan diuji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan standar kekerasan rockwell.

Pengujian Mikrografi

Pengujian mikrografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari material *ball mill* yang sekaligus dapat digunakan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari material yang diuji.

Pengujian SEM

Pengujian SEM bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia dari material *ball mill* sehingga dapat diketahui unsur-unsur yang terkandung dalam *ball mill* tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian kekerasan

Dari tabel 1 diketahui bahwa nilai kekerasan dari material *ball mill* berkisar antara 80,75 – 83,58 HR_A.

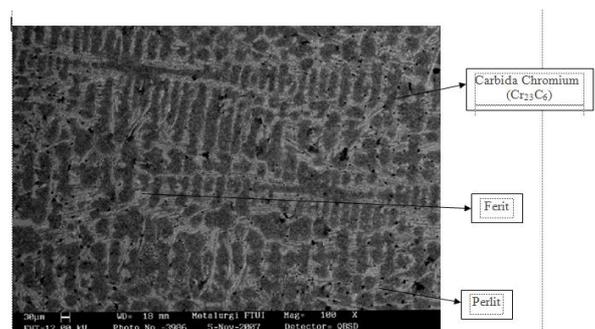
Tabel 1 Data hasil uji kekerasan dalam HR_A

No.	Bekas (d=30 mm)	Bekas (d= 40 mm)	Baru (d=40 mm)	Bekas (d=70 mm)
1	84.00	82.00	81.00	80.5
2	83.00	81.50	81.00	80.5
3	84.00	82.50	81.50	80.5
4	82.00	82.00	82.00	81.5
5	84.00	82.50	82.50	81
6	84.50	82.00	82.00	80.5
Rata2	83.58	82.08	81.67	80.75

Pembahasan

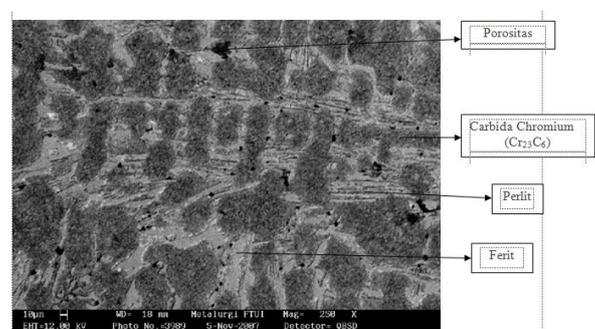
Berdasarkan tabel 1 nilai kekerasan diatas dapat dilihat bahwa kekerasan material *ball mill* relatif sama walaupun *ball mill* dalam diameter yang berbeda. Semakin besar diameternya, maka nilai kekerasannya cenderung semakin turun, hal ini mungkin dikarenakan oleh laju pendinginan yang lambat atau waktu solidifikasi lokal yang panjang yang menghasilkan struktur dendrit yang kasar dengan jarak antar lengan dendrit yang panjang. Untuk laju pendinginan yang cepat atau waktu solidifikasi lokal yang singkat, struktur yang dihasilkan lebih halus dengan jarak antar lengan dendrit yang sempit. Struktur yang terbentuk dan ukuran butir yang dihasilkan mempengaruhi sifat-sifat dari coran. Begitu ukuran butir mengecil, maka kekuatan dan keuletan coran meningkat^[Ref. 11]. Jadi nilai kekerasan material *ball mill* relatif sama besarnya yaitu sekitar 80,75 – 83,58 HR_A.

Telah dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada material *ball mill* dengan diameter 70 mm, dan dari pengujian tersebut didapatkan hasil-hasil sebagai berikut:



Gambar 3 Struktur mikro *ball mill* diameter 70 mm dengan pembesaran 100 kali

Dari gambar struktur mikro diatas dapat dilihat matriks penyusunnya berupa ferit, perlit dan *Carbida Chromium*(Cr₂₃C₆). Sedangkan jumlah perlit terlihat lebih banyak dibandingkan jumlah ferit yang ada dan *Carbida Chromium*(Cr₂₃C₆) hampir tersebar merata pada struktur mikro secara keseluruhan.



Gambar 4 Struktur mikro *ball mill* diameter 70 mm dengan pembesaran 250 kali

Dari gambar struktur mikro *ball mill* dengan pembesaran 250 kali diatas dapat terlihat matriks

penyusunnya berupa ferit, perlit dan *Carbida Chromium*(Cr₂₃C₆). Sedangkan jumlah perlit terlihat lebih banyak dibandingkan jumlah ferit yang ada dan *Carbida Chromium*(Cr₂₃C₆) hampir tersebar merata pada struktur mikro secara keseluruhan. Tetapi pada pembesaran ini juga terlihat adanya porositas, hal ini mungkin dikarenakan karena adanya cacat pada saat proses pengecoran, dimana pada saat proses pendinginan, gas yang dihasilkan akibat adanya perbedaan temperatur yang tinggi antara cetakan dan material dan terdapatnya waktu tunda saat proses solidifikasi, sehingga gas terjebak tidak dapat meninggalkan material yang mengakibatkan terjadinya porositas.



Gambar 5. Struktur mikro ball mill diameter 70 mm dengan pembesaran 500 kali

Pada pembesaran 500 kali ini akan dijelaskan unsur-unsur yang terdapat pada material ball mill pada beberapa area seperti pada gambar. Pada area 1 diketahui unsur yang terkandung pada material ini diantaranya:

Tabel 2. Komposisi kimia ball mill diameter 70 mm pada area 1

No.	Unsur	Element (%)	Atomic(%)
1.	Carbon	0.22	0.98
2.	Silikon	0.58	1.12
3.	Chrom	11.96	12.56
4.	Ferro	87.25	85.34
	Total	100.00	100.00

Berdasarkan kandungan unsur yang terdapat pada area 1 ini, maka material ball mill ini merupakan suatu paduan baja karbon rendah yang terdiri dari unsur utama besi (Fe) sebesar 87.25% dan karbon (C) sebesar 0.22%. Termasuk baja karbon rendah yang sifatnya mudah ditempa dan mudah untuk dilakukan proses permesinan. Terdapat unsur paduan lainnya dalam baja ini yaitu silikon (Si) sebesar 0.58% dan krom (Cr) sebesar 11.96%.

Berdasarkan unsur paduan yang terdapat pada area ini maka baja ini termasuk *High alloy steel*.

Kandungan silikon sebesar 0.58% pada area ini dapat meningkatkan kekuatan tarik baja. Sedangkan kandungan krom sebesar 11.96% dapat meningkatkan

kekerasan baja dan membuat baja menjadi lebih tahan terhadap oksidasi dan korosi.

Sedangkan pada area 2 diketahui unsur yang terkandung pada material ini diantaranya:

Tabel 3 Komposisi kimia ball mill diameter 70 mm pada area 2

No.	Unsur	Element (%)	Atomic(%)
1.	Carbon	0.62	2.71
2.	Chrom	52.37	53.00
3.	Ferro	47.01	44.29
	Total	100.00	100.00

Pada area 2 unsur utamanya adalah besi sebesar 47.01%. Sedangkan kandungan karbon sebesar 0.62% jadi baja ini termasuk baja karbon tinggi yang sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.

Unsur krom yang cukup besar pada area ini dikarenakan unsur krom merupakan unsur bebas tidak membentuk senyawa dengan unsur lainnya. Baja paduan apabila ditambahkan unsur krom maka dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanannya terhadap oksidasi dan korosi. Namun apabila unsur krom berdiri bebas pada suatu material maka justru akan menurunkan kekerasan dari material tersebut.

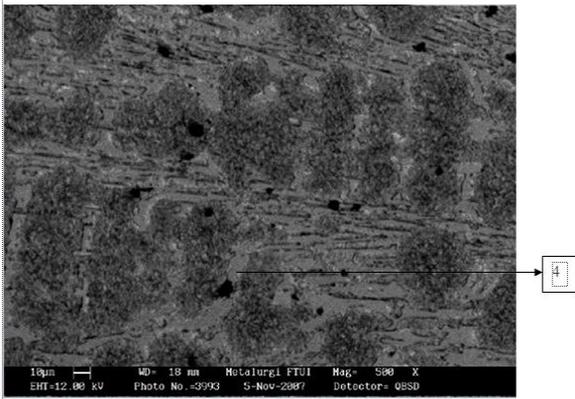
Sedangkan pada area 3 diketahui unsur yang terkandung pada material ini diantaranya:

Tabel 4 Komposisi kimia ball mill diameter 70 mm pada area 3

No.	Unsur	Element (%)	Atomic(%)
1.	Carbon	0.10	0.44
2.	Silikon	0.69	1.35
3.	Chrom	8.16	8.62
4.	Ferro	91.05	89.58
	Total	100.00	100.00

Pada area 3 unsur utama berupa besi (Fe) sebesar 91.05% dengan kandungan karbon (C) sebesar 0.10%, jadi termasuk ke dalam baja karbon rendah yang sifatnya mudah ditempa dan mudah untuk dilakukan proses permesinan.

Dengan unsur paduan yang terdapat pada area ini maka material termasuk *high alloy steel*. Unsur paduannya diantaranya adalah silikon (Si) yang dikandung sebesar 0.69% sehingga dapat meningkatkan kekuatan tarik dari material tersebut. Unsur krom (Cr) yang terkandung sebesar 8.16% yang mempunyai efek dapat membuat material menjadi meningkat kekerasannya dan membuat material menjadi lebih tahan terhadap oksidasi dan korosi.



Gambar 6. Struktur mikro ball mill diameter 70 mm dengan pembesaran 500 kali

Tabel 5 Komposisi kimia ball mill diameter 70 mm pada area 4

No.	Unsur	Element (%)	Atomic(%)
1.	Carbon	0.65	2.85
2.	Chrom	51.93	52.50
3.	Ferro	47.42	44.64
	Total	100.00	100.00

Pada area 4 ini unsur utama berupa besi (Fe) sebesar 47.42% dan kandungan karbon (C) sebesar 0.65%, jadi material ini termasuk ke dalam baja karbon tinggi yang sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.

Kandungan unsur krom (Cr) pada area ini sebesar 51.93% merupakan unsur bebas dan tidak membentuk senyawa dengan unsur lain. Baja paduan apabila ditambahkan unsur krom maka dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanannya terhadap oksidasi dan korosi. Tapi dengan adanya unsur bebas pada material ini sifatnya akan merugikan, kekerasan dari material ini akan berkurang. Unsur bebas ini terbentuk karena pada saat proses pengecoran, solidifikasi tidak terjadi secara langsung, namun secara bertahap dimana material disebelah luar akan mengeras terlebih dahulu tetapi yang disebelah dalam masih dapat berupa cairan. Dan suatu unsur mempunyai titik beku yang berbeda-beda.

Berdasarkan hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada material *ball mill* tersebut, pada area 1 khususnya pada daerah yang berbentuk dendrit didapatkan komposisi 0,22% C dan 11,96% Cr, dapat diketahui bahwa daerah tersebut termasuk daerah karbida krom ($Cr_{23}C_6$).

Dari hasil pengujian struktur mikro material *ball mill* seperti diatas dapat diambil kesimpulan bahwa :

Struktur matriks yang terbentuk antara lain adalah perlit, ferit dan karbida krom yang strukturnya dendritik.

1. Secara keseluruhan, struktur mikronya di dominasi oleh struktur dendrit yang berwarna hitam keabu-abuan (karbida krom ($Cr_{23}C_6$)) sehingga dapat meningkatkan kekerasan, kekuatan, titik leleh dan elastisitas dari baja^[Khodorovsky].
2. Adanya kandungan silikon pada material *ball mill* tersebut dapat meningkatkan kekerasan dan ketangguhannya.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil setelah dilakukan pengujian terhadap material *ball mill* diantaranya adalah:

1. Nilai kekerasan dari material *ball mill* berkisar antara 80,75 – 83,58 HR_A.
2. Karbida krom($Cr_{23}C_6$) mendominasi struktur mikro yang terbentuk pada material *ball mill* dimana menyebabkan meningkatnya kekerasan, kekuatan leleh dan elastisitas dari *ball mill* tersebut.
3. Berdasarkan komposisi kimianya sering terdapat unsur krom berdiri bebas yang mengakibatkan menurunnya kekerasan dari material tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Abdurroziq anton. *Pengaruh austemper Temperatur Quech 3500C Variasi Holding Time 1,5 Jam, 2 Jam dan 2,5 Jam Terhadap Kekerasan dan Keausan Besi Cor Kelabu Blok Rem Kereta Api*. Teknik Mesin UNDIP, Semarang
- 2) Callister, William D. 1994, *Material Science and Engineering*. John Willey & Sons, Inc. USA,
- 3) Dieter, George E. 1987, *Metalurgi Mekanik*. Erlangga. Jakarta.
- 4) Kalpakjian, Serope, *Manufacturing Engineering And Technology*, Addison-Wesley Publishing Company Inc
- 5) Kurniawan, Agus. 2001, *Perencanaan dan Pembuatan Alat Uji Keausan Abrasi Dua Benda Tipe Pin-on-Disc*. Teknik Mesin UNDIP, Semarang
- 6) Nugraha Budi, Ir. 2000, *Pemeliharaan Crusher dan Mill*. Institut Semen dan Beton Indonesia. Bogor
- 7) Riss A dan Khodorovsky Y. *Production of Ferroalloys*. Foreign Languages Publishing House. Moscow