

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Mekanik (Kekerasan) Komposit Matrix Logam

a. Metal Matrix Komposit

Metal matrix composites adalah salah satu jenis komposit yang memiliki matrik logam. Material MMC mulai dikembangkan sejak tahun 1996. Pada mulanya yang diteliti adalah Continuous Filamen, MMC yang digunakan dalam aplikasi *aerospace*. Komposit yaitu suatu sistem material yang tersusun atas campuran dari dua atau lebih pokok mikro atau makro yang berbeda dalam bentuk dan komposisi kimia serta pada dasarnya tidak saling larut satu sama lain. Komposit terdiri dari penguat, matrix adalah yang diperkuat, dan dopan sebagai pembasah (*wettability*).

Kelebihan MMC adalah:

- 1) Transfer regangan dan tegangan yang baik
- 2) Ketahanan terhadap temperatur tinggi
- 3) Tidak menyerap kelembapan
- 4) Kekuatan tekan dan geser yang baik
- 5) Tidak mudah terbakar
- 6) Ketahanan aus dan muai termal yang lebih baik

Kekurangan MMC adalah:

- 1) Biayanya mahal
- 2) Standarisasi material dan proses yang sedikit

Karakteristik matrik pada MMC :

- 1) Mempunyai keuletan yang tinggi
- 2) Mempunyai titik lebur yang rendah
- 3) Mempunyai densitas yang rendah Contoh : Aluminium beserta paduannya, Titanium beserta paduannya, Magnesium beserta paduannya.

Proses pembuatan MMC :

- 1) *Powder metallurgy*
- 2) *Casting/liquid infiltration*

- 3) *Compocasting*
- 4) *Squeeze casting*

Aplikasi MMC antara lain sebagai berikut :

- 1) Komponen *automotive* (blok-silinder-mesin, *pully*, baut, poros gardan, dll)
- 2) Peralatan militer (sudu turbin,cakram kompresor,dll)
- 3) *Aircraft* (rak listrik pada pesawat terbang)
- 4) Peralatan elektronik

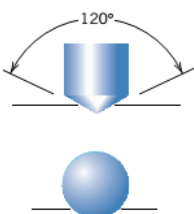

b. Pengujian kekerasan

kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Penekanan tersebut dapat berupa mekanisme penggoresan (*stratching*), pantulan ataupun indentasi dari material terhadap suatu permukaan benda uji. Berdasarkan mekanisme penekanan tersebut, dikenal 3 metode kekerasan:

- 1. Metode Gores
- 2. Metode elastic/pantul (*rebound*)
- 3. Metode Identasi

Adapun beberapa bentuk penetrator atau cara pengetasan ketahanan permukaan yang dikenal adalah:

- a. *Ball indentation test* (Brinell)
- b. *Pyramida indentation* (Vickers)
- c. *Cone indentation test* (Rockwell)

<i>Test</i>	<i>Indenter</i>	<i>Shape of Indentation</i>		<i>Load</i>
		<i>Side View</i>	<i>Top View</i>	
Rockwell dan Rockwell dangkal	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Diamond} \\ \text{cone;} \\ \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2} \text{ in.} \\ \text{diameter} \\ \text{steel spheres} \end{array} \right.$			$\left. \begin{array}{l} 60 \text{ kg} \\ 100 \text{ kg} \\ 150 \text{ kg} \end{array} \right\} \text{Rockwell}$ $\left. \begin{array}{l} 15 \text{ kg} \\ 30 \text{ kg} \\ 45 \text{ kg} \end{array} \right\} \text{Rockwell dangkal}$

Sumber: uji kekerasan rockwell menurut standar ASTM E18, diounisius younggi 2018

Gambar 2.1 Teknik pengujian kekerasan

Berikut penjelasannya:

A. Metode *Brinell*

Pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* bertujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap bola baja (indenter) yang ditekan pada permukaan material uji tersebut (specimen). Idealnya, pengujian *Brinell* diperuntukan bagi material yang memiliki kekerasan *Brinell* sampai 400 HB, jika lebih dari nilai tersebut maka disarankan menggunakan metode pengujian *Rockwell* ataupun *Vickers*. Angka Kekerasan *Brinell* (HB) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam *Newton* yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Indenter (Bola baja) biasanya telah dikeraskan dan diplating ataupun terbuat dari bahan Karbida Tungsten. Jika diameter indenter 10 mm maka bebanyang digunakan (pada mesin uji) adalah 3000 N sedang jika diameter indentornya 5 mm maka beban yang digunakan (pada mesin uji) adalah 750 N. Dalam Praktiknya, pengujian *Brinell* biasa dinyatakan dalam (contoh) : HB 5 / 750 / 15 hal ini berarti bahwa kekerasan *Brinell* hasil pengujian dengan bola baja (Indenter) berdiameter 5 mm, beban Uji adalah sebesar 750 N per 0,102 dan lama pengujian 15 detik. Mengenai lama pengujian itu tergantung pada material yang akan diuji. Untuk semua jenis baja lama pengujian adalah 15 detik sedang untuk material bukan besi lama pengujian adalah 30 detik.

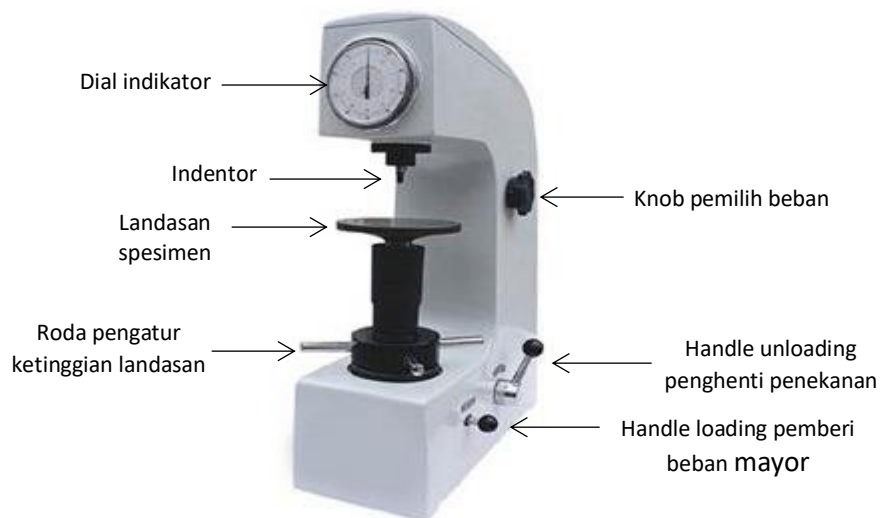
B. *Vickers*

Pengujian kekerasan dengan metode *Vickers* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap intan berbentuk piramida dengan sudut puncak 136 Derajat yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. Angka kekerasan *Vickers* (HV) didefinisikan sebagai hasil bagi (koefisien) dari beban uji (F) dalam *Newton* yang dikalikan dengan angka faktor 0,102 dan luas permukaan bekas luka tekan (injakan) bola baja (A) dalam milimeter persegi. Secara matematis dan setelah disederhanakan, HV sama dengan 1,854 dikalikan beban uji (F) dibagi dengan diagonal intan yang dikuadratkan. Beban uji (F) yang biasa dipakai adalah 5 N per 0,102; 10 N per 0,102; 30 N per 0,102N dan 50 per 0,102 N. Dalam Praktiknya, pengujian *Vickers* biasa dinyatakan dalam (contoh) : HV 30 hal ini berarti bahwa kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 15 detik. Contoh lain misalnya HV 30 / 30 hal ini berarti bahwa kekerasan *Vickers* hasil pengujian dengan beban uji (F) sebesar 30 N per 0,102 dan lama pembebanan 30 detik.

C. Rockwell

Skala yang umum dipakai dalam pengujian *Rockwell* adalah :

- a. HRa (Untuk material yang sangat keras)
- b. HRb (Untuk material yang lunak). Indentor berupa bola baja dengan diameter 1/16 Inchi dan beban uji 100 Kgf.
- c. HRC (Untuk material dengan kekerasan sedang). Indentor berupa Kerucut intan dengan sudut puncak 120 derajat dan beban uji sebesar 150 kgf.



Sumber: m.french.alibaba.com/p-detail/High-accuracy-Rockwell-hardness-tester-dokumenter-60592031407.html?language=french&redirect=1

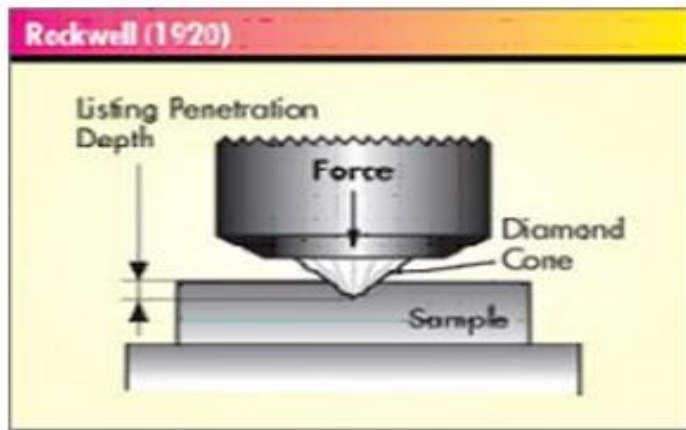
Gambar 2.2 Mesin uji *Rockwell*

Tabel 2.1 Skala kekerasan *rockwell*

Skala Simbol	Indentor	Total Beban (kgf)	Warna Dial	Aplikasi Skala
B	1/16-in. (1.588-mm) ball	100	Merah	Paduan tembaga, baja lunak, paduan aluminium, besi tempa, dll.
C	Diamond	150	Hitam	Baja, besi tuang keras, besi tempa peritik, titanium, baja lapisan keras yang dalam, dan bahan lain yang lebih keras dari skala B-100.
A	Diamond	60	Hitam	Carbide cementite, baja tipis, dan baja lapisan keras yang tipis.
D	Diamond	100	Hitam	Baja tipis, baja lapisan keras yang sedang, dan besi tempa peritik.
E	1/8-in. (3.175-mm) ball	100	Merah	Besi tuang, paduan aluminium, magnesium, dan logam bantalan.
F	1/16-in. (1.588-mm) ball	60	Merah	Paduan tembaga yang dilunakkan dan plat lunak yang tipis.
G	1/16-in. (1.588-mm) ball	150	Merah	Besi tempa, paduan tembaga, nikel-seng, dan tembaga-nikel.
H	1/8-in. (3.175-mm) ball	60	Merah	Aluminium, seng, timah.
K	1/8-in. (3.175-mm) ball	150	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	60	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
R	1/2-in. (12.70-mm) ball	60	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
S	1/2-in. (12.70-mm) ball	100	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis
V	1/2-in. (12.70-mm) ball	150	Merah	Logam, bantalan, dan bahan lainnya sangat lunak atau tipis

Sumber : ASTM Internasional E 18-03^{E1} An American National Standard 2004

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (spesimen) yang berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekan pada permukaan material uji tersebut. (Ika wahyuni, dkk, 2013)



Sumber: uji kekerasan rockwell, Fadhil Glory 2017

Gambar 2.3 Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell

2.2 Strukturmikro

2.2.1 Pengamatan dengan Mikroskop Metografi

Analisa metalografi (strukturmikro) merupakan teknik yang digunakan untuk mengetahui strukturmikro suatu logam, karena pada umumnya mempengaruhi sifat mekanik yang akan dihasilkan, (Agus Pranomo, 2011). Pengujian strukturmikro yang menggunakan *Micro Hardness Tester* dengan pembesaran foto diperoleh dari perkalian lensa obyektif dan okuler. Lensa obyektif yang dipakai 10x, lensa okuler 10x sehingga perbesaran bisa mencapai 100x. Pada jarak 10 setrip pada foto untuk perbesaran 100x adalah 100 μm .



Sumber: rebanas.com, gambar pengertian mikroskop cahaya elektron beserta bagian

Gambar 2.4 Mikroskop metalografi

1. Pengamplasan (*Grinding*)

Tahap ini dilakukan dengan menghaluskan permukaan permukaan yang ditujukan untuk menghilangkan kerak pada permukaan spesimen sampai didapatkan permukaan halus, nomor amplas yang digunakan adalah ukuran 320, 600, 800, 1000, 1200. Pengamplasan dimulai dari nomor amplas yang paling kecil (kasar) sampai nomor amplas yang paling besar (halus).

2. Pemolesan (*Polishing*)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan spesimen yang rata dan mengkilap, tidak ada goresan pada spesimen yang akan diamati. Proses pemolesan ini menggunakan autosol dan kain beludru.

3. Pengetsaan

Tahap ini untuk mengamati strukturmikro perlu dilakukan proses etsa, proses korosi terkontrol yang bertujuan untuk mengikis batas butir, sehingga nantinya strukturmikro akan terlihat lebih jelas. Permukaan sampel dicelup pada zat etsa, setelah itu bersihkan dengan air dan celup ke larutan penetral, bilas dengan air dan keringkan dengan *headryer*. Kemudian setelah melalui tahapan proses ini, sampel siap dilakukan pengamatan strukturmikro menggunakan mikroskop metalografi.

4. Pemotretan

Dimaksudkan untuk mendapatkan gambar dari strukturmikro yang dimaksud. Pembesaran gambar strukturmikro yang dipakai adalah pembesaran 200x.

2.2.2 Metode Perhitungan Ukuran Butir

Salah satu metode untuk menghitung ukuran butir adalah metode *Planimetric*. Metode ini menggunakan lingkaran yang umumnya memiliki luas area 5000 mm² dengan diameter lingkaran 79,8 mm. Kemudian hitung jumlah total semua butir dalam lingkaran di tambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran. Besar butir dihitung dengan mengalikan jumlah butir dengan pengali Jefferies (*f*) pada (Gambar 2.5).

Rumus Empiris : $G = [3,322 \text{ Log } (Na) - 2,95]$ dan

$$Na = f \left(N_{inside} + \frac{N_{intercepted}}{2} \right)$$

Dengan:

- G = besar butir dirujuk ke table ASTM E-112 untuk mencari nilai diameter butir
- N_A = jumlah butir
- N_{inside} = jumlah butir dalam lingkaran
- $N_{\text{intercepted}}$ = jumlah butir yang bersinggungan dengan garis lingkaran
- f = factor pengali pada table *Jefferies'*

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, f , for an Area of 5000 mm² (a Circle of 79.8-mm Diameter) ($f = 0.0002 M^2$)

Magnification Used, M	Jeffries' Multiplier, f , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

^A At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, f , becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

Sumber: standar ASTM E12-12

Gambar 2.5 Faktor pengali *Jefferies'*

 E112 – 12

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. G	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	µm ²	mm	µm	mm	µm	
00	0.25	3.88	0.2581	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.6	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

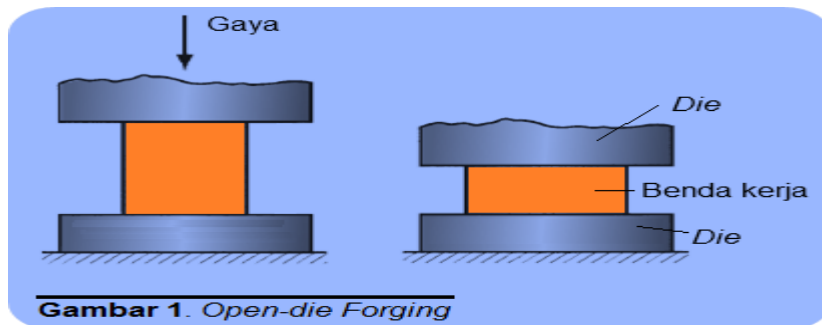
Sumber: standar ASTM E112-12

Gambar 2.6 Pengukuran ukuran butir ASTM E-112

2.3 Reduksi Penampang

Reduction of area atau reduksi penampang merupakan pengecilan penampang ketika mengalami *fracture*. Hal ini berguna dalam menentukan seberapa besar suatu material yang mengalami beban uniaksial akan mengalami pengecilan luas penampang.

Reduksi Penampang = reduction of area(q)



Gambar 1. Open-die Forging

Sumber: open-die forging, teknik mesin manufaktur, diounisius younggi 2015

Gambar 2.7 Reduksi penampang pada proses *pressing*

2.3.1 Strain Hardening

Proses pembentukan logam pada temperatur rendah, di bawah temperatur rekristalisasi biasa disebut pengerjaan dingin atau *cold working*. Pada pengerjaan dingin, proses deformasi akan mengakibatkan peningkatan kekuatan atau kekerasan logam. Peningkatan kekuatan yang terjadi akan tergantung pada seberapa besar deformasi atau regangan yang diterima oleh benda kerja. Regangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang benda terhadap panjang benda mula-mula. Selain itu pengerjaan dingin juga berpengaruh terhadap struktur butir yang berakibat butir mengalami distorsi atau perpecahan. Bertambahnya kekerasan atau kekuatan suatu logam akibat regangan atau pengerjaan dingin disebut pengerasan regang atau *strain hardening*. Dengan bertambahnya regangan maka tegangan yang diperlukan untuk proses deformasi selanjutnya akan menjadi lebih besar

Besarnya pengerjaan dingin dapat dinyatakan dengan persen reduksi penampang :

$$r = (A_0 - A_i) / A_0 \times 100\%$$

dimana, r = reduksi (%)

A_0 = luas penampang awal

A_i = luas penampang setelah deformasi

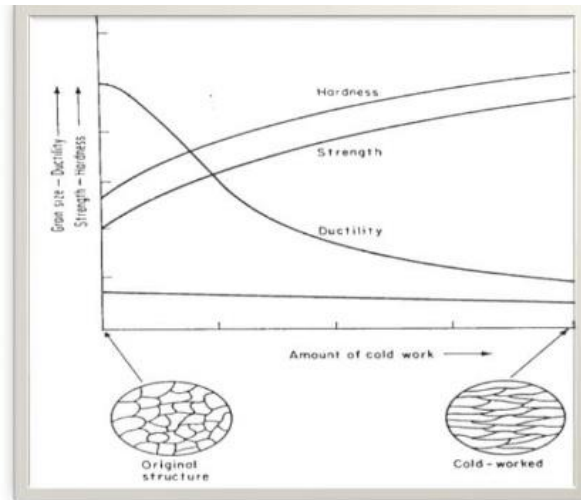
Pengerasan regang atau *strain hardening* dapat dijelaskan dengan mekanisme interaksi dislokasi logam akan menjadi naik dengan semakin besarnya deformasi, jarak rata-rata antara dislokasi menjadi lebih pendek. Adanya penumpukan dislokasi–dislokasi yang diikuti dengan beberapa dislokasi-dislokasi yang terkunci di dalam kristal, keadaan ini merupakan sumber tegangan dalam (internal stress) yang akan melawan atau menahan pergerakan dislokasi lainnya

Dislokasi-dislokasi menjadi sulit untuk bergerak. Jadi proses *strain hardening* terjadi akibat adanya penumpukan dislokasi pada bahan saat deformasi plastik dan mengeras akibat adanya hambatan-hambatan selama deformasi, hambatan ini dapat berupa perpotongan antar dislokasi, cacat titik, endapan, pengotor, dan lain-lain.

temperatur rekristalisasi dapat ditentukan dengan rumus :

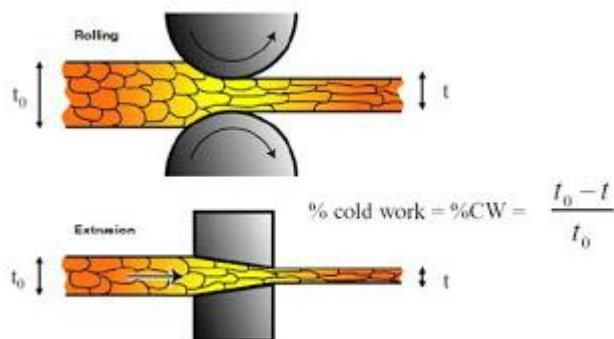
$$T_{rek} = 0,5 \cdot T_{mel} \text{ (K)}$$

dimana T_{rek} adalah temperatur rekristalisasi dan T_{mel} adalah temperatur lebur bahan logam.



Effect of cold working on tensile strength, hardness, ductility and grain size. (The curve below ductility represents the change in grain size)

Gambar 2.8 Grafik pengaruh persen *cold work* terhadap kekuatan dan *grain size*



Sumber: okasatria novyanto blog: mengenal pengerjaan dingin (cold working)

Gambar 2.9 Skema *cold work* dan perubahan bentuk butir



Sumber: *andra.biz*, pengaruh deformasi plastis terhadap strukturmikro

Gambar 2.10 Pengaruh reduksi penampang terhadap strukturmikro

Keuntungan proses pengerjaan dingin adalah :

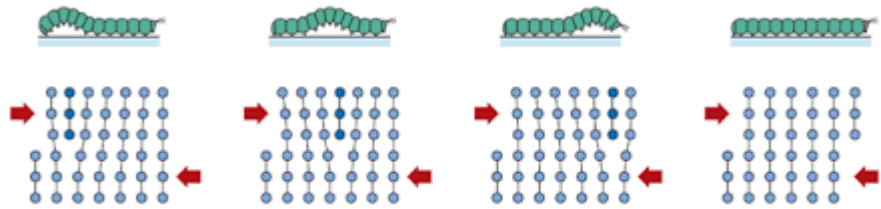
- Kekuatan tarik akan lebih baik dari benda asalnya
- Struktur butir mengalami distorsi atau perpecahan
- Ketelitian atau dimensi yang lebih baik
- Hasil permukaan benda kerja lebih baik
- Bisa menghasilkan benda dengan ukuran seragam

Kerugian proses pengerjaan dingin adalah :

- Daya pembentukan yang diperlukan lebih besar
- Peralatan yang diperlukan umumnya besar dan kuat
- Waktu proses yang lebih lama

2.4 Dislokasi

Dislokasi adalah suatu pergeseran atau pergerakan atom-atom di dalam sistem kristal logam akibat tegangan mekanik yang dapat menciptakan deformasi plastis (perubahan dimensi secara permanen) pada saat terjadinya deformasi plastis maka melibatkan pergerakan sejumlah besar dislokasi. Dislokasi bisa mudah bergerak dan juga bisa sulit bergerak. Dislokasi yang sudah ada bergerak dan dengan adanya penghambat yang menyebabkan penggandaan dislokasi, hal ini sejalan dengan teori Frank Read mengenai perbanyakan dislokasi. Pada proses pengerjaan dingin terjadi peningkatan dislokasi di dalam kristal logam sehingga kekuatan logam meningkat, namun keuletan menurun. Semakin halus ukuran butir, maka susunan butir menjadi lebih rapat dan lebih sulit terjadi dislokasi pada butir, sehingga kekerasan material akan meningkat.



Sumber: konsep dislokasi, ingga nur academia.edu

Gambar 2.11 Skema dislokasi

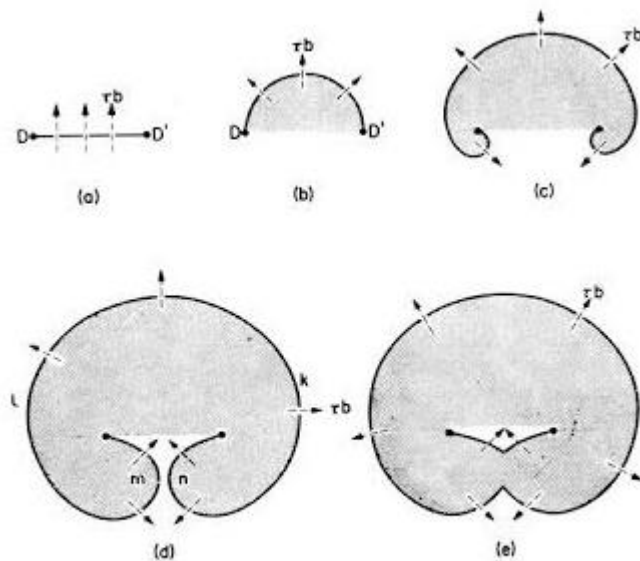


FIG. 8.6. Diagrammatic representation of the dislocation movement in the Frank-Read source. Unit slip has occurred in the shaded area. (From Read (1953), *Dislocations in Crystals*, McGraw-Hill.)

Gambar 2.12 Skema penggandaan dislokasi

Dislokasi dan dislokasi yang ada menurut Frank Read akan bergerak melalui kisi kristal hingga bertemu batas butir, dimana ketidakcocokan atom besar antara butir yang berbeda menciptakan medan tegangan tolak untuk melawan gerakan dislokasi yang berkelanjutan. Karena semakin banyak dislokasi menyebar kebatas ini, dislokasi ganda terjadi karena sekelompok dislokasi tidak dapat bergerak melalui batas. Ketika dislokasi menghasilkan medan tegangan tolak, setiap dislokasi berturut-turut akan menerapkan gaya tolak untuk insiden dislokasi dengan batas butir, gaya tolak ini bertindak sebagai kekuatan pendorong untuk mengurangi penghalang energi untuk difusi melintasi batas

sehingga tumpukan tambahan menyebabkan difusi dislokasi melintasi batas butir yang memungkinkan deformasi lebih lanjut pada material.

1. Karakteristik Dislokasi

Beberapa karakteristik dislokasi berpengaruh kepada sifat mekanik material. Termasuk medan regangan yang berada disekitar dislokasi yang akan menentukan mobilitas dislokasi dan kemampuan untuk bertambahnya dislokasi. Jika logam mengalami deformasi, 5% energi deformasi tetap berada pada material, sisanya menjadi panas. Sebagian besar energi yang disimpan tersebut berupa energi regangan dan berada disekitar dislokasi. Energi regangan berupa :tekan, tarik dan geser.

2. Sistem Slip

Gerakan dislokasi pada suatu bahan tidak sama kesetiap arah, ada bidang yang disukai (prefer plane) untuk terjadi gerakan dislokasi. Bidang ini disebut bidang *slip* Sedangkan arah gerakan disebut arah *slip*. Gabungan dari keduanya disebut sistem *slip*. Slip biasanya terjadi pada bidang terpadat dan slip juga tergantung pada struktur kristal logam.

Ukuran butir memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap sifat-sifat mekanis. Material logam dengan butir yang halus memiliki kemampuan menahan pergerakan dislokasi lebih baik dibandingkan butir kasar (besar), dikarenakan butir halus memiliki area batas butir total yang lebih luas. Untuk sebagian besar material logam, kekuatan tarik (σ_y) didefinisikan sebagai fungsi dari ukuran butir (d) dalam persamaan Hall Petch:

$$\sigma_y = \sigma_0 + K_y d^{-1/2}$$

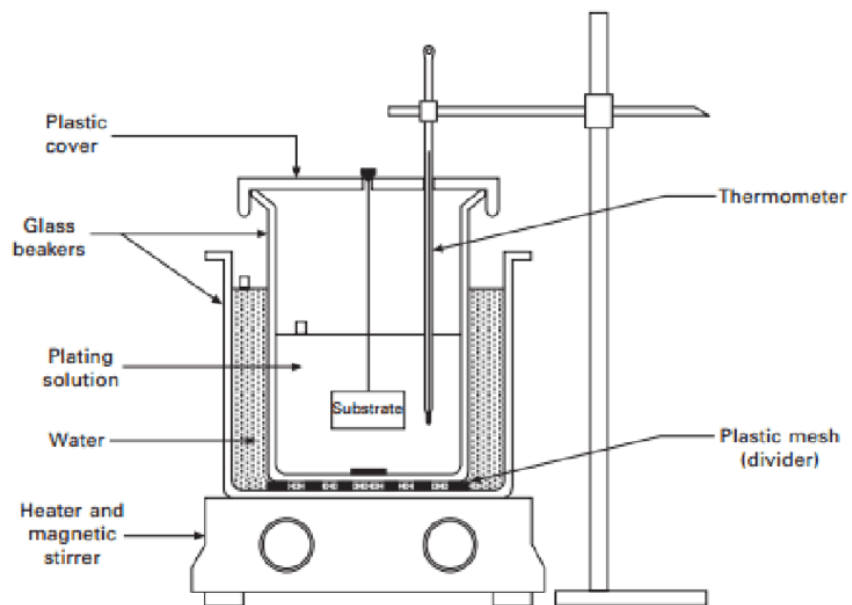
dimana σ_0 adalah tegangan geser yang berlawanan arah dengan pergerakan dislokasi pada butir, d adalah diameter butir dan k adalah suatu konstanta yang merepresentasikan tingkat kesulitan untuk menghasilkan suatu dislokasi baru pada butir berikutnya Walaupun demikian, pengaruh ukuran butir terhadap sifat mekanis memiliki batasan dimana butir yang terlalu halus (<10nm) akan menurunkan sifat mekanis akibat *grain boundary sliding*.

Teori Hall- Petch:

- Semakin halus ukuran butir maka bidang slip akan semakin pendek sehingga dislokasi akan cepat sampai kebatas butir.
- Semakin halus ukuran butir maka material akan semakin kuat.

2.5 Electroless Plating

Electroless plating merupakan proses pelapisan yang tidak menggunakan listrik dalam proses pelapisannya, proses pelapisan yang terjadi karena adanya reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan bahan, sehingga terbentuk lapisan logam yang berasal dari garam logam tersebut. Karena tidak menggunakan bantuan arus listrik dalam pertukaran elektron, proses pelapisan yang terjadi berjalan lebih lambat, sehingga untuk mempercepat pelapisan, temperatur proses harus dinaikkan sesuai batas yang dianjurkan dengan bantuan alat pemanas. Peralatan utama pada proses pelapisan *electroless* berbeda dengan pelapisan secara *electroplating* dimana pada proses *electroless* ini tidak menggunakan arus listrik dalam prosesnya. Seperti terlihat pada (Gambar 2.13).



Sumber: 3 A diagram illustrating the process of electroless platingfig3 researchgate

Gambar 2.13 Skema *electroless plating*

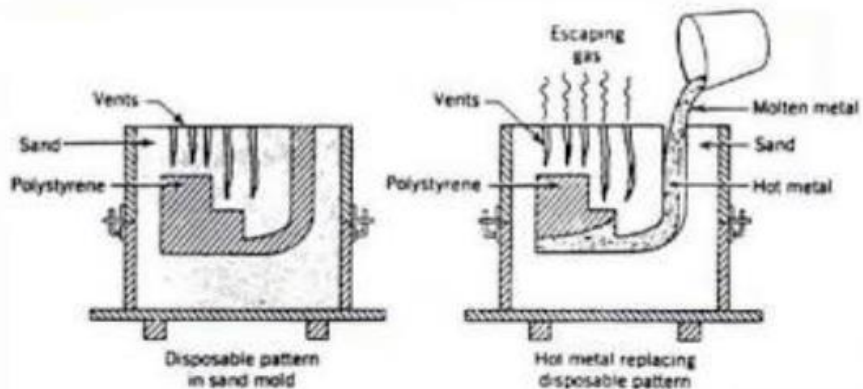
Keterangan :

1. Gelas *Plating*
2. Larutan Elektroless aluminium dan magnesium
3. Bahan yang dilapis (Abu dasar batubara)
4. kompor *magnetic stirrer*
5. Termometer

Pengembangan pelapisan plastik melalui proses etsa (etching) pada proses *electroless* memberikan kekuatan daya lekat lapisan yang cukup baik, karena dapat membersihkan lapisan tipis dan membuat pori-pori halus sebagai tumpuhan lapisan berikutnya. Dalam pelaksanaan pelapisan plastik, pada pengerjaan pendahuluan atau persiapannya, satu sama lain prosesnya juga berbeda, karena sangat dipengaruhi oleh jenis plastik yang akan dilapisi, sehingga permukaan bahan kimia untuk larutan pencuci dan etsa juga berbeda.

2.6 Gravity Casting

Pengecoran gravitasi adalah teknik pengecoran menggunakan cetakan logam dimana logam cair masuk kecetakan dengan gaya gravitasi. Metal cair mengalir ke dalam cetakan dan membeku dengan cepat selama proses pengecoran berlangsung. Hasil pengecoran dengan sistem ini memiliki permukaan yang halus dan dimensi yang cukup akurat; selain juga memiliki sifat mekanis dan ketahanan tekan yang sangat baik. (Sudarsono, 2011)



sumber: slideshare, arya mahendra sakti

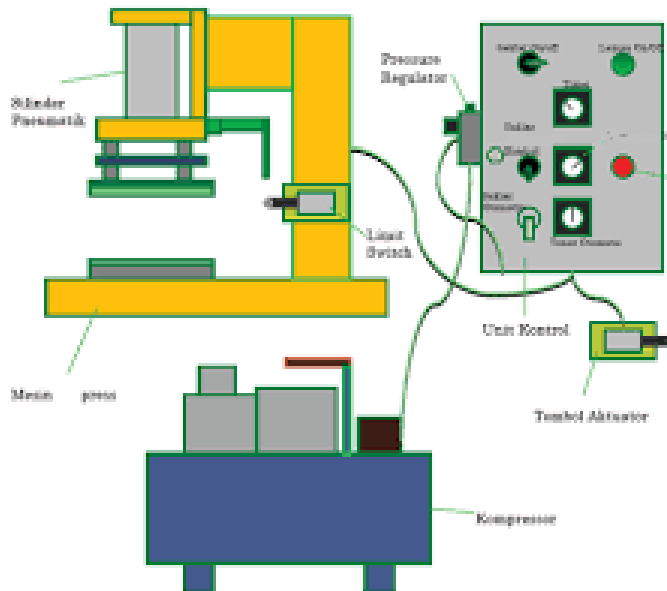
Gambar 2.14 Skema *gravity casting*

2.7 Homogenizing

Homogenizing merupakan suatu proses pemanasan pada temperatur tinggi yang bertujuan untuk menghilangkan efek segregasi kimia (tidak homogenya komposisi kimia) dan memperbaiki sifat mampu pengerjaan panas yang umum dilakukan pada ingot hasil pengecoran (M. Ginanjar Wibowo Mukti dkk, 2018).

2.8 Pressing

Pressing atau *forging* merupakan salah satu cara untuk mereduksi ketebalan plat logam yaitu mengubah penampang benda kerja. Pengepresan dapat dilakukan dengan beberapa cara tergantung bahan yang akan *dipress* dan hasil yang diinginkan. Jenis-jenis pengepresan yang sering dilakukan antara lain: pengepresan datar dan pengepresan bentuk. contohnya dalam proses pengepresan plat, maka dapat mempengaruhi bentuk butiran atau struktur mikro material yang *dipress*. Perubahan bentuk butiran pada proses pengepresan akan mempengaruhi sifat mekanik material plat yang *dipress*. Perubahan sifat mekanis pada plat yang *dipress* dapat diketahui dengan melakukan beberapa pengujian.



Sumber: publikasiilmiah.unwahas.ac.id, skema mesin press hidraulik

Gambar 2.15 Skema *pressing*

