

Serial Bahan dan Pengolahan

PERLAKUAN PANAS



PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DICUKUMKAN
KALAUUS DIPAKAI DALAM PENELITIAN

MILIK UPT. PERPUSTAKAAN
IKIP - PADANG

Disusun oleh :

Drs. DJASIMAN

Drs. R.M. ENOCH



FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN

INSTITUT KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

Padang

1987

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji kepunyaan Allah SWT yang telah memberi rahmat dan kurniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan buku ini yang merupakan Serial Bahan Dan Pengolahan mengenai "Perlakuan Panas".

Buku ini penulis susun dengan menghimpun bahan dari berbagai literatur yang berhubungan dengan masalah perlakuan panas, yang meliputi berbagai macam pelakuan panas dan penggunaannya dalam teknik.

Sekalipun pekerjaan perlakuan panas belum begitu berkembang di masyarakat kita, namun pekerjaan tersebut antara lain seperti penyepuhan alat-alat pertanian oleh pandai-pandai besi telah dikenal dan dilakukan sejak dulu. Dan sekarang nampaknya mulai berkembang seiring dengan perkembangan industri mesin di Negeri kita.

Hal tersebut di atas mendorong penulis untuk menyusun buku tentang perlakuan panas ini dengan harapan dapat menambah literatur teknik yang sekarang terasa masih kurang, baik untuk bahan pelajaran di Sekolah-Sekolah Teknik maupun untuk menambah pengetahuan para teknisi yang akan menunjang pekerjaannya di lapangan.

Kekurangan dan ketimpangan tentu saja ada dalam buku ini. Oleh karena itu berbagai saran dan kritikan untuk perbaikan buku ini penulis nantikan dengan senang hati.

Kepada teman-teman yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan buku ini, penulis ucapkan terima kasih.

Mudah-mudahan buku ini bermamfaat hendaknya.

Padang, September 87

Penulis

MILIK PERPUSTAKAAN IKIP PADANG	
DITERIMA TEL	19-10-1987
SUMBER/HARGA	Hadiah
KOLEKSI	K1
NO. INVENTARIS	239/2ld/88-PO (2)
KLASIFIKASI	669.028 Dja PO

2

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	1
DAFTAR ISI	ii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Definisi Pengerjaan Panas	1
1.2. Klasifikasi Proses Pengerjaan Panas	1
1.3. Tujuan Pengerjaan Panas	1
1.4. Prinsip-Prinsip Pengerjaan Panas	2
1.5. Langkah-Langkah Proses Pengerjaan Panas	3
BAB II. ANNEALING	4
2.1. Definisi Annealing	4
2.2. Annealing Tegangan Sisa	5
2.3. Proses Annealing	5
2.4. Spheroidise Annealing	6
2.5. Annealing Penuh	8
BAB III. NORMALISING	12
3.1. Definisi	12
3.2. Tujuan Normalising	13
BAB IV. PENGKERASAN DENGAN QUENCHING	14
4.1. Definisi	14
4.2. Cara Pengkerasan	14
4.3. Struktur Baja Yang Dikeraskan	15
4.4. Media Quenching	16
4.5. Karakteristik Quenching	19
4.6. Langkah Quenching	20
BAB V. PENYEPUHAN (TEMPERING)	22
5.1. Definisi	22
5.2. Langkah-Langkah Tempering	22
5.3. Tungku Sepuhan Dan Kontrol Temperatur	26
5.4. Quenching Dikejutkan	28
5.5. Ausforming	31
5.6. Maraging	33

	Halaman
BAB VI. MAMPU KERAS PADA BAJA.	35
6.1. Definisi Dan Pengantar	35
6.2. Cara-Cara Menentukan Mampu Keras	36
6.3. Test Jominy	37
DAFTAR PUSTAKA	41

BAB I

P E N D A H U L U A N

1.1. Definisi Pengerjaan Panas

Pengerjaan panas baja dalam pengertian secara luas, menunjukkan suatu proses menyangkut pemanasan dan pendinginan dari logam padat yang sifat-sifat bajanya bisa di rubah tanpa ada perubahan secara mendalam di dalam komposisi kimia.

Pengerjaan panas berarti menghasilkan sifat-sifat tertentu yang dikehendaki dalam baja untuk dapat memperoleh daya guna industri tertentu.

1.2. Klasifikasi Proses Pengerjaan Panas

Beberapa proses pengerjaan panas dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Anneling

 Annealing Tegangan Sisa

 Proses Annealing

 Spheroidising (Annealing)

 Annealing Penuh

2. Normalising

3. Mengeraskan (Hardening)

4. Penyepuhan (Tempering)

5. Martempering

6. Austempering

7. Maraging

1.3. Tujuan Pengerjaan Panas

Proses pengerjaan panas antara lain dilakukan agar :

1. Menghilangkan tegangan dalam yang diakibatkan oleh pengerjaan dingin, pengelasan, pengecoran, - .

penempaan dan lain-lain.

2. Mengeraskan dan menguatkan logam
3. Menyempurnakan mampu mesin
4. Merubah ukuran butir
5. Melunakkan logam untuk pengerjaan (dingin) lanjutan sebagaimana dalam penarikan kawat atau pengerollan dingin
6. Menyempurnakan keliatan dan keuletan
7. Meningkatkan tahan panas, aus dan korosi dari bahan
8. Menyempurnakan sifat-sifat listrik dan magnet
9. Spheroidize (membuat bulat-bulat) partikel-partikel yang sangat kecil, seperti Fe_3C di dalam baja dengan jalan difusi

1.4. Prinsip-Prinsip Pengerjaan Panas

Pengerjaan panas baja yang dibuat memungkinkan reaksi eutektoid dalam sistem besi-karbon (lihat gambar diagram keseimbangan besi-karbon C adalah titik eutektoid).

Semua proses dasar pengerjaan panas baja berhubungan dengan transformasi atau penguraian austenit.

Maka sifat dan kenyataan yang diperoleh pada hasil transformasi memperluas aneka ragam guna, sifat fisik & mekanik dalam baja.

Laju pendinginan memegang peranan penting di dalam transformasi austenit ke pearlite atau martensite dan lain sebagainya.

Pengerjaan panas adalah efektif hanya pada paduan tertentu (yaitu Fe-C, aluminium perunggu dan lain-lain) karena ini tergantung dari pada satu elemen yang larut dengan yang lain, di dalam keadaan padat dengan -

jumlah yang berbeda pada kondisi yang berbeda

Teori pengerjaan panas dilandaskan pada prinsip pengalaman perubahan paduan di dalam struktur pada saat dipanaskan diatas temperatur tertentu dan itu terulang lagi perubahan struktur ketika didinginkan pada temperatur kamar. Laju pendinginan adalah faktor penting dalam pengembangan struktur yang berbeda (lunak atau keras).

Pendinginan lambat dari atas temperatur kritis dalam baja akan menghasilkan struktur pearlitic (lunak) sedangkan pendinginan cepat (tergantung komposisi baja) akan memberikan kenaikan struktur martensit (keras).

1.5. Langkah-Langkah Proses Pengerjaan Panas

1. Panaskan logam/paduan ke temperatur tertentu.
2. (tahan (rendam) pada temperatur itu selama periode yang tepat untuk memperoleh perubahan-perubahan (yaitu suhu austenit) yang diperlukan.
3. Dinginkan pada laju yang diperlukan untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki sesuai dengan perhubungan perubahan sifat, bentuk, ukuran dan distribusi bagian-bagian mikro (seperti ferrite, pearlite, martensite dan lain-lain).

BAB II A N N E A L I N G

2.1. Definisi Annealing

Annealing adalah proses memanaskan struktur logam ke temperatur yang bisa melenyapkan ketidak stabilan atau penyimpangan, lalu dinginkan dengan laju lambat sehingga struktur temperatur kamar stabil dan atau bebas tegangan (strain free).

Tujuan

1. Menyebabkan struktur stabil sekali (full annealing)
2. Memurnikan dan menghomoginkan struktur
3. Mengurangi kekerasan
4. Menyempurnakan mampu mesin
5. Memperbaiki pengerjaan dingin, karakteristik (proses annealing) untuk kemudahan pengerjaan dingin lanjutan
6. Memperoleh struktur yang dikehendaki
7. Menghilangkan tegangan sisa
8. Menyempurnakan sifat-sifat mekanik, fisik, listrik dan magnet

Konsep

Apabila panas diperlukan pada paduan fero, istilah annealing umumnya menyatakan full annealing.

Apabila panas diperlakukan pada paduan non fero istilah annealing menyatakan pengerjaan panas yang direncanakan untuk melunakkan paduan yang dikeraskan lama (an age hardened) yang disebabkan oleh kecendrungan pengendapan (precipitation) dari fase kedua dalam bentuk relatif kasar.

2.2. Annealing Tegangan Sisa

Annealing tegangan sisa pada pokoknya melepaskan atau menghilangkan tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh coran, quenching, permesinan, pengerjaan dingin, las dan sebagainya.

Annealing tegangan sisa diperlukan sama terhadap logam fero dan non ferro.

Tegangan sisa jarang diinginkan, jika coran terkena perubahan dimensi karena tingkat gangguan pada permesinan atau karena pengaruh hasil guna lain. Tegangan-tegangan jika tidak dilepaskan se demikian rupa nanti menyebabkan penyimpangan (ke lengkungan) atau bahkan kegagalan coran.

Panas (thermal) tegangan sisa memerlukan pemanasan coran sampai ketemperatur pada tegangan elastis (sisa) yang betul-betul longgar sehingga menghasilkan deformasi plastis dari tegangan elastis itu.

Pada dasarnya tegangan sisa tidak lagi berpengaruh terhadap struktur coran metalurgi & rangkai (creep), temperatur yang diperlukan untuk tegangan sisa dari coran bervariasi dari 0,3 MP - 0,4 MP dimana MP adalah titik cair logam atau paduan cor.

Tegangan sisa juga dikenal dengan sebutan "Recovery".

2.3. Proses Annealing

Proses annealing biasanya dikerjakan dibawah temperatur kritis bawah, dan dilaksanakan untuk menghilangkan pengaruh pengerjaan dingin, untuk melu-

nakkan serta untuk mendapatkan pengerjaan dingin lebih lanjut sebagai mana yang ada pada industri plat

Paduan fero dipanaskan pada temperatur tertentu, tetapi dibawah batas transformasi bawah (550 - 650°C). Ditahan pada temperatur itu lalu biasanya didinginkan diudara agar lunak yang selanjutnya untuk pengerjaan dingin lanjutan sebagaimana dalam penarikan kawat.

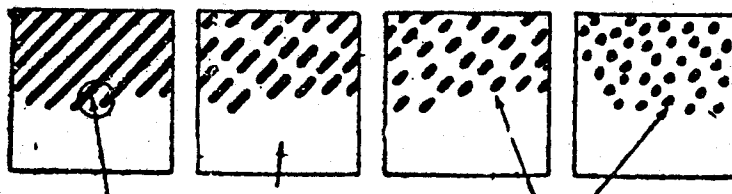
Proses annealing berkaitan erat dengan rekristalisasi dari ferite yang disimpangkan (the distorted ferrite) dan ketika itu baja lunak (mild steel) berisi sedikit volume kekuatan pearlite (strained pearlite) serta tingkat pelunakkan tinggi dapat dijangkau.

Proses annealing tidak menyangkut perubahan fase dan konstitusi ferite dan sementit tetap ada dalam struktur seluruh proses.

Proses annealing biasanya dikerjakan pada tungku tipe batch atau kontinyu, yaitu dengan membakar gas batu bara pada tekanan atmosfer.

2.4. Spheroidise Annealing

Spheroidise annealing atau spheroidizing menyangkut pembicaraan baja yang dipanaskan ke peredaran temperatur tertentu, biasanya dalam batas atau mendekati daerah transformasi agar menghasilkan struktur bulat-bulat (aspheroidal) atau bentuk karbida globular dalam baja (lihat gambar).



Pearlite

Ferrite

Sementit dari
Pearlit

Gambar 1. Spheroidizing

MILIK UPT. PERPUSTAKAAN
- IKIP - PADANG -

Spheroidizing bertujuan

1. Menyempurnakan mamp^o mesin
2. Memudahkan langkah operasi pengerjaan dingin
3. Memperoleh struktur tertentu untuk langkah pengerjaan panas.
4. Melunakan baja perkakas dan beberapa baja paduan.
5. Menyempurnakan surface finish dalam permesinan sehingga baja relatif dapat dikerjakan dengan mesin secara baik.
6. Mencegah keretakan baja selama operasi pembentukan dingin.

Spheroidizing secara luas dilakukan pada baja karbon tinggi (alat perkakas) untuk merubah sementit perlit lamelar ke dalam tipe struktur bulat-bulat (spheroidal).

Kondisi yang bulat-bulat itu dihasilkan dengan salah satu cara sebagai berikut :

1. Panaskan baja lalu tahan selama mungkin pada temperatur dibawah garis kritis bawah (antara $650 - 700^{\circ}\text{C}$)

Sedangkan waktu itu tidak ada perubahan fase dasar itu terdajadi, tegangan permukaan menyebabkan sementit bagian perut menjadi bentuk globular (lihat gambar 1), cara ini sama seperti pada tetesan-tetesan air raksa pada permukaan yang rata.

Jika beberapa perlakuan quenching diberikan lebih dulu pada baja menjadi spheroidizing, baja yang sudah di spheroidal lebih cepat akan menghasilkan banyak sekali globular sementit yang lebih kecil-kecil.

Globular sementit kecil ini cenderung menyempurnakan surface finish pada permesinan, dan juga larut lebih cepat apabila perkakas baja karbon dipanaskan sampai suhu maksimum selama pengerasan.

2. Panaskan dan dinginkan baja antara temperatur yang tepat di atas & tepat dibawah garis kritis bawah.
3. Panaskan sampai temperatur diatas garis kritis bawah (yaitu antara $30 - 77^{\circ}\text{C}$) dengan direndam pada temperatur ini diikuti pendinginan lambat dengan (laju pendinginan tiap jam dari $25 - 30^{\circ}\text{C}$) sampai ke 600°C .

2.5. Annealing Penuh

Annealing penuh menyatakan annealing paduan fero dengan cara austenitizing (memanaskan sampai kondisi austenit) lalu dinginkan lambat (dalam tungkunya sendiri) melewati daerah transformasi.

Temperatur austenitizing untuk baja hypoeutectoid biasanya antara 723°C (1333°F) dan 910°C (1670°F), dan

untuk baja hypereutectoid temperatur austenitizing antara 723°C (1333°F) dan 1130°C (2066°F) (lihat gambar 2).

Langkah-langkah annealing penuh ini sebagai berikut :

Panaskan baja pada temperatur annealing tertentu didalam zone austenitic.

Tahan (rendam) baja pada temperatur itu selama periode waktu tertentu tergantung ketebalan yang digunakan (kira-kira 2,5 - 3 menit tiap ketebalan/ mm) sehingga menjadi austenit sempurna.

Dinginkan perlahan-lahan baja itu melalui batas transformasi di dalam tungku atau dalam tempat yang panasnya bisa terisolasi, sehingga benda ini mencapai temperatur rendah.

Karena menyangkut pendinginan sangat lambat, annealing bisa dilihat pada diagram keseimbangan Fe-C.

Pendinginan lambat berhubungan erat dengan annealing penuh yang bisa merubah austenit terurai pada tingkat super pendinginan rendah agar membentuk :

Struktur pearlit + ferit dalam baja hypoeutectoid.

Struktur pearlit + sementit dalam baja hypereutectoid (lihat gambar 2 diagram Fe-C).

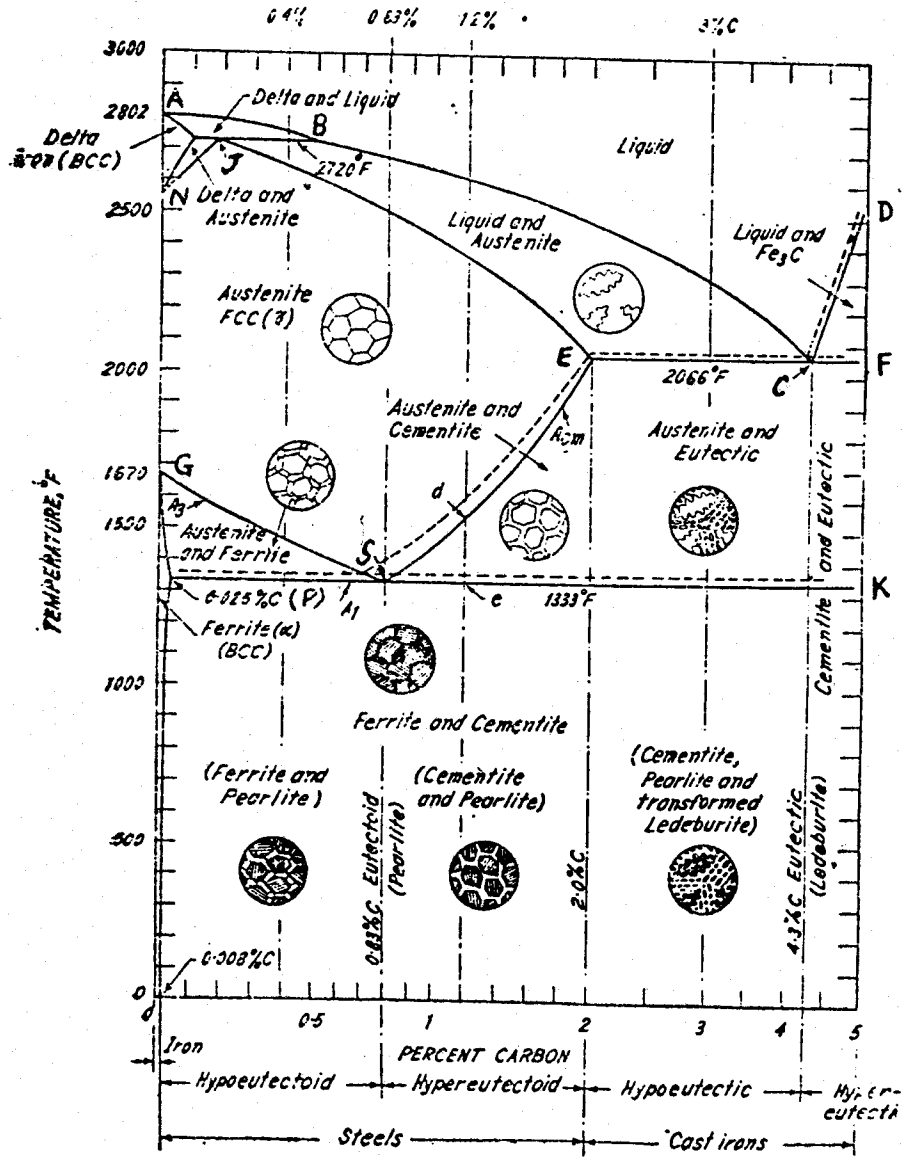
Annealing penuh bertujuan :

1. Menghaluskan butir
2. Menghilangkan tegangan (dari tempadan coran)
3. Menjadi lunak
4. Memperbaiki mampu mesin

5. Memperbaiki mampu bentuk
6. Memperbaiki sifat listrik dan magnet

Tabel 1. Temperatur Anealing

<u>% C dalam baja</u>	<u>:</u>	<u>Temperatur Annealing (°C)</u>
0,10 - 0,50	:	950 - 815,
0,50 - 0,80	:	815 - 760
0,80 - 1,50	:	760 - 780



Gambar 2. Diagram Keseimbangan Besi Karbon

BAB III N O R M A L I S I N G

3.1. Definisi

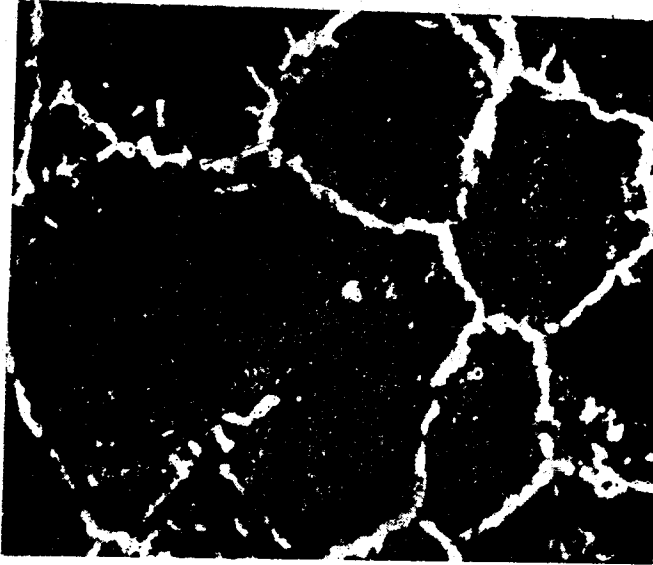
Normalising atau pendinginan di udara adalah memanaskan baja pada kira-kira $40 - 50^{\circ}\text{C}$ diatas temperatur kritis atas (yaitu garis A_3 dan A_{cm}) jika sudah dididam pada temperatur itu selama waktu yang singkat dan lalu masih didinginkan dalam udara pada temperatur kamar (Gambar 2).

Normalising berbeda dengan annealing yang laju pendinginan lebih cepat dan tidak ada periode penyiangan yang terjadi.

Tipe struktur yang diperoleh dari normalising akan tergantung besarnya tebal penampang yang akan mempengaruhi laju pendinginan, penampang tipis akan memberikan banyak butir yang lebih halus dari pada penampang tebal.

Normalising menghasilkan mikrostruktur terdiri dari ferit (layar putih) dan perlit (daerah gelap) untuk baja Hypoeutectoid (yaitu sampai $\pm 0,8\%$) lihat gambar 3.

Untuk baja eutectoid, mikrostrukturnya hanya pearlite dan pearlite & sementit untuk baja hypereutectoid.



Gambar 3. Gambar Struktur Mikro

Dari Normalizing Baja
0,5% C Dipanaskan sampai
982°C Dan Didinginkan di
Udara

MILIK UPT BENDUOT KANAN
IKIP - PADANG

3.2. Tujuan Normalising

Normalising bertujuan :

1. Menghasilkan struktur yang homogen
2. Menghaluskan ukuran butir baja yang sudah mengalami pemukulan/penggeseran beban dinamis pada tempa atau temperatur pengerolan.
3. Mencapai kekuatan dan ketelitian yang tertentu agar dalam proses mampu mesin sangat lunak dan liat.
4. Pengurangi tegangan dalam
5. Menyempurnakan struktur las
6. Menghasilkan baja lebih keras dan kuat dari pada baja dengan annealing penuh.
7. Mengeliminir jaringan karbida pada batas butir dari baja hypereutectoid.
8. Menyempurnakan sifat-sifat teknik baja.

BAB IV PENGKERASAN DENGAN QUENCHING

4.1. Definisi

Pengerasan adalah pengerjaan panas baja dengan maksud untuk menaikkan kekerasannya dengan perentaraan quenching dan tempering.

Bagian-bagian mesin dan perkakas yang diinginkan sering dikeraskan karena akan mengalami servis beban berat

Pengerasan baja memerlukan formasi martensit.

Quenching pengerasan dan tempering terbatas pada pelaksanaan apa yang disebut baja mampu laku panas (yaitu baja yang mengandung C lebih dari 0,3 % serta barang kali mengandung tambahan paduan lain), besi grafit nodular dan besi cor paduan

Sebenarnya dalam baja, proses maksimum kenaikan kekerasan dengan quenching diperoleh jika itu mengandung antara 0,35 - 0,6 % C.

Pengerasan yang diikuti dengan tempering

1. Baja yang keras tahan aus
2. Baja mampu memotong logam lain
3. Menyempurnakan kekuatan, keuletan & keliatan.
4. Mengembangkan perkawinan yang paling bagus antara kekuatan, takikan dan kekuatan.

4.2. Cara Pengerasan

Baja yang mempunyai kandungan karbon cukup (0,35 - 0,70) dipanaskan pada suhu 30 - 50°C di atas garis A_3 (gambar 2), ditahan pada temperatur itu selama 15 - 30 menit tiap penampang 25 mm. Kemudian didinginkan sangat cepat atau di-quenching dalam media larutan (yaitu brine, air,

minyak dan lain-lain).

Untuk menghasilkan laju pendinginan yang ditentukan serta baja yang dikeraskan dengan tepat.

Tingkat kekerasan yang dihasilkan dalam baja tergantung pada :

1. Komposisi baja (yang lebih keras 0,35 - 0,5 % C)
2. Ciri dan sifat media quenching
3. Temperatur quenching
4. Ukuran keadaan yang di quenching
5. Kehomoginan austenit
6. Tingkat gerakan (agitation)
7. Laju pendinginan
8. Kondisi permukaan logam (benda kerja) kotor, terak dan sebagainya. Pada permukaan benda kerja mengurangi pengaruh kekerasan.

Elemen paduan (yaitu Ni, Cr, Mn, dan lain-lain) jika ditambahkan pada baja menaikkan kedalaman pendinginan, jadi benar benar membuat kelambatan laju transformasi, maka baja paduan dapat dikeraskan sedikit banyak dengan quenching dratis dari pada yang diperlukan pada baja karbon biasa.

4.3. Struktur Baja Yang Dikeraskan

Tergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhi kekerasan (seperti yang di uraikan di atas).

1. Laju pendinginan sangat cepat menguatkan karbon tinggal dalam larutan dan austenit berubah menjadi martensit.
2. Perbandingan laju pendinginan yang lebih lambat menghasilkan pearlit halus dan pada laju pendinginan yang lebih lambat yang akan memberikan kenaikan terbentuknya pearlit kasar.

Tabel 2. Kondisi Pengerasan Baja

Media Quenching	Laju Pendinginan	Struktur yg dihasilkan	Kekerasan yang diperoleh Rc	Kekuatan tarik Ultimate σ_{tm}
1. Air	Sangat cepat	Martensit	65	1725
2. Minyak	Cepat	Pearlit sangat halus	35	1100
3. Udara	Sedang	Pearlit halus	25	865
4. Pendinginan Tungku batuan	Sangat lambat	Pearlit kasar	15	520

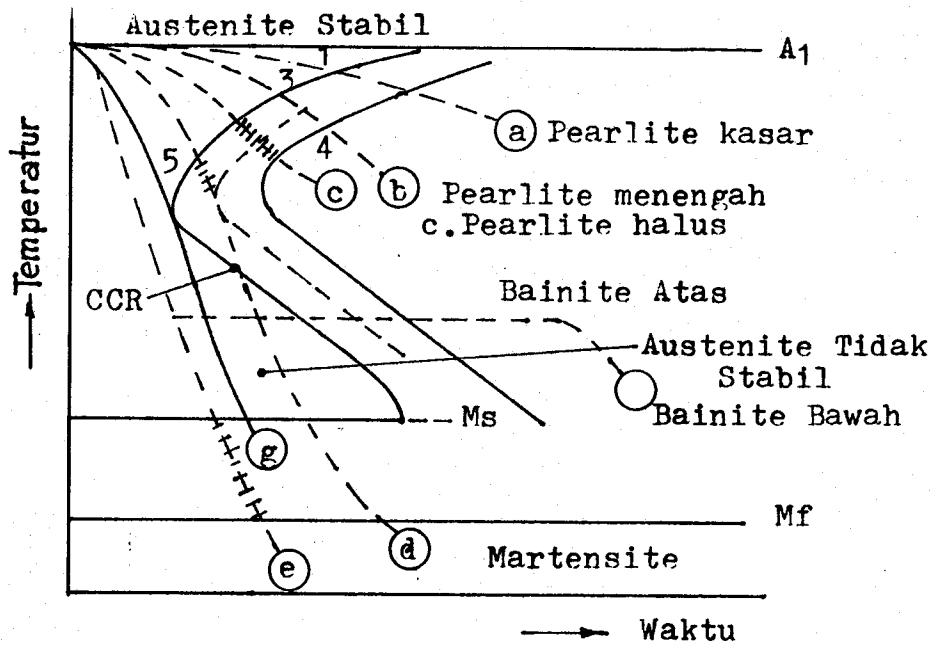
Pearlite lebih keras dari pada austenit (atau ferrite) dan martensit lebih keras dari pada pearlite. Perhitungan-perhitungan peningkatan kekerasan diperoleh dari baja yang diquenching.

4.4. Media Quenching

Media quenching adalah media tempat memasukkan logam panas secara tiba-tiba sehingga panas bisa terambil secara cepat dari bendanya.

Media quenching (untuk pengerasan harus memberikan laju pendinginan diatas harga kritis (seperti pada kurve g & c dalam gambar 4) untuk mencegah penguraian austenit didalam perlit dan lain-lain.

Dalam selang temperatur transformasi matensit, pendinginan harus lebih lambat, untuk mencegah tagangan dalam yang tinggi serta penyimpangan dan keretakan pada bagian yang dikeraskan.



Gambar 4. Kurva Pendinginan

MILIK UPT. PERPUSTAKAAN
- IKIP - PADANG -

4.4.1. Jenis-Jenis Media Quenching

Yang diberikan di bawah ini adalah beberapa media quenching industri untuk bermacam-macam quenching.

1. 5 - 10 % soda kostik sangat cepat
2. 5 - 20 % Brine (NaCl)
3. Air dingin
4. Air hangat
5. Minyak mineral (diperoleh selama pemurnian minyak mentah atau crude petroleum)
6. Minyak binatang (yang dihasilkan dari pendidihan minyak ikan atau bluberofseal dan lemak atau dibuat dari kulit binatang lain yang di

PERPUSTAKAAN IKIP PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DIPINJAMKAN
BERSIH DIPAKAI DALAM PERPUSTAKAAN

- peroleh dari minyak babi atau kaki sapi)
7. Minyak sayur (seperti benih rami, benih kapas dan minyak lobak).
 8. Udara adalah Quenching dratis yang paling sedikit.

Air dipilih jika untuk pengerasan baja karbon biasa dan minyak untuk quenching baja paduan.

MILIK UPT PERPUSTAKAAN
- IKIP - PADANG -

Tabel 3 : Laju Pendinginan Untuk Beberapa Media Quenching

Media Quenching	Laju Pendinginan pada air 18°C	
	720 - 550°C	200°C
1. 10 % soda kostik (NaOH)	2,06	1,36
2. Air pada 0°C	1,06	1,02
3. Air pada 18°C	0,30	0,055
4. Minyak (benih lobak):	1,00	1,00
5. Air Pada 100°C	0,044	0,71
6. Udara	0,028	0,007

Tabel 4 : Beberapa Cara Quenching Ke Air
Pada Beberapa Kondisi Quench

Cara Pendinginan	: Minyak	: Air	: NaCl
1. Tidak ada gerakan komponen atau tidak ada sirkulasi cairan :	0,25-0,30	0,9-1,0	2
2. Sirkulasi atau gerakannya lunak	0,30-0,35	1,0-1,1	2-2,2
3. Sirkulasi baik	0,40-0,50	1,4-1,5	
4. Sirkulasi diam	0,80-1,10	4	5

4.5. Karakteristik Quenching

Karakteristik quenching (cairan) kolant dikontrol dengan faktor-faktor sebagai berikut :

1. Temperatur media quenching
2. Panas penguapan (yaitu jumlah panas yang diperlukan untuk menguapkan tiap unit berat)
3. Panas jenis (yaitu jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 (satu) derajat per-satuan berat).
4. Konduktivitas panas media quenching
5. Kekentalan (viscosity) yaitu koefisien tahanan untuk mengalir, gerakan timbal balik cairan.
6. Gerakan (laju gerakan benda kerja atau agitation. Aliran kolant).

Laju Alih Panas dari benda logam panas ke dalam cairan quenching tergantung bendanya sendiri, yaitu benda yang :

1. Ukuran & bentuk : Bagian yang akan didinginkan cepat dan berubahnya ke martensit secara sempurna.
2. Temperatur
3. Konduktivitas panas
4. Panas jenis
5. Kondisi permukaan

4.6. Langkah Quenching

Langkah 1 : Selimut uap pendingin, pada langkah ini temperatur logam yang sangat tinggi pada media quenching diuapkan pada permukaan logam dan film uap tipis mengelilingi disekitar logam panas. Benda didinginkan dengan cara konduksi dan radiasi melalui film gas dan saat itu film uap pada konduktor sedikit panasnya laju pendinginan relatif lambat pada langkah ini.

Langkah 2 : Pendinginan perpindahan uap (vapour - transport Cooling), pada langkah ini logam mulai mendingin sampai temperatur pada film uap ini tidak lagi stabil.

Selimut uap sebentar-sebentar pecah, cairan yang tercampur menyinggung logam panas yang pada saat itu didorong oleh gelembung uap, gelembung-gelembung itu lari ke permukaan dan cairan menyinggung logam panas lagi.

Pada waktu itu permukaan logam panas terendam oleh cairan quenching, peristiwa didihan yang keras yang membangkitkan gelembung-gelembung kepermukaan

logam mulai dingin. Peristiwa pendinginan yang sangat cepat itu segera mempengaruhi temperatur permukaan logam di bawah titik didih cairan.

Langkah 3 : Langkah pendinginan cairan, langkah ke tiga ini, mulailah logam betul-betul mencapai titik didih cairan quenching.

Pendinginan ini terjadi dengan cara konveksidan konduksi yang sederhana.

Laju pendinginan berkurang jika temperatur mulai menurun.

BAB V

PENYEPUHAN (TEMPERING)

5.1. Definisi

Pengerasan quenching menghasilkan struktur martensit dengan austenit yang tertahan

Martensit yang dibentuk oleh quench baja yang dikeraskan adalah sangat rapuh, keras & sangat kuat, retak & penyimpangan pada benda yang dikeraskan besar kemungkinan terjadi setelah quenching karena alasannya, daya guna baja dalam kondisi ini tidak bisa di jamin kecuali pada bagian kulit yang sangat keras bisa dicapai.

Quench baja yang di keraskan di samping mengandung martensit juga ada beberapa austenit tersimpan (tertahan). Austenit tersimpan ini adalah juga fase tidak stabil dan karena itu berubah karena hantaman (die) sebesar 0,0125 mm.

Oleh karena itu perlu pemulihan keseimbangan setelah pengerasan quench dengan memanaskan baja yang di keraskan ke temperatur dibawah temperatur kritis bawah (A_1) ; inilah yang disebut tempering.

5.2. Langkah-Langkah Tempering

1. Panaskan baja yang telah dikeraskan di bawah temperatur kritis bawah.
2. Rendam pada temperatur itu selama 3 - 5 menit setiap ketebalan atau diameter 1 mm.
3. Dinginkan baja(dalam air, minyak atau udara) baik secara cepat atau lambat terkecuali mengenai baja

yang terkena temper brittleness.

Catatan : Temper brittleness umumnya digunakan untuk menguraikan pukul takik (Notch impact). Butir-butir kerapuhan (intergranular brittleness) pada beberapa macam baja yang disebabkan karena pendinginan lambat setelah tempering di atas kira-kira 600°C dan juga karena bahan yang ulet direndam lama antara 400° & 550°C . Kerapuhan sepuh disebabkan karena penguraian atom-atom yang larut diantara batas butir pada pendinginan lambat dari 600°C .

Pada dasarnya, reaksi sepuhan dapat digambarkan karena perubahan dari atom-atom karbon yang dibarkan (diuraikan) martensit terhadap kenaikan ukuran partikel karbida yang di endapkan.

Tujuan tempering ialah :

1. Menghilangkan tegangan sisa
2. Memperbaiki keliatan
3. Memperbaiki keuletan
4. Mengurangi kekerasan
5. Menaikan prosentase perpanjangan

Cara Menyepuh

Mula-mula yang dipikirkan pada mekanisme sepuhan perlu membagi-bagi proses sepuh kedalam tiga cara.

Waktu martensit masih baru dipanaskan dibawah temperatur kritis, sepuhan menjadi lebih lunak dan lebih ulet serta tegangan dalam dilepaskan.

Tiga cara di atas adalah :

1. Perubahan-mula-mula pada martensit yang di sepuh disekitar $150 - 177^{\circ}\text{C}$ mempunyai peru-

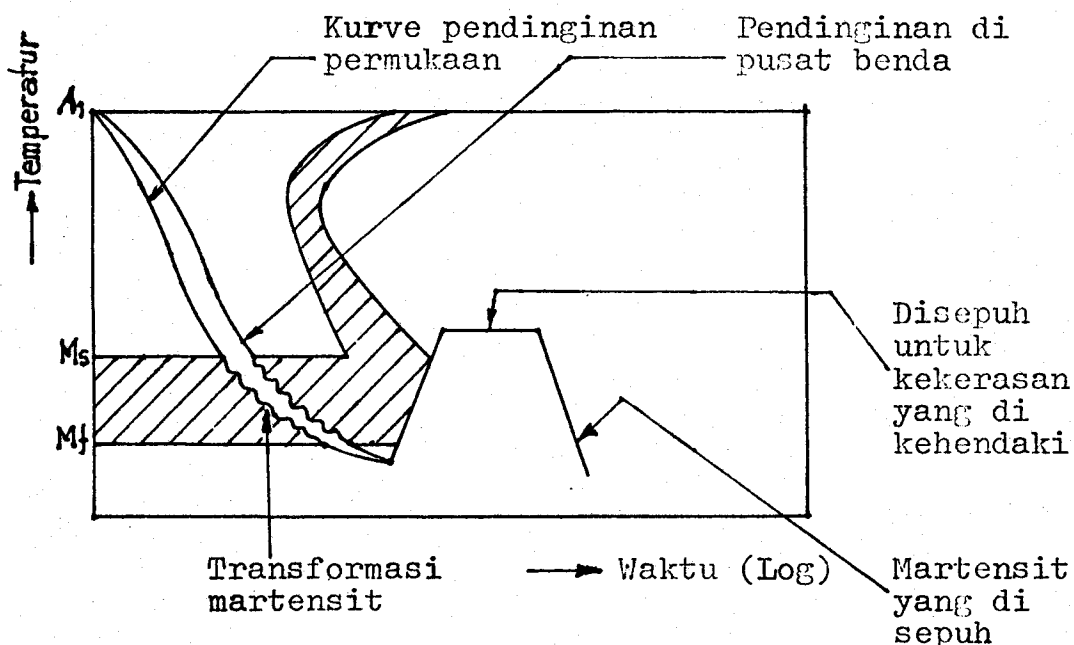
bahan sifat-sifat yang sangat sedikit.

2. Cara kedua, kira-kira $177 - 370^{\circ}\text{C}$ tergantung baja nya, digolongkan dengan transformasi austenit tersimpan ke bainit.

Karbon pada martensit nampaknya menjadi bersenyawa yang tersebar halus ke partikel sementit.

3. Cara ketiga dari kira-kira $288 - 705^{\circ}\text{C}$ sementit menyala & bersatu. Struktur menjadi ferit & sementit terkumpul dengan bentuk lingkaran yang sangat bulat yang diambil dari martensit yang disepuh & bainit yang disepuh.

Struktur lebih kurang menjadi bulat-bulat teratur karena perpanjangan pemanasan di atas akhir range.



Gambar 5 : Pengerasan Quench Dan Siklus Sepuh

Gambar 5 menunjukkan jenis siklus pengerasan dan sepuhan pada diagram CCT (Continuous Cooling Transformation).

Tempering bisa digolongkan ke dalam beberapa tipe sebagai berikut :

1. Sepuhan temperatur rendah

Perlakuan ini dikerjakan pada temperatur 150-250°C.

Tegangan dalam di hilangkan

Keuletan & keliatan menjadi naik tanpa suatu kehilangan kekerasan yang berarti.

Struktur masih berisi martensit

Sepuhan temperatur rendah, dipakai untuk perkakas potong baja karbon & baja paduan rendah serta untuk komponen-komponen yang permukaannya di keraskan dan di karborisasikan.

2. Sepuhan temperatur sedang

Sepuhan temperatur sedang dilaksanakan dalam temperatur dari 350 - 450°C.

Perlakuan ini membangkitkan struktur troostite.

Dengan perlakuan ini, kekerasandan kekuatan baja menurun, sedangkan % perpanjangan dan keliatan meningkat.

Sepuhan temperatur sedang memberikan baja mempunyai batas elastis yang lebih tinggi karena keuletan yang mantap (cukup).

Sepuhan temperatur sedang dilaksanakan pada barang-barang seperti pegas lilitan, pegas-pegas berlapis, hamer, pahat dan lain-lain.

3. Sepuhan temperatur tinggi

Sepuhan temperatur tinggi di laksanakan dalam

temperatur dari 500 - 650°C.

Sepuhan temperatur tinggi bertujuan :

1. Menghilangkan tegangan dalam
2. Mengembangkan struktur sorbite
3. Memberikan ketahanan yang tinggi sesuai dengan kekerasan yang tetap.
4. Sepsuhan tempering tinggi digunakan pada komponen seperti :
 - Batang torak
 - Poros
 - Roda gigi dan lain-lain.

5.3. Tungku Sepuhan Dan Kontrol Temperatur

Tungku-tungku yang digunakan untuk sepuhan biasanya dari tipe batch, tungku ini memakai baik sirkulasi atmosfer ataupun tipe bakcairan (minyak/garam). Tungku bak cairan menentukan temperatur yang mantap keseluruh tungku, bak minyak dilaksanakan untuk temperatur rendah sedangkan temperatur tinggi (pada kira-kira 500°C) menuntut memakai bak garam yang berisi beberapa campuran dari Na NO₂ (sodium nitrite) & K NO₂ (potasium nitrite), untuk temperatur yang masih tinggi dipakai campuran klorida ataupun dengan bak timah hitam.

Dalam tungku jenis sirkulasi udara dengan temperatur yang teratur sampai 650°C, dapat diperoleh dengan menggunakan kipas untuk mensirkulasikan atmosfer, pertama pada pemanas listrik lalu langsung menahan (merendam) muatan keranjang kawat.

Temperatur dalam tungku bisa diukur dengan pertolongan :

1. Pyrometer

2. Cat (paints) dan pensil lilin (Crayons) penunjuk temperatur.
3. Warna temperatur seperti diuraikan di bawah ini.

Apabila baja dipanaskan, oksid film pada permukaan pertama dianggap warna kuning pucat & lama kelamaan menebal karena kenaikan temperatur, sampai kebiru-biruan hitam, ini pengaturan yang baik untuk sepuhan perkakas baja karbon biasa jika pada tungku kontrol pirometer tidak ada.

Tabel 5 menunjukkan temperatur tempering pada berbagai perkakas.

Tabel 5 : Temperatur Tempering

Temperatur °C	W a r n a	: Jenis Komponen
220	: Kuning pucat	: Gergaji, kraspen
230	: Kekuning-kuningan perang straw	: Skrap & perkakas sloti
240	: Kekuning-kuning perang gelap (Darkstran)	: Pisau, bor, pemotong kertas.
250	: Cocolat (light brown)	: Metal shears, pons, dies
270	: Ungu	: Poros, gimlets, augers
280	: Ungu tajam	: Pahat dingin, pahat kayu
290	: Bright blue	: Skrup drivers
300	: Biru kehitam hitaman	: Pegas, gergaji kayu

5.4. Quenching Dikejutkan (Interrupted Quenching)

Pendinginan cepat kontinyu sampai temperatur kamar, biasanya dilakukan untuk mengurangi formasi martensit yang mempunyai kerugian dari :

1. Mengatur kedudukan tegangan dari quenching (tegangan yang dihasilkan dari kontraksi selama pendinginan dan pemuaian yang disebabkan oleh martensit).
2. Keretakan dan penyimpangan benda
3. Pemunculan formasi retak dalam baja

Bila pendinginan cepat, dilaksanakan pada pendinginan udara lambat, tegangan quenching tertentu akan menjadi minimum tetapi baja itu segera akan memperoleh mampu keras tetap untuk membentuk martensit pada pendinginan udara dan baja seperti itu yakni baja pengerasan udara yang memakan harga mahal.

Dengan kata lain untuk mendapatkan kekerasan tertentu pada suatu barang, baiknya harus dipilih ongkos baja sekecil mungkin, pendinginan cepat mengambil resiko dari perubahan beberapa tegangan quenching atau itu mempengaruhi kemahalan baja pengerasan udara.

Dan menurunkan tegangan-tegangan yang disebabkan pendinginan baja diudara.

Quenching kejut ada dua macam cara, pertama diquenching dalam media yang dingin secara cepat melintasi puncak kurva pada diagram CCT (Gambar 6).

Setelah itu, benda diquenching lanjutan dalam media yang kedua, dengan pendinginan yang cukup cepat (tetapi agak lambat) dari pada dalam media pertama, untuk menghindari transformasi bainite.

- Biasanya dalam pemakaian umum tipe quenching kejut disebut martempering.

5.4.1. Martempering

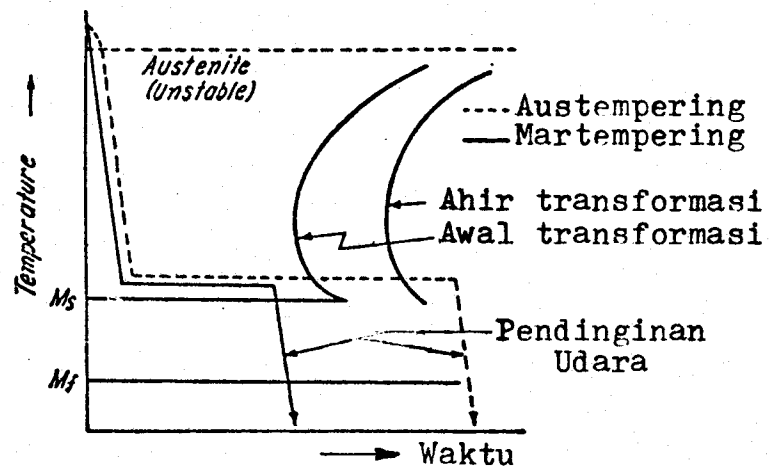
Dalam martempering baja :

1. Dipanaskan diatas batas kritis sampai temperatur austenit dengan ditahan cukup lama.
2. Diquenching di dalam bak garam di atas garis M_s merata pada seluruh benda kerja (yaitu dari permukaan sampai inti) tanpa transformasi austenit.
3. Mendinginkan benda kerja dalam udara melalui batas martensit (gambar 6),

Hasil itu adalah formasi martensit dengan seminim mungkin tegangan, distorsi dan **cracking**.

Jadi baja yang diperoleh bisa disepuh lanjut agar naik keliatannya.

Benda-benda yang besar tidak dapat diperlakukan panas dengan matempering karena waktu yang dikehendaki untuk mendapat temperatur merata (dari permukaan benda kerja dan intinya) melebihi permulaan transformasi austenit ke bainite.



Gambar 6. Martempering Dan Austempering

5.4.2. Austempering

Austempering bukan perlakuan pengerasan.

Austempering jenis lain dari quenching kejut yang membentuk bainite (dan bukan martensit).

Jadi, dalam struktur dan sifat, sesungguhnya bainite dibentuk hampir mirip martensit sepuhan.

Jadi umumnya baja yang dilakukan panas dengan austempering lebih ulet dan lebih liat dari pada baja martensit sepuhan yang mempunyai kekerasan dan kekuatan tarik sama.

Akan tetapi, austempering terbatas pada benda tipis. Sehingga seluruh benda kerja dapat menjangkau **udara** cepat temperatur bak quenching.

Untuk baja-baja yang mampu keras yang lebih tinggi pada benda-benda yang lebih besar dapat juga digunakan.

Kelemahannya lagi bahwa waktu yang dicapai relatif lama untuk transformasi isothermal dari austenit ke bainite.

Gambar 6 menampakan proses austempering. Austempering terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

1. Memanaskan baja diatas batas kritis sehingga semuanya membuat austenit.
2. Diquenching pada laju pendinginan kritis kedalam bak garam sehingga berlangsung sampai batas bainite (biasanya antara 205 - 425°C).
3. Benda kerja baja **tetap dalam** bak sampai austenit berubah menjadi bainite secara merata.
4. Boleh didinginkan sampai temperatur kamar dengan tidak **memerlukan laju** tertentu.

Tempering jarang diperlukan setelah austempering

5.4.2.1.Keuntungan Austempering

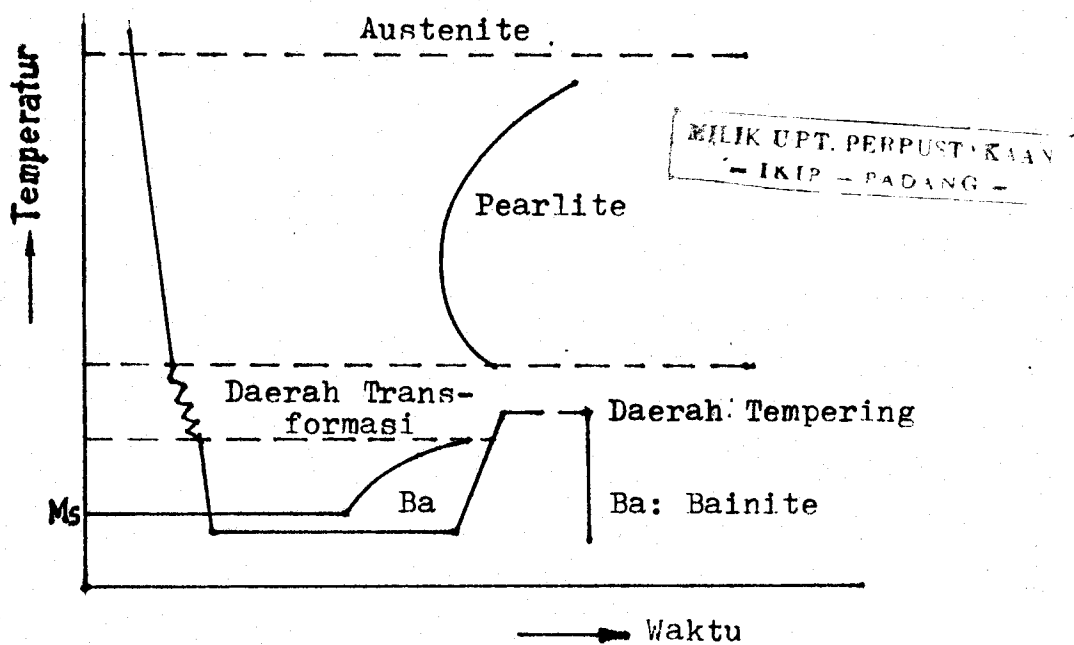
1. Kekerasan , keliatan dan keuletan (kekuatan pukul) lebih besar dari pada dengan tempering.
2. Distorsi kurang
3. Kelemahan crack quenching kurang karena quenchingnya tidak terlalu dratis.

5.5. Ausforming

Ausforming bisa didefinisikan sebagai pembentukan baja tak stabil ketika dalam fase austenit.

Saat beberapa elemen paduan ada kelambatan awal fase memungkinkan adanya perpaduan transformasi secara menguntungkan, antara perlakuan panas dan kekuatan pengerasan.

Prinsip ini berguna dalam ausforming: baja paduan (yakni 3 % Cr tetap melajukan transformasi perlit) yang mengandung kira-kira 0,45 % C dipanaskan sampai membentuk austenit dan lalu diquenching ke bay (tempat bak yang tidak curam) antara perlit dan bainite puncak kurva transformasi (lihat gambar 7) yaitu kira-kira 500°C).



Gambar 7. Proses Ausforming

Ausforming menghasilkan keliatan, keuletan dan kekuatan pukul yang superior karena terbentuknya penyebaran pengerasan yang terjadi waktu karbida paduan mengendap karena perubahan austenit yang stabil (metastable).

Hasil-hasil ausforming meningkatkan kerapatan dislokasi (bergerak ketempat yang tepat) didalam martensit dan pengendapan karbon lebih halus pada tempering.

Kekuatan sampai 1800 N/mm^2 dapat diperoleh tanpa mengurangi arti ketelitian.

Bagian-bagian struktur untuk pesawat terbang dan automotive leaf springs mempunyai tegangan tinggi, khususnya karena aplikasi yang menarik dari ausforming.

5.6. Maraging

Maraging artinya martensitic plus aging

Baja marage dapat memperoleh kekuatan dan ketelitian tinggi karena jenis pengerasan martensit besi paduan nikel dasar dengan pengerasan age dari martensit. Dengan kata lain baja dapat menjangkau kekuatan ultra tinggi dengan ditahan lama pada kondisi martensit.

Baja-baja yang penting ialah 18 % Ni, 7 - 10 % Co, 3,5 - 5 % Mo, 0,1 - 0,8 % Ti, 0,05 - 0,15 % Al, 0,03 % C (max), 0,10 % Si (max), 0,10 % Mn (max), 0,01 % S (max) dan 0,01 % P (max)

Batas-batas pengendapan martensit dihasilkan oleh tempering selama 3 jam pada 480°C agar mendapatkan keteguhan tinggi dan sifat-sifat kekuatan tarik ultra tinggi.

Aplikasi Baja Marage ialah :

1. Roket dan peluru senapan (missile)
2. Bagian-bagian struktur pesawat terbang
3. Laras mortir dan senapan.
4. Letakan ekstrusi panas dan sebagainya.

Baja Marage disamping kuat, liat, ulet juga mempunyai :

1. Bebas dari distorsi
2. Mampu mesin yang bagus
3. Mampu las yang bagus pula.

BAB VI MAMPU KERAS PADA BAJA

6.1. Definisi Dan Pengantar

Adapun kekerasan adalah ukuran ketahanan terhadap deformasi plastis (dengan indentasi), mampu keras ialah tingkat kekerasan yang bisa dijangkau menurut arah kedalaman dari suatu benda.

Mampu keras bisa juga dianggap sebagai kemampuan baja menjadi keras sekali atau mengeras menurut arah kedalaman.

Dalam paduan fero, mampu keras ialah sifat yang menentukan kedalaman dan distribusi kekerasan yang dipengaruhi oleh quenching.

Perlu diingat bahwa mampu keras bukan indikasi kekerasan baja, tetapi mampu keras adalah indeks ke dalaman martensit yang dapat dibentuk dalam baja sebagai hasil quenching.

Harga mampu keras baja adalah diameter dalam inchi dari batang silindris yang akan membentuk 50% martensit pada titik central selama quenching ideal. (Quenching ideal ialah pendinginan yang sangat singkat pada permukaan batang yang panas sampai temperatur kamar).

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Mampu Keras.

1. Komposisi baja dan cara pembuatannya.
2. Media quenching dan cara quenching
3. Seksi dari baja
4. Komposisi rata-rata austenit sebelum quenching, termasuk sifat dan jumlah elemen paduan.

Semua elemen paduan kecuali Co, sederung me-

tingkatkan mampu keras dan tingkat pengerasan yang dihasilkan oleh perubahan elemen-elemen penguat (Mn & Mo) pada beberapa elemen-elemen yang lebih lemah (Vanadium).

Jika dibandingkan dengan baja karbon, baja-baja paduan mengeras pada kedalaman yang lebih besar karena kesetabilan yang tinggi pada austenit pendinginan super, serta laju pendinginan kritis bawah.

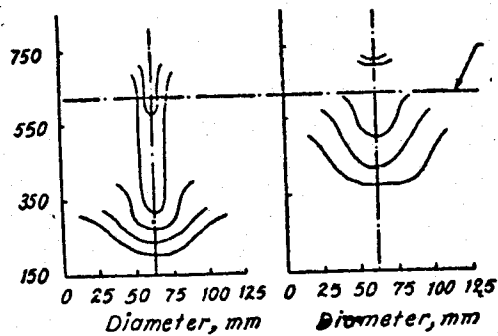
5. Ukuran butir austenit sebelum quenching. Ukuran utama butir austenit yang lebih besar terhadap quenching, tingkat mampu keras yang lebih besar.
6. Kehomoginan austenit sebelum quenching (tingkat merataanya penyebaran karbon dan karbida serta dari elemen-elemen yang memadu di dalam austenit). Tingkat kehomoginan yang lebih besar dari austenit sebelum quenching, mampu kerasnyaapun lebih besar.
7. Adanya karbida dan bahan lain bukan logam sebelum quenching.
Adanya karbida yang tak larut dan non logam cenderung mengurangi mampu keras,

6.2. Cara-Cara Menentukan Mampu Keras

Mampu keras baja bisa ditafsir dengan cara sebagai berikut :

1. Cara Grossmann

Distribusi kelengkungan kekerasan batang baja bulat grossmann yang berdiameter lain dipanaskan sampai temperatur austenit diquenching dalam minyak (atau air) dalam bagian potongannya. Ambil hasil bacaan kekerasan pada bagian itu dan dibuat diagram seperti yang tampak pada gambar 8 .



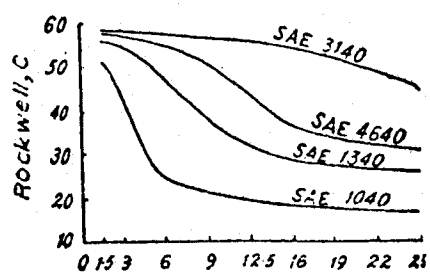
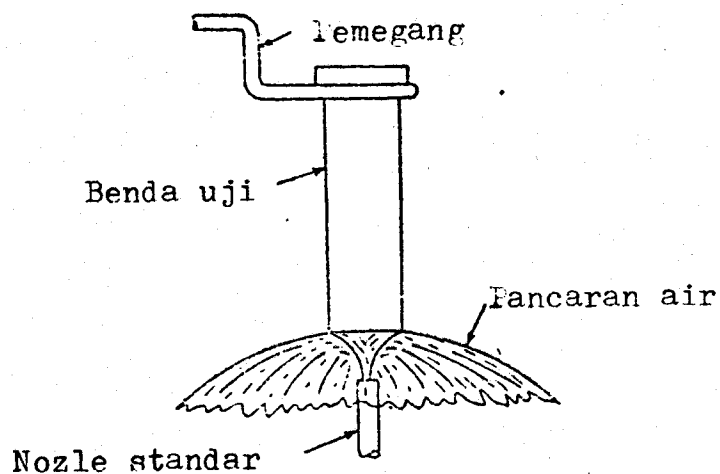
Gambar 8 : Cara Grossmann Lengkung Distribusi Kekerasan Untuk Baja Yang diquenching Dalam Air.

6.3. Test Jominy

Cara lain yang sering digunakan untuk menentukan mampu keras ialah End-quenching Hardenability atau test **jominy**

Test Jominy terutama ditujukan untuk mengetahui ukuran mampu keras dari baja.

Suatu batang baja diameter A 25 mm dengan panjang batang 100 mm bisa diaustenitkan tepat dan di - quenching pada ujung yang disetandarisir seperti pada gambar 9 .



Jarak dari ujung pendinginan (mm)

420 190 75 45 30 22 18 14 #

Laju pendinginan pada 1300°F (°F/sec)

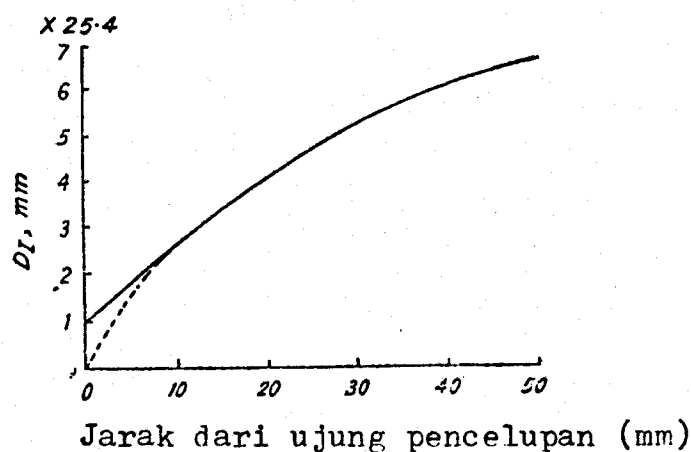
Gambar 9. Tes Jominy

Hasil gradient kekerasan batang tergantung hanya pada komposisi bahan.

Setelah test, batang percobaan didinginkan sampai temperatur kamar. Bacaan kekerasan rockwell diambil pada selang 1,5 mm menurut panjang batang dibagian dengan cara seperti Gambar 9 tampak kekerasan menurun cepat dengan jarak singkat dari ujungnya.

Test Jominy bukan memberikan gambar langsung yang menunjukkan mampu keras baja. Tetapi ini menunjukkan untuk menghitung diameter kritis ideal pada hasil-hasil ujung quenching.

Ini bisa diatur dengan menentukan jarak dari ujung yang didinginkan air pada batang uji yang pada strukturnya mengandung 50 % martensit dapat dijangkau. Diameter batang bulat menghasilkan struktur sama pada pusatnya apabila diquenching dengan beberapa kali, lalu dapat ditentukan dengan pertolongan gambar 10. Jadi harga yang diperoleh adalah diameter kritis ideal.

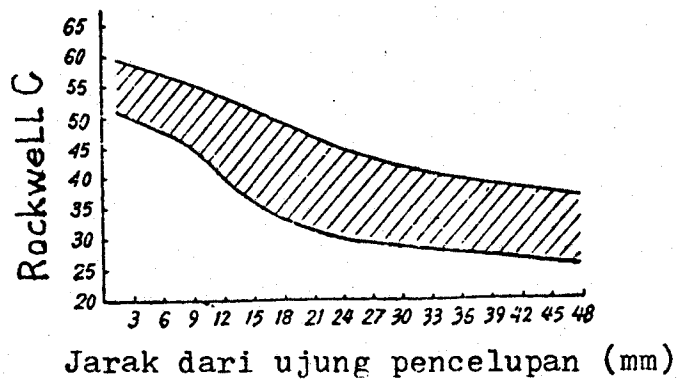


Gambar 10. Hubungan Antara Diameter Kritis Ideal (DI) Dan Juga Dari Ujung Yang Didinginkan Air Pada Batang Uji Pada Posisi 50 % Martensit.

Perbandingan langsung pada kelengkungan ujung yang didinginkan (gambar 11). Bila digunakan perbandingan mampu keras.

Dalam menentukan mampu keras baja dapat digunakan aplikasi khusus kekerasan minimum dan maximum yang bisa diberikan pada jarak tertentu dari ujung yang didinginkan seperti J 45/55 = 7 artinya yaitu bahwa kekerasannya menurut rockwell 45 dan max Rc 55.

Harus terjadi pada jarak beberapa baja paduan sudah diadaptasikan sebagai spesifikasi standart dengan SAE pada the title hardenability bands (gambar 11.).



Gambar 11 . Band Mampu Keras Untuk Baja Yang Mempunyai 0,32-0,38 % C ; 0,60-1,0 % Mn ; 0,20-0,35 % Si ; 0,75-1,20 % Cr, dan 0,15-0,25 % Mo.