

STUDI PERUBAHAN FASA PADAT BAJA FERITO-PERLITIK XC42 PADA SIKLUS TERMAL CEPAT

Suwardi

Pusat Eksplorasi Bahan Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

STUDI PERUBAHAN FASA PADAT BAJA FERITO-PERLITIK XC42 PADA SIKLUS TERMAL CEPAT. Karakterisasi perubahan fasa dilakukan dengan metode termodilatometri, metalografi optik dan kekerasan mikro Vickers. Pemanasan dikerjakan secara induksi frekuensi tinggi, lajunya divariasikan dari ≈ 75 sampai dengan ≈ 900 K/s, sedang temperatur austenisasi maksimal divariasikan dari 820° sampai dengan 1130°C . Dipilih pendinginan dengan semprotan gas He dan benda uji berbentuk pipa agar pendinginan selalu di atas laju kritis transformasi martensit, pada praktiknya di atas 360°C . Pengaruh laju pemanasan terhadap temperatur kritik austenisasi (AC_1 , AC_3) dan pengaruh temperatur austenisasi terhadap temperatur perubahan martensit (M_s) telah dipelajari secara kuantitatif. AC_1 , AC_3 , dan selang antara keduanya cenderung naik sejalan dengan laju pemanasan, demikian pula M_s dan ukuran butir austenit naik sejalan dengan temperatur austenisasi. Dipelajari pula hubungan antara parameter-parameter tersebut dengan struktur dan kekerasan mikro. Hasil penelitian ini berguna antara lain pada pemodelan dan perancangan pengerasan permukaan dengan fluks energi tinggi.

ABSTRACT

SOLID STATE PHASES TRANSFORMATION STUDY OF XC42 FERRITO-PERLITIC STEEL AT RAPID THERMAL CYCLE. The phases transformations have been characterized using a combination of thermodilatometry, optical metalography, and Vickers microhardness. HF induction has been chosen for the heating with a variation of heating rate from 75 to 900 K/s and austenitization temperature from 820° to 1130°C . A combination of forced cooling, by mean of gas blowing, and hollow cylindrical specimen have been used to assure that the cooling rate is greater than the critical value of martensitic transformation (M_s). The influence of the heating rate to the critical austenitization temperatures (AC_1 , AC_3) and the influence of the austenitization temperature to both M_s and D_g (austenit grain size) have been quantitatively established. The AC_1 , AC_3 , and its interval, increase as the heating rate do, and also both M_s and D_g increase with the austenitization temperature. The relation between the austenitization temperature and the resulting microstructures or microhardness has also been studied.

PENDAHULUAN

Pengerasan permukaan komponen (elemen) struktur mekanik bahan bertujuan untuk memperbaiki atau mendapatkan sifat (properties) mekanik dan tribologik tertentu, yang sering tidak dapat dipenuhi dengan proses lain. Sebagai contoh adalah kekerasan (dapat $>250\%$), tahan aus, tahan gagal-lelah dan tanpa mengurangi kelenturan. Pengerasan permukaan logam secara termik pada fasa padat dengan fluks energi tinggi (laser, ion) dilakukan pada baja dan paduan ferrous dan lainnya yang dapat membentuk fasa martensit.

Pengerasan diperoleh dari perubahan struktur mikro. Pemanasan cepat hanya terjadi pada kulit atau lapisan permukaan pada waktu pemanasan singkat (dengan fluks termal yang kuat difusi termal belum sampai di bagian dalam), di situ terjadi austenisasi. Pemutusan

sumber panas diikuti oleh pendinginan mendadak secara difusi ke bagian dingin, terbentuk struktur keras martensit pada permukaan. Proses yang terjadi pada permukaan tersebut disimulasi dengan eksperimen ini.

Kelebihan proses ini terutama terletak pada penggunaan baja mutu rendah, diperoleh kekerasan yang sangat tinggi dan terhindarnya perubahan bentuk-geometri. Pengerasan permukaan dengan laser sangat cocok untuk perlakuan yang bersifat lokal dari suatu komponen/ elemen struktur yang bergeometri rumit [1,4].

Kendala yang perlu diatasi antara lain adalah rentang temperatur tertinggi dan terendah sempit, laju perubahan temperatur maupun temperatur gradien yang sangat besar, ditambah parameter-parameter laser yang masih belum dikuasai. Untuk menguasai proses ini,

guna memperoleh sifat yang diinginkan maka diperlukan pengetahuan tentang siklus termik, perubahan fasa, dan timbulnya regangan sisa yang dialami oleh setiap bagian elemen.[4]

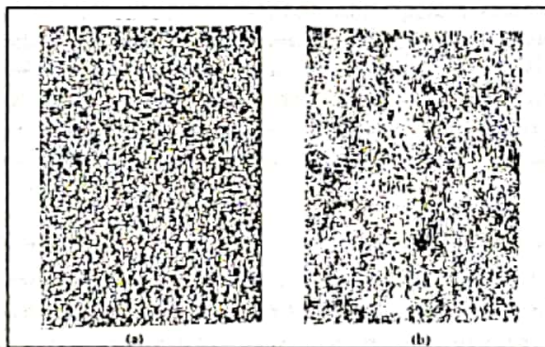
METODE

Bahan

Bahan yang dipelajari pada penelitian ini adalah baja XC42, yang komposisi kimia seperti pada Tabel 1. Mikrografi baja XC42 sebelum diproses diperlihatkan pada Gambar 5a. Gambar ini menunjukkan bahwa struktur mikro sebelum perlakuan panas adalah ferito-perlitik yang mengalami normalisasi, dan rerata ukuran butir adalah $3,8 \pm 0,9$ mm. Butir-butir feritik tampak putih, sedangkan butir perlitik berbentuk lamelar yang tampak (pembesaran 200) bagaikan "pulau-pulau" yang berwarna hitam.

Tabel 1. Komposisi kimia baja XC42.

Komponen	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo
% berat	0,43	0,61	0,32	0,012	0,026	0,13	0,12	0,03



Gambar 5 (a). Struktur dwifase ferito-perlitik (Baja XC42 sebelum perlakuan panas) (b) Struktur martensitik dengan zona terang, Hv 300 = 770 dan zona gelap, Hv 300 = 690 (perlakuan panas di atas AC_3)

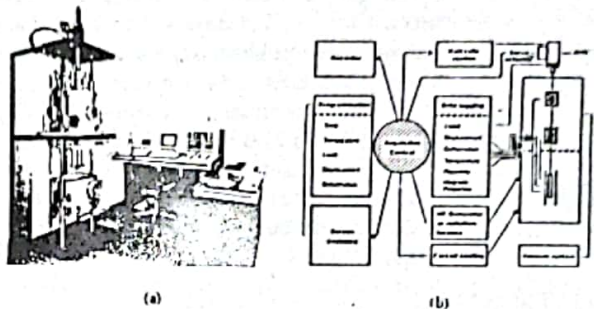
Dalam rangka simulasi perlakuan termal siklus cepat, khususnya pendinginan, perbandingan massa dan luas permukaan benda kerja perlu dibuat sekecilnya. Maka bentuk tabung silindris dengan ukuran garis tengah luar, garis

tengah dalam dan panjang berturut-turut: 4,3 dan 30 mm (jadi tebal tabung = 0,5 mm).

PERALATAN DAN TATAKERJA

Karakterisasi Thermodilatometri.

Percobaan dilakukan pada dilatometer (Gambar 2.) yang dirancang dan dibuat di laboratorium (Laboratoire de la Science et Genie des Materiaux Metalliques - Laboratoria Sains dan Rekayasa Materi Logam - Nancy France) yang mampu untuk melakukan siklus termik cepat pada benda kerja [5].



Gambar 2. Alat percobaan dilatometri. (a) Fotografi tampak seluruh sistem, (b) Skema fungsional.

Benda kerja dipanaskan secara induksi frekuensi tinggi kemudian didinginkan dengan semprotan gas helium. Untuk setiap siklus termik, pengukuran dilatometri memberikan informasi titik-titik transformasi. Contoh kurva yang diperoleh dari siklus termik diberikan pada Gambar 1. Dengan itu dapat ditentukan interval transformasi ($AC_1 - AC_3$) pada pemanasan dan Ms pendinginan.

Temperatur cuplikan dipantau setiap saat dengan menggunakan 3 buah kopel termolistrik berbahan chromel-alumel dan berdiameter 80 mm dan dilas di tengah dan diujung tabung. Pengoperasian dilatometer (Gambar 2) dibantu dengan program elektronik menggunakan komputer mikro.

Komponen utama alat ini antara lain: pengatur tipe PID (1) dan amplifier daya (2) untuk proses pemanasan, pemrogram (3), dua buah pompa listrik (electrical van) dengan debit gas yang dapat diatur (4), untuk mendinginkan cuplikan, dan sensor perpindahan posisi/ *displacement*(5). Sebelum dikirim ke pencatat (plotter) sinyal keluaran sensor diperbesar oleh amplifer. Keistimewaan sistem ini terletak pada

energi termik yang amat rendah dan sensitivitas yang baik.

Pemanasan

Pemanasan secara induksi dilakukan dengan menggunakan generator HF tipe aperiodik [6] berdaya 25 kw. Pemanasan secara induksi ini diperoleh dari induktor tipe lembut (Gambar 2) yang memungkinkan kombinasi pendingin pancar gas (nitrogen, hidrogen atau helium). Pendingin terdiri dari spiral luar untuk aliran listrik dan spiral dalam untuk mengalirkan gas pendingin.

Setelah studi Elfenne [7] tentang perancangan morfologi induktor untuk memperoleh pemanasan merata, Grimaldi [8] telah merancang dan membangun induktor tipe lembut yang bukan saja menjamin meratanya pemanasan, tetapi juga meratanya pendinginan cuplikan dilatometri. Tipe terakhir yang dipasang di sini.

Perlakuan khusus telah dilakukan dengan menggunakan tiga buah termokopel chromel-alumel yang dilas pada kedua ujung dan setengah panjang pipa agar temperatur cuplikan searah poros dapat merata.

Pendinginan

Berbagai kecepatan pendinginan dapat dilakukan dengan mengatur tekanan gas (helium). Gas ditiupkan secara tegak lurus pada benda kerja melalui lubang-lubang pada sisi dalam spiral.

Penelitian ini menggunakan tekanan gas (He) yang tetap yaitu 6 bar. Laju pendinginan diatur agar selalu lebih besar daripada laju pendinginan kritis transformasi martensitik XC42. Pada selang $900^{\circ} - 350^{\circ}\text{C}$ laju pendinginan di atas 360 K/s.

Sruktur dan Kekerasan Mikro

Studi struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Cuplikan yang diamati telah diambil menurut potongan radial bahan kerja dilatometri setinggi pemasangan termokopel. Ketiga titik ini (Gambar 3a) merupakan titik-titik pengendalian proses.

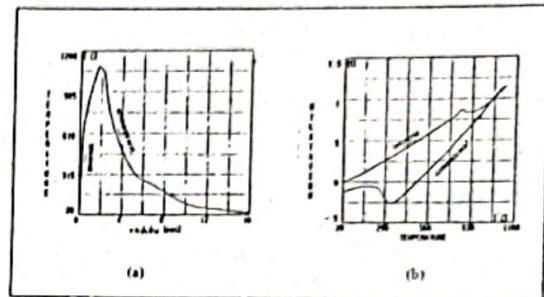
Pada akhirnya, pengamatan-pengamatan pada mikroskop optik dilengkapi dengan pengukuran kekerasan mikro metode Vickers dengan beban 300 g pada berbagai kedalaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Thermodilatometri

Dilatometri digunakan untuk mempelajari perilaku termal materi yang berupa karakter-

isasi kemampuan memuai atau analisis berbagai evolusi struktur mikro padat pemanasan atau pendinginan. Setiap perlakuan termal, evolusi temperatur sebagai fungsi waktu dicatat secara bersamaan dengan evolusi pemuaian sebagai fungsi temperatur (Gambar 1a dan b).



Gambar 1. Contoh kurva dilatometri. (a) Evolusi temperatur, (b) Pemuaian sebagai fungsi temperatur.

Gambar 1.a memberi informasi evolusi temperatur sepanjang proses, secara tidak langsung menunjukkan saat dan temperatur perubahan fasa, kinetika termik, dan evolusinya. Kinetik termik ($\delta T/\delta t$) merupakan parameter yang amat penting, penentuannya pada selang yang sama.

Secara umum perubahan struktur mikro, pada kurva dilatometri (Gambar 1.b), ditunjukkan dengan adanya perubahan garis arah. Dalam keadaan ideal, penentuan titik-titik perubahan fasa dengan mudah dapat ditentukan. Pada kebanyakan pengamatan, perubahan garis arah terjadi dengan terbentuknya kurva dengan jejari yang bervariasi. Oleh karenanya, perlu dibuat kriteria untuk menentukan titik perubahan struktur yang dicari. Pada penelitian ini, semua titik perubahan ditentukan secara sistematis oleh titik permulaan kurva mulai membulat.

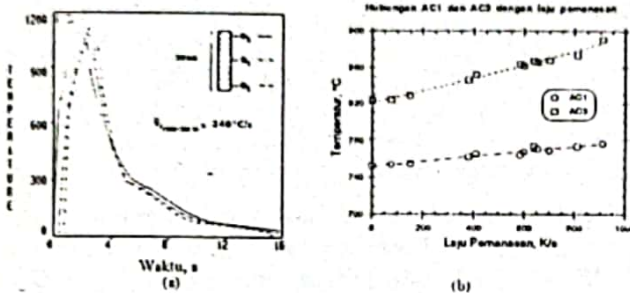
Siklus pemanasan

Transformasi austenisasi baja XC42 dalam keseimbangan, terletak di antara 740°C dan 805°C [10]. Suhu austenisasi telah divariasikan dari 850°C sampai dengan 1130°C , yaitu dari domain interkritik sampai dengan domain austenisasi komplet. Waktu pemanasan bervariasi dari $\approx 1,5$ sampai dengan ≈ 15 detik.

Pada pemanasan, mula-mula fasa perlitik berubah menjadi austenit pada temperatur AC_1 , perubahan ini relatif sangat cepat. Di atas AC_1

butir-butir ferit mulai berubah menjadi austenit dan perubahan ferit-austenit selesai pada temperatur AC_3 . Pemanasan selanjutnya, ($> AC_3$) terjadi homogenisasi austenit, karbon berdifusi dan zona kaya karbon berasal butir perlit ke zona miskin karbon berasal butir ferit, serta pembesaran butir austenit.

Hasil penentuan temperatur AC_1 - AC_3 dan $\Delta T/\Delta t$ dari pasangan-pasangan seperti Gambar 1 disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Homogenitas temperatur pada benda kerja, (b) Temperatur kritis austenisasi, AC_1 dan AC_3 sebagai fungsi laju pemanasan.

Terlihat kecenderungan kedua temperatur kritik transformasi austenit naik dengan naiknya laju pemanasan. Selang AC_1 - AC_3 juga mengalami kenaikan sejalan dengan naiknya laju pemanasan, dengan kata lain kenaikan AC_3 lebih tinggi daripada AC_1 . Hal ini, kiranya mudah dipahami secara sederhana sebagai berikut: AC_1 naik berhubungan keterlambatan transformasi perlit-austenit, sedangkan AC_3 naik berhubungan dengan keterlambatan transformasi tersebut, ditambah keterlambatan transformasi ferit-austenit yang keduanya disebabkan oleh laju kinetik termik. Hasil ini, sesuai dengan pengamatan Orlich [11] pada pemanasan kontinyu berbagai baja.

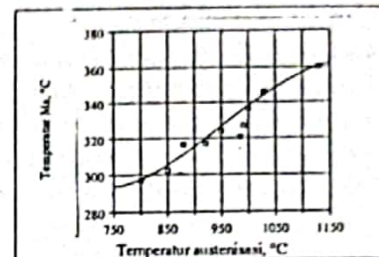
Siklus pendinginan

Transformasi austenit pada pendinginan dari temperatur austenisasi (tanpa waktu pemanasan temperatur) telah dilakukan dengan kecepatan pendinginan yang selalu lebih besar dari laju kritis transformasi martensitik.

Pendinginan mendadak di atas laju kritis (Critical Cooling Velocity) mengakibatkan sepiat butir austenit yang terbentuk pada pema-

nasan berubah menjadi martensit. Hal ini merupakan transformasi *athermal*, dimulai pada temperatur M_s , dan berlangsung sangat cepat, praktis hanya selama penurunan temperatur. Transformasi terjadi dengan mekanisme geseran (shear) dan tanpa difusi atom.

Pengaruh kondisi austenisasi pada transformasi ini sangat besar. Gambar 4 menyajikan hubungan antara M_s dan temperatur austenisasi.



Gambar 4. Pengaruh suhu austenisasi terhadap M_s , temperatur awal terbentuknya martensit.

Vamvacousis dkk. [12] menghubungkan kenaikan M_s ini dengan membesarnya butir austenit. Pada Tabel 2 disajikan rangkuman hasil-hasil yang diperoleh dan hubungannya dengan parameter perlakuan.

Bila diperhatikan: kenaikan temperatur austenisasi berakibat pembesaran butir austenit, pembesaran ini selanjutnya menyebabkan kenaikan temperatur M_s seperti yang ditunjukkan Gambar 4.

Pada penelitian ini diperoleh hasil yang memuaskan (Gambar 3.a) baik pada pemanasan maupun pada pendinginan (beda maksimal antara ketiga titik <10 K). Hal ini menjamin simultanitas perpindahan fasa pada benda kerja.

Karakterisasi metalografi

Pengamatan mikroskop optik terhadap hasil perlakuan termik memungkinkan untuk dapat membedakan dua jenis struktur mikro. Yang pertama adalah struktur mikro yang diperoleh dari austenisasi pada temperatur di atas AC_3 sedangkan jenis kedua jenis yang dihasilkan dari austenisasi pada domain interkritik.

Struktur mikro jenis pertama hanya terdiri dari martensit, amat halus dan dapat dibedakan

Tabel 2. Hubungan antara suhu austenisasi dengan ukuran butir dan suhu Ms.

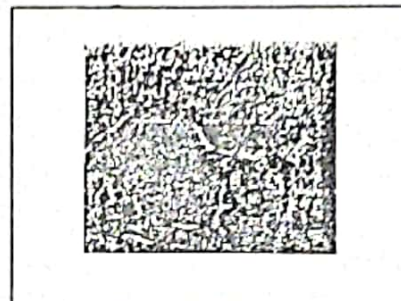
No. Cuplikan	Suhu austenisasi (max) (°C)	Ukuran butir dia. rerata (µm)	Suhu Ms (°C)
1	2	3	4
A1	1130	21,4 ± 2,5	346
A2	1030	12,9 ± 0,9	337
A3	1000	11,6 ± 1,5	324
A5	950	8,0 ± 0,8	317
A6	920	5,1 ± 0,4	316
A7	880	5,7 ± 0,4	272
A8	850	5,9 ± 0,5	267
A4	987	9,4 ± 0,9	320

dua zona: gelap dan terang [13] seperti contoh pada Gambar 5b. Martensit terang berasal dari zona kaya dengan karbon berarti zona yang asalnya perlit, sedangkan martensit gelap berasal dari zona miskin karbon yang berasal dari butir ferit. Kedua jenis martensit tersebut dapat dibedakan pula dari segi kekerasan mikro. Zona martensit terang selalu lebih keras daripada zona gelap.

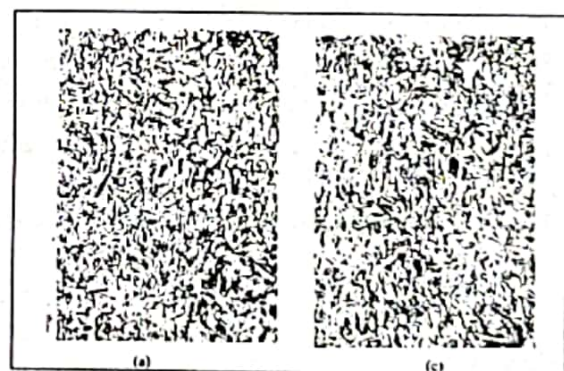
Tidak teramatinya perbedaan menurut arah radial, berarti pemilihan tebal benda kerja sudah benar.

Harga kekerasan rerata pada perlakuan yang berbeda-beda disajikan bersama mikrografi bersangkutan. Pada perlakuan dengan austenisasi di atas AC_3 diperoleh rerata kekerasan mikro > 700 Hv (Gambar 5b, 6, 7a, dan 7b).

Struktur mikro yang diperoleh pada perlakuan dengan temperatur austenisasi pada rentang interkritik memiliki struktur mikro dwifasa terdiri dari martensit dan ferit (Gambar 6). Hal ini berhubungan dengan pendinginan yang sangat cepat yang memungkinkan setiap austenit yang terbentuk akan berubah menjadi martensit. Maka sisa fraksi ferit yang tidak teraustenisasi pada pemanasan di bawah AC_3 ada bersama martensit. Gambar 6 menunjukkan beberapa pulau fasa ferit yang tampak lebih terang dari pada martensit sebagai matrik. Perlakuan yang sangat mendekati AC_1 menunjukkan adanya karbida tidak larut. Perbedaan kekerasan mikro antara zona martensit dan zona ferit berorde 500 Hv.



Gambar 6. Mikrografi baja XC42 setelah perlakuan panas, $AC_1 < T_{max} < AC_3$. Struktur dwifasa: martensit (Hv 300 = 752 dan fert (Hv 300 = 274).



Gambar 7. Mikrografi baja XC42 setelah perlakuan panas, $T_{max} > AC_3$. (a) Struktur martensitik (Hv 300 = 747), (b) Struktur martensitik (Hv 300 = 754).

KESIMPULAN

Karakterisasi termodilatometri terhadap benda kerja yang dipanaskan secara induksi dan pendinginan cepat dengan semprotan gas serta studi struktur mikro dapat menentukan parameter-parameter termik dan metalurgik transformasi fasa selama siklus termik cepat pada baja XC42.

Diperoleh hubungan antara titik perubahan fasa AC_1 dan AC_3 sebagai fungsi laju pemanasan. Pada baja XC42, kurva AC_1 maupun AC_3 berkecenderungan naik dengan kenaikan laju pemanasan. Temperatur awal austenisasi (AC_1) naik dari $\approx 750^\circ\text{C}$ menjadi $\approx 775^\circ\text{C}$ untuk laju pemanasan berturut-turut 75 K/s dan 800 K/s. Sedangkan temperatur akhir austenisasi, AC_3 , kenaikan-kannya jauh lebih besar, yaitu dari $\approx 820^\circ\text{C}$ menjadi $\approx 870^\circ\text{C}$. Kenaikan temperatur austenisasi berpengaruh positif pada temperatur permulaan terbentuknya martensit, Ms.

Austenisasi pada 800°C Ms adalah 297°C , sedangkan 1100°C Ms menjadi 357°C .

Studi mikrofografi menunjukkan bahwa struktur mikro awal baja XC42 yang dinormalisasi berupa ferito-perlitik. Struktur mikro pada akhir siklus, sejalan dengan temperatur austenisasi adalah: bila temperatur austenisasi terletak di antara AC_1 dan AC_3 , maka diperoleh struktur dwifasa ferit-proeutektoid dan martensit, di atas AC_3 campuran martensit gelap dan terang, sampai dengan struktur mikro martensit homogen. Kekerasan rerata naik searah dengan kenaikan temperatur austenisasi.

Hasil studi ini dapat digunakan untuk perhitungan prakiraan efek termik, dan metalurgik perlakuan panas pengerasan permukaan secara cepat superfisial khususnya dengan menggunakan laser.

DAFTAR PUSTAKA

1. Farias, D., Denis, S., Simon, A., *Traitement Thermique* 237-90, 63 - 70.
2. Farias, D., Denis, S., Simon, A., *Proc. 2nd Seminar Surface engineering with high energy beams*, Lisbonne (Portugal), Sept. 25-27, Ed. CEMUL (1989) 133 - 138.
3. Farias, D., Denis, S., Simon, A., Suwardi, Vinsard, G., Chevrier, J. Ch., Quesada, J., Boisselier, D., Cornet, A., Pourprix, Y., *Proc. 2nd Seminar Surface engineering with high energy beams*, Lisbonne (Portugal), Sept. 25-27, Ed. CEMUL (1989) 189 - 208.
4. Suwardi, Vinsard, G., Chevrier, J. Ch., *Proc. 2nd Seminar Surface engineering with high energy beams*, Lisbonne (Portugal), Sept. 25-27, Ed. CEMUL (1989) 133 - 138.
5. Tamalet, M., *Traitement thermique*, 131 (1979) 63 - 70.
6. Elfenne, M., *These de Docteur de 3-ieme cycle*, INPL, Nancy (1985).
7. Grimaldi, J., *These C.N.A.M.*, Nancy (Decembre 1986).
8. ASTM, *Annual Book of Standards Norme E 112-81-part 11*, 135 - 169.
9. IRSID, *Atlas des courbes de transformation des aciers de fabrication fransais* (1974) IRSID.
10. Orlich, J., Rose, A., Wiest, P., *Atlas zur Wamerbehandlung der Stähle*, Band 3-4, Verlag Stahleisen m.b.H. Düesseldorf (1973).
11. Vamvacoussis, A., Schmitt, B., Metauer, G., Gantois, M., *Mèm. Sci. Rev. Mèt.* (Dec 1976) 745 - 750.
12. Meyerson, M. R., Rosenberg, S. J., *Transactions of the ASM*, Vol. 46 (1954), 1225 - 1251.

DISKUSI

Faizal Riza:

1. Mohon semua grafik yang ditayangkan, diberi penjelasan (notasi) sehingga informasinya jelas!
2. Pada skema C-1 mohon dijelaskan kronologis pembacaan grafik (skema)!
3. Pada gambar alat dan diagram blok dicantumkan sumbernya!
4. Mohon diberikan keterangan arti AC_1 , AC_2 , dan komposisi material yang diteliti!

Suwardi:

1. Terimakasih atas sarannya. Hanya saja kalau notasi-notasi seluruhnya diartikan, akan membuat ruwet menjelaskan hal yang esensial karena kabur oleh tulisan-tulisan.
2. Sudah dijelaskan ulang! Untuk lebih jelas, dapat Anda baca pada pengantar pengetahuan bakar atau berdua di luar sidang.
3. Sumber hasil pemotretan alat dan diagram blok dari buku manualnya yang belum resmi terbit.
4. AC_1 = temperatur awal transformasi austenisasi dan AC_3 = temperatur akhirnya.

Budi Briyatmoko:

Pada penelitian ini berhasil melakukan pengerasan permukaan pada baja austenit dengan tidak mengubah kelenturan secara keseluruhan. Seandainya dilakukan uji *bending*, apakah permukaannya memang masih dapat mengikuti kelenturan tanpa terjadinya keretakan?

Suwardi:

Untuk kalimat pertama, yang lebih benar adalah aplikasi dari data hasil dan kesimpulan, adalah untuk pengerasan permukaan. Dapat mempertahankan kelenturan komponen sebelum pengerasan (100 %).

Guntur:

1. Metode apa yang digunakan untuk identifikasi fasa?
2. Mohon penjelasan mengenai kependekan dari AC_1 dan AC_3 !

Suwardi:

1. Identifikasi fasa dengan metalografi optik (M: 200 s.d. 800).
2. Istilah nama-nama segmen kurva transformasi fasa tersebut, merupakan singkatan dari bahasa Perancis (belum ingat). Pengertiannya telah dijelaskan pada jawaban sebelumnya.